

Actuaciones del Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) del CEDEX en el despliegue Europeo ERTMS

The Role of Cedex's Railway Interoperability Laboratory (RIL) in the European ERTMS

Jaime Tamarit Rodríguez de Huici^{1*}

Palabras clave

ERTMS;
laboratorios de ensayo;
arquitecturas de ensayo;
proyectos ERTMS;
historia del LIF;

Resumen

El Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF), es el más reciente de los laboratorios creados dentro del CEDEX. Desde su creación, el principal objetivo del LIF ha sido atender el desarrollo del transporte ferroviario tanto en el marco europeo como en el propio nacional español.

Este artículo describe el papel de CEDEX-LIF en el desarrollo de ERTMS (*European Rail Traffic Management System*), así como la estrecha vinculación que, desde sus orígenes, ha existido entre este sistema y el proyecto EMSET (*Eurocab Madrid-Sevilla European Tests*), en el que se demostró la viabilidad de la interoperabilidad ferroviaria europea con la participación de toda la industria de señalización europea.

La clave del éxito fue la creación de un laboratorio de ensayo independiente e instalaciones piloto que gozaron desde el principio de la confianza de la industria y permitieron la realización de ensayos cruzados entre compañías.

Final e igualmente importante, este artículo expone la fructífera evolución del laboratorio arriba mencionado, que, desde su establecimiento, ha ido evolucionando desde el ensayo de componentes ERTMS genéricos hasta la realización, primero, de ensayos cruzados remotos entre proyectos comerciales específicos con diferentes fabricantes en la parte de vía y embarcada; y, segundo, de ensayos de transferencia del control de trenes entre RBCs (*Radio Block Centers*) de diferentes compañías (*Handover*).

Keywords

ERTMS;
testing laboratories;
testing architectures;
ERTMS projects;
RIL history;

Abstract

The RIL is the most recently laboratory set up within CEDEX's premises. From the start, it has aimed to support the development of rail transport at both European and Spanish levels.

This article describes the role played by CEDEX-RIL in the development of ERTMS, and the close link which, from its inception, has existed between this system and the EMSET project, in which the feasibility of the European Railway interoperability was demonstrated with the participation of the whole European signalling industry.

The key factor for the success of this project was the creation of both an independent laboratory and testing sites which, right from the very beginning, enjoyed the confidence of the industry, thus allowing for the first time the execution of cross tests between companies.

Finally, and equally important, this paper shows the fruitful evolution followed by the laboratory aforementioned, which, from its establishment, has evolved from performing tests on generic ERTMS constituents to undertaking, first, remote tests jointly carried out between specific commercial projects with different suppliers on track and on-board; and, second, Handover tests between diverse RBC suppliers.

1. INTRODUCCIÓN: EL ORIGEN DEL LABORATORIO DE INTEROPERABILIDAD FERROVIARIA (LIF) DEL CEDEX

Gracias al respaldo proporcionado por el despliegue de la Red Española Ferroviaria de Alta Velocidad, el Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) del CEDEX pudo liderar la consolidación de la especificación técnica del sistema Europeo de Señalización y Protección del Tráfico Ferroviario (ERTMS). La presencia del LIF tiene su origen en el proyecto EMSET (1.994-2.000) en el que se

demostró la viabilidad de la interoperabilidad ferroviaria mediante ensayos a escala real en la línea Madrid Sevilla entre las estaciones de La Sagra y Mora.

En este proyecto, para evitar incidentes en la línea (en operación comercial con el sistema LZB) se decidió crear un laboratorio de referencia común en el que las compañías pasaran los escenarios operacionales cruzados tren/vía antes de ir a la vía. Esta estrategia resultó un éxito ya que no se registró un solo incidente que afectara al tráfico comercial a lo largo de un año de pruebas.

El laboratorio, construido con la fructífera colaboración de toda la industria Europea (nueve compañías agrupadas entonces en EUROSIG), constaba de un conjunto de 27 herramientas y simuladores. La estrategia utilizada

* Autor de contacto: jaime.tamarit@cedex.es

¹ Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria del CEDEX, Madrid, España.

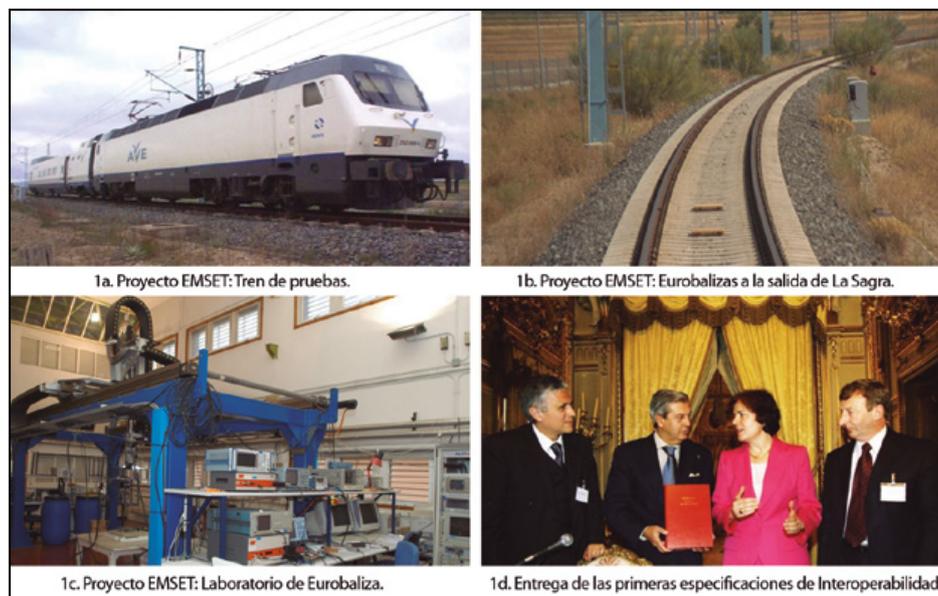


Figura 1. Aspectos claves en el desarrollo del proyecto EMSET (Años 1994–2000).

constituyó un claro índice para la manera de abordar en el futuro procesos de integración tren/vía con suministradores diferentes en cada lado.

En la figura 1 se muestran cuatro imágenes significativas de este proyecto:

- El tren de pruebas constituido por una locomotora Siemens 252 y el coche de auscultación de Alstom.
- Eurobalizas con señalización ficticia a la salida de los talleres de La Sagra.
- El Laboratorio de Eurobaliza para ensayos cruzados diseñado por todas las compañías.
- Entrega de la primera versión de las especificaciones técnicas a la ministra de transportes de la Unión Europea, D^a Loyola del Palacio, en la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

En este laboratorio se realizaron por primera vez ensayos cruzados entre componentes de vía y embarcados de diferentes compañías para los subsistemas de Eurobaliza y Eurocabina. Al finalizar el proyecto se firmó la primera directiva Europea de Interoperabilidad Ferroviaria en la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

2. PROCESO DE CONSOLIDACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES ERTMS: GÉNESIS DE LA PRIMERA VERSIÓN COMERCIALMENTE INTEROPERABLE DE LA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA ERTMS.

A lo largo del proyecto EMSET la especificación técnica del sistema ERTMS fue sometida a un proceso de revisión continua por parte de los diferentes grupos involucrados. Este proceso dio lugar a una evolución de la especificación técnica que partiendo de la versión inicial 4.9, pasó por las versiones 5.A, 1.0.0, 2.0.0 para terminar en la versión 2.2.0 al final del proyecto. Esta versión es la recogida en la primera directiva firmada en Madrid. Aunque el proyecto EMSET tuvo un enfoque limitado a una demostración experimental de la viabilidad de la interoperabilidad del sistema Europeo, esta versión recogía

las correcciones de inconsistencias detectadas a lo largo del proyecto.

Con objeto de preparar el despliegue comercial del sistema se abordó un segundo proceso de consolidación técnica basado en la realización de experiencias piloto en los seis países agrupados en el Grupo de Usuarios ERTMS. El despliegue de las líneas piloto tuvo lugar entre los años 2001 y 2007 y en él se partió de una versión revisada profundamente sobre el papel, que se consideró como la mejor referencia posible para las experiencias piloto. Esta versión de partida fue la versión 2.2.2.

Gracias al proyecto comercial Madrid-Lérida, ya en operación comercial, el CEDEX pudo realizar un estudio comparativo del comportamiento de los equipos embarcados gracias al cual se detectaron divergencias graves en los aspectos ergonómicos del interfaz Hombre-Máquina de los diferentes fabricantes. Para corregir esta dispersión se abordó por primera vez la armonización operacional mediante la creación del grupo de reglas operacionales, todavía vigente dentro de la Agencia Ferroviaria Europea (ERA). Conviene destacar aquí que la armonización operacional, que hasta ese momento no se había considerado seriamente, constituye un 50% de la interoperabilidad ferroviaria.

Las inconsistencias técnicas y operacionales detectadas en el despliegue de las líneas piloto se recogieron en un nuevo documento que se incorporó a la Directiva Europea de Interoperabilidad Ferroviaria: El Subset-108.

El conjunto de la versión 2.2.2 de la especificación técnica más la lista de correcciones del Subset-108 constituyó lo que se reconoce como versión 2.3.0 de la especificación técnica: Subset-026, v 2.2.2 + Subset-108 -> Subset-026, v 2.3.0. Más adelante, debido al retorno de la experiencia en la operación de las primeras líneas comerciales se incorporaron una serie de correcciones adicionales al Subset-108 y se creó la versión que constituye la actual Línea de Base 2, basada en la versión 2.3.0 "D" de la especificación técnica (Subset-026, v 2.3.0.D), de referencia en el despliegue de la red Española.

La figura 2 muestra los aspectos fundamentales en el planteamiento de las líneas piloto:



Figura 2. Proceso de consolidación comercial de la interoperabilidad con líneas piloto (Años 2001-2007).

- Estrategia seguida para la consolidación técnica y operacional del sistema ERTMS.
- Perspectiva de la línea Piloto Española entre Albacete y Alpera (Niveles ERTMS 1 y 2).
- Trenes de diferentes fabricantes equipados con el sistema ERTMS en la estación de Atocha.
- Interfaz Conductor – Máquina (DMI) armonizada después del proceso de consolidación operacional (Bombardier).

Hay que destacar el esfuerzo realizado por la Administración Española que se vio obligada a evolucionar los proyectos comerciales desde la versión inicial 2.2.2 hasta la versión definitiva 2.3.0 “D” en un proceso lleno de dificultades que tanto ADIF como RENFE han sido capaces de superar logrando en cada etapa una explotación unificada de la Red Española de Alta Velocidad, en continuo crecimiento y con especificaciones de interoperabilidad en proceso de evolución.

3. DESPLIEGUE DE LOS CORREDORES EUROPEOS FERROVIARIOS ERTMS: GÉNESIS DE LA LÍNEA DE BASE 3.

El origen de la creación del Sistema Europeo de Señalización Ferroviaria (ERTMS) subyace en la voluntad de la Unión Europea de aliviar el transporte de mercancías por carretera desplazando parte de este tráfico al ferrocarril. Con este objeto se aprobó la creación de una Red Ferroviaria Europea de Corredores de mercancías con características unificadas que permitiera una explotación con operadores privados en un mercado de competencia abierta similar al de la carretera aunque con las limitaciones que impone la circulación ferroviaria con tráfico guiado. Esta propuesta tiene tres grandes objetivos:

- Romper las fronteras impuestas al tráfico ferroviario europeo de mercancías, operado fundamentalmente a escala nacional. Mejora de la eficiencia de la explotación de la infraestructura ferroviaria europea mediante el aseguramiento de su interoperabilidad.
- Descongestionar el tráfico por carretera facilitando una nueva vía de comunicación ferroviaria operable en un entorno unificado, abierto y en libre competencia mediante el refuerzo de la intermodalidad entre los modos de transporte (aéreo, carretera, ferroviario y marítimo).
- Converger con los criterios de Kioto sobre la emisión de gases mediante la utilización de medios de transporte cada vez más amigables con el medio ambiente.

La implantación del sistema ERTMS en líneas convencionales de mercancías requirió la introducción de funcionalidades adicionales especialmente.

- Armonización de las curvas de frenado, fundamental para la aceptación cruzada de trenes entre administraciones.
- Introducción de un nuevo modo técnico con una funcionalidad limitada y de implantación más económica para líneas de débil tráfico (modo LS), que asegurara la viabilidad de la implantación del sistema en las mismas.
- Gestión armonizada de pasos a nivel, frecuentes en las líneas convencionales.

La figura 3 muestra los seis corredores ferroviarios Europeos considerados al final de las las experiencias piloto.

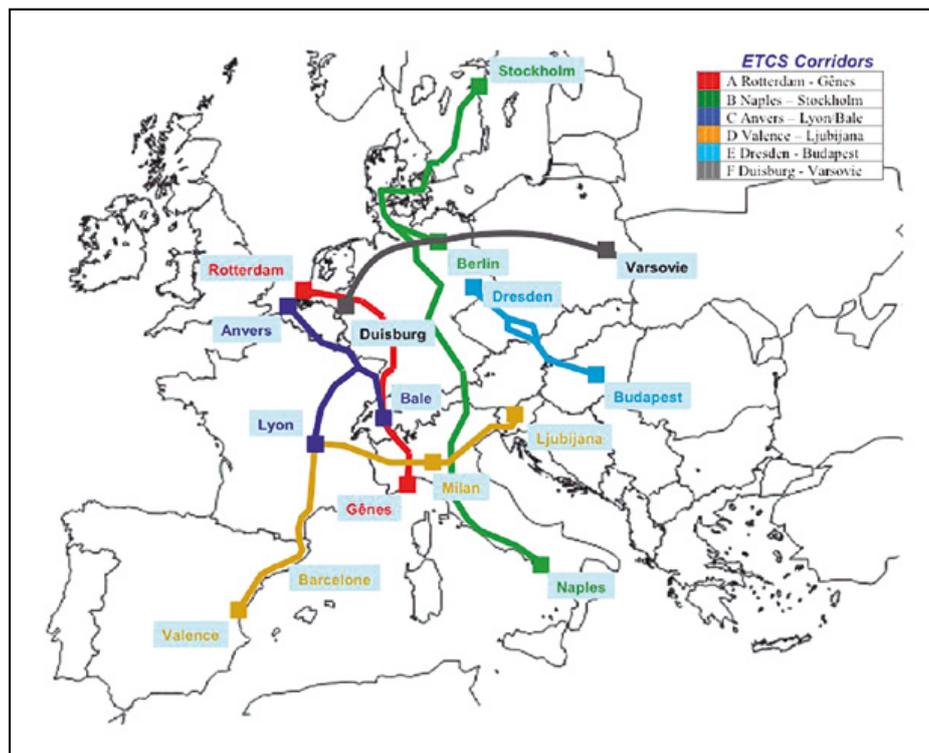


Figura 3. Corredores Europeos de mercancías iniciales (Año 2007).

Se incorporaron además correcciones de inconsistencias muy sutiles solamente detectables mediante una explotación comercial prolongada. A lo largo de los procesos de incorporación de nuevas funcionalidades y corrección de inconsistencias, la versión de las especificaciones técnicas de la línea de base tres pasó por las versiones 3.0.0, 3.3.0 y 3.4.0. Para cada una de ellas se desarrollaron en paralelo especificaciones de ensayos de certificación.

4. PARTICIPACIÓN DEL LIF EN LA DEFINICIÓN DE LOS PROCESOS DE CERTIFICACIÓN

Un aspecto fundamental para garantizar la compatibilidad entre equipos de vía y embarcados reside en la verificación del cumplimiento de las especificaciones europeas de interoperabilidad de los equipos embarcados. Esta verificación se articuló desde el comienzo mediante la especificación del procedimiento de certificación en el que se definieron los escenarios de prueba y la arquitectura de ensayos.

Para la definición de la arquitectura se partió de la arquitectura del banco de ensayos utilizada en el proyecto EMSET. Esto supuso el liderazgo del LIF en este proceso como continuación de su liderazgo en el proyecto EMSET inicial. Para abordar este trabajo con los recursos necesarios, el LIF incorporó en este proceso a otros dos laboratorios independientes: el DLR, ligado a la universidad alemana de Braunschweig y Multitel, ligado a la Universidad belga de Mons. Liderados por el LIF, el conjunto de los tres laboratorios en estrecha colaboración con las empresas de señalización (agrupadas ahora en UNISIG), produjo las especificaciones para la verificación de la interoperabilidad técnica de equipos embarcados conformes a las versiones 2.2.2, 2.3.0 y 2.3.0 D de la especificación técnica (Subset-026: System Requirements Specification).

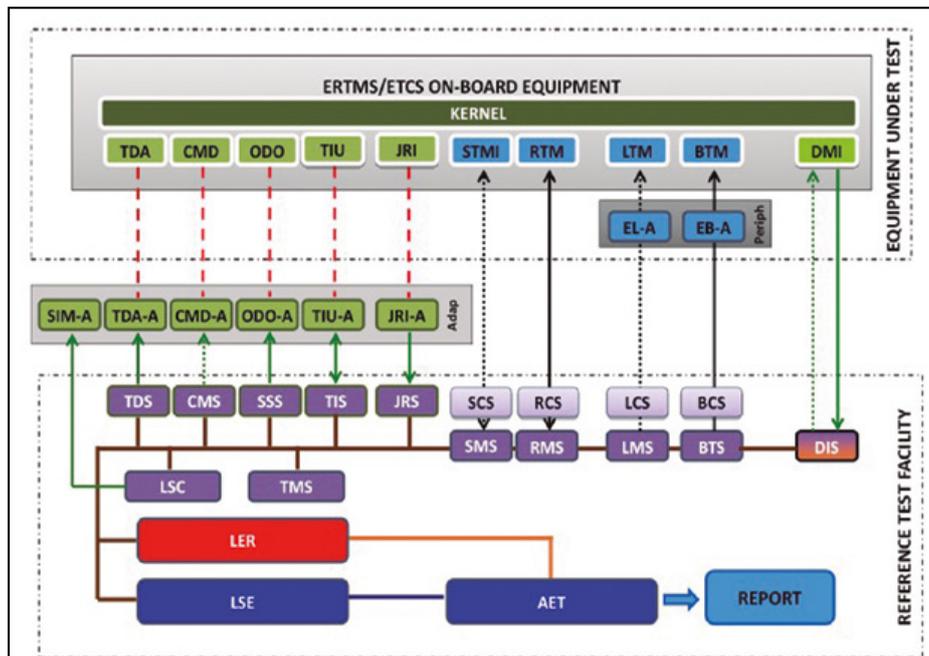
La figura 4 muestra el diagrama de bloques de la definición de la arquitectura de referencia del Subset-094 (4.a)

y el comienzo de la secuencia número 76 del Subset-076 en la que se verifica una serie de funcionalidades Nivel 2 ERTMS (4b): Perfiles de velocidad, modos técnicos, distancias, etc

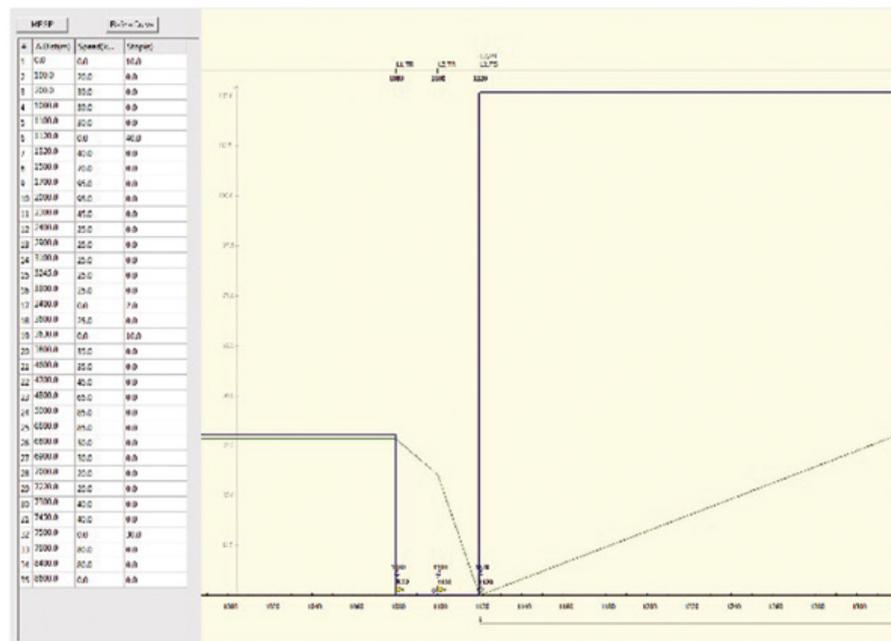
La arquitectura de ensayos quedó definida en el documento titulado: “*Functional Requirements for an On-board Reference Test Facility*”, Subset-094. Mediante esta arquitectura se conecta un equipo embarcado al banco de ensayos mediante adaptadores para el intercambio de señales de control y de simuladores de canales de comunicación para el intercambio de mensajes. Las secuencias de prueba se construyen mediante la descripción de eventos y mensajes intercambiados entre el tren y la vía en una serie de viajes simulados en los que el equipo se somete a todas las situaciones funcionales descritas en la especificación técnica. Las secuencias de ensayo se recogen en el Subset-076 de la directiva Europea. La utilización de los Subsets 094 y 076 en un laboratorio independiente acreditado es de obligatorio cumplimiento para operar en las líneas de la red ferroviaria trans-europea.

Tal como se ha expuesto anteriormente, al abordar el despliegue de los corredores europeos de mercancías, se introdujeron nuevas funcionalidades recogidas en la Línea de Base 3 de las especificaciones técnicas. El LIF, ahora bajo la coordinación de la Agencia Ferroviaria Europea (ERA), lideró la especificación de los ensayos de certificación de equipos embarcados para las versiones 3.0.0, 3.3.0 y 3.4.0 y actualmente comienza la especificación para la versión 3.5.0, que se espera que sea la definitiva.

Como se puede apreciar, desde el año 2002 hasta la actualidad el grupo de laboratorios está involucrado en un proceso continuo de actualización de las especificaciones de los ensayos de certificación que va de la mano con las actualizaciones de las especificaciones técnicas para las líneas de base 2 y 3. Es un proceso complejo y costoso que requiere el mayor grado de especialización y reviste de autoridad técnica a los laboratorios que han colaborado.



4a. Arquitectura de referencia del Subset-094 para ensayos de verificación de la interoperabilidad de equipos embarcados.



4b. Comienzo de la secuencia de ensayo nº 76 (Subset-076).

Figura 4. Diagrama de bloques de la arquitectura de referencia del Subset-094 y secuencia de ensayo Nº 76.

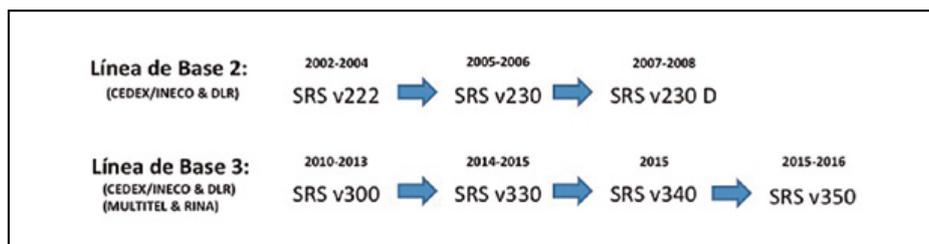


Figura 5. Procesos de actualización de la especificación de ensayos liderados por el LIF desde el año 2002 hasta la actualidad.

- Entre los años 2006 y 2007 el LIF llevó a cabo los ensayos de certificación del equipo embarcado de Invensys, conforme a la versión 2.2.2 de las especificaciones técnicas más un subconjunto de la lista de cambios del Subset 108

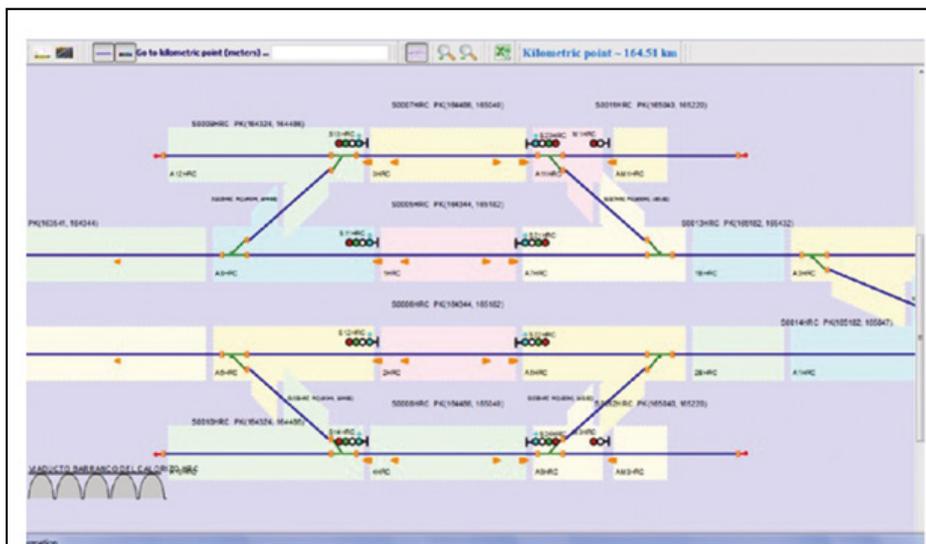
5. PARTICIPACIÓN DEL LIF EN LA VERIFICACIÓN DE LA INTEROPERABILIDAD COMERCIAL EN EL ÁMBITO NACIONAL ESPAÑOL

Proyectos ERTMS Nivel 1:

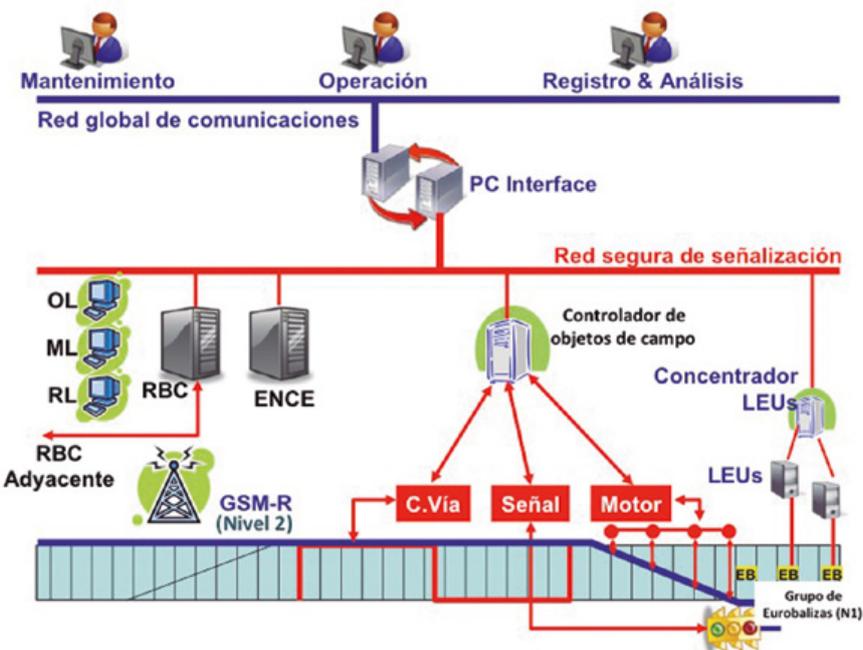
En el Nivel 1 de aplicación del sistema ERTMS la comunicación entre el equipo embarcado y la vía se realiza por medio de Eurobalizas. Una vez asignado un itinerario a un

tren, las balizas quedan programadas con mensajes que proporcionan una descripción completa del itinerario asignado y de acuerdo con el aspecto de las señales y posición de los desvíos. Una vez asignado un itinerario, la información que describe el movimiento queda pre-definida. Esto permite construir un escenario operacional de prueba con la información correspondiente al movimiento programado.

Para los procesos de integración tren/vía en proyectos ERTMS de Nivel 1, el LIF utilizó las herramientas de certificación de equipos embarcados (Subset-094) sustituyendo las secuencias del Subset-076 por secuencias operacionales con datos de proyectos comerciales. Para construir estas secuencias operacionales, se transformaron los datos de proyecto de cada fabricante a un formato unificado siguiendo las recomendaciones de UNISIG recogidas en el Subset-112.



6a. Aplicación informática "Track-Layout" desarrollada por el LIF para la representación de datos de señalización de formato SS-112: Estación de Horcajada en la línea Madrid-Levante.



6b. Diagrama básico de bloques del sistema de señalización de vía.

Figura 6. Representación de los datos de un proyecto comercial en formato unificado Subset-112 (6a) y diagrama de bloques básico del sistema de señalización de vía (6b).

Esto permitió abordar de manera unificada los procesos de integración tren/vía y se facilitó para cada proyecto estudiado una base de datos con todos los datos de señalización en el formato unificado del Subset-112. Tal como se muestra en la siguiente figura, los datos de señalización incluyen localización de elementos de campo (desvíos, señales, balizas, etc.), perfiles de velocidad, gradientes, telegramas, tablas de movimiento, aspectos de señales, etc. Estos datos, muchos de ellos confidenciales, le son facilitados al LIF por las compañías adjudicatarias gracias a la confianza en la independencia y confidencialidad acreditada por el LIF a lo largo de más de 20 años de cooperación.

Para la construcción de un escenario operacional, se define un itinerario en el que se desea verificar una serie de funcionalidades (Vgr.: Entrada en Pozorrubielos en modo marcha a la vista). Fijado el itinerario se identifican los mensajes que enviarán los grupos de balizas y se cargan en el gestor de comunicaciones del laboratorio. Estos mensajes le serán enviados al equipo embarcado en función de la posición del tren estimada por el simulador de la dinámica del tren del banco de ensayos. El correcto cumplimiento de la funcionalidad probada se lleva a cabo analizando los registros de la Unidad de Registro Jurídico (JRU) del equipo embarcado.

Esta técnica se ha utilizado para la puesta en servicio de los proyectos siguientes:

- Línea de Alta Velocidad Madrid-Levante Nivel 1. Señalización de vía Siemens/Invensys equipos embarcados de Bombardier y Siemens.
- Línea de Alta Velocidad Barcelona-Figueras Nivel 1. Señalización de vía Thales equipo embarcado de Bombardier. Tramos de ancho mixto equipados por Alstom
- Línea C4 de cercanías de Madrid Nivel 1. Estación de Atocha y zona sur equipada por Thales. Estación de Chamartín y zona norte equipada por Siemens/Invensys. Equipos embarcados de Alstom. Frontera entre Nuevos Ministerios y Chamartín.

La figura 7 muestra los pasos necesarios para la construcción de un escenario operacional en forma de secuencia de ensayo compatible con las herramientas de referencia (7a). En la parte derecha (7b) se expone la metodología para la definición de un escenario operacional para la línea Madrid Levante en el que se verifican cinco funcionalidades a la entrada de la estación de Pozorrubielos:

- Caso 4.4
SR → OS Entrada en Marcha a la Vista en una posición lejana. El conductor no reconoce
- Caso 6.4
Pérdida de una Eurobaliza enlazada no incluida en la información de enlace
- Caso 10.3
Verificación en el DMI. Mostrar la velocidad máxima
- Caso 4.16
Sobrepasamiento de una señal con aspecto de marcha a la vista
- Caso 4.26
Gestión de una restricción de velocidad en SR

Los casos de prueba ensamblados en este escenario operacional forman parte de la lista de casos definidos por el Grupo Fomento para la puesta en servicio de una línea comercial.

Proyectos ERTMS Nivel 2:

En el Nivel 2 de aplicación del sistema ERTMS la comunicación entre el equipo embarcado y la vía se realiza por medio del sistema de radio GSM-R. Las autorizaciones de movimiento se gestionan ahora en tiempo real desde el Centro de Bloqueo por Radio (RBC) que se comunica con el tren por el canal radio GSM-R y con los elementos de campo a través del enclavamiento que los gestiona. La integración tren vía requiere ahora la conexión del RBC comercial con el que se lleva a cabo el proyecto de señalización de vía, que además requiere un simulador de enclavamiento (ENCE) o bien el enclavamiento real si lo facilita el fabricante.

Para la ejecución de escenarios operacionales de Nivel 2, para los que las secuencias de ensayo ya no están predefinidas como ocurre en el Nivel 1, es necesario añadir al banco el dinamismo y gestión en tiempo real que requieren los escenarios de Nivel 2.

Esto ocurre en el Nivel 2 por los motivos siguientes:

- En el Nivel 2 existe un constituyente adicional de vía (RBC) que se comunica bidireccionalmente con el tren (EVC) y gestiona las autorizaciones de movimiento con inteligencia propia una vez establecida una ruta.
- El RBC necesita verificar durante la ejecución del ensayo los elementos de campo afectados por la ruta demandada como son desvíos, señales y circuitos de vía.
- Para la gestión de los elementos de campo el RBC tiene una comunicación vital con el enclavamiento (ENCE) que solicita la asignación de rutas y verifica el estado de los elementos de vía para la ruta solicitada.

Para conectar un RBC comercial, debe ampliarse la funcionalidad del banco con objeto de configurar las comunicaciones adicionales que aparecen en un proceso de integración de un equipo RBC comercial al banco de ensayos. Las funcionalidades añadidas consisten esencialmente en la comunicación del simulador de elementos de campo con el nuevo módulo simulador de enclavamiento, que gestiona la asignación de las rutas y controla y verifica el estado de los elementos de campo. También será necesario establecer la conexión del RBC externo con los simuladores de red GSM-R así como con el simulador de enclavamiento.

Con objeto de gestionar en tiempo real los elementos de campo, aparece pues en la arquitectura del lado de vía un nuevo elemento, el simulador de enclavamiento (SIM-IXL) que controla y verifica el estado de los elementos de campo. El enclavamiento es el núcleo de la seguridad ferroviaria.

Las rutas correspondientes a los escenarios operacionales que se desea probar se configuran ahora desde el puesto de mando local (PLO) que dispone de un interfaz



Figura 7. Construcción de un escenario operacional real con datos de proyecto y su representación gráfica con la aplicación LIF "Track-Layout".

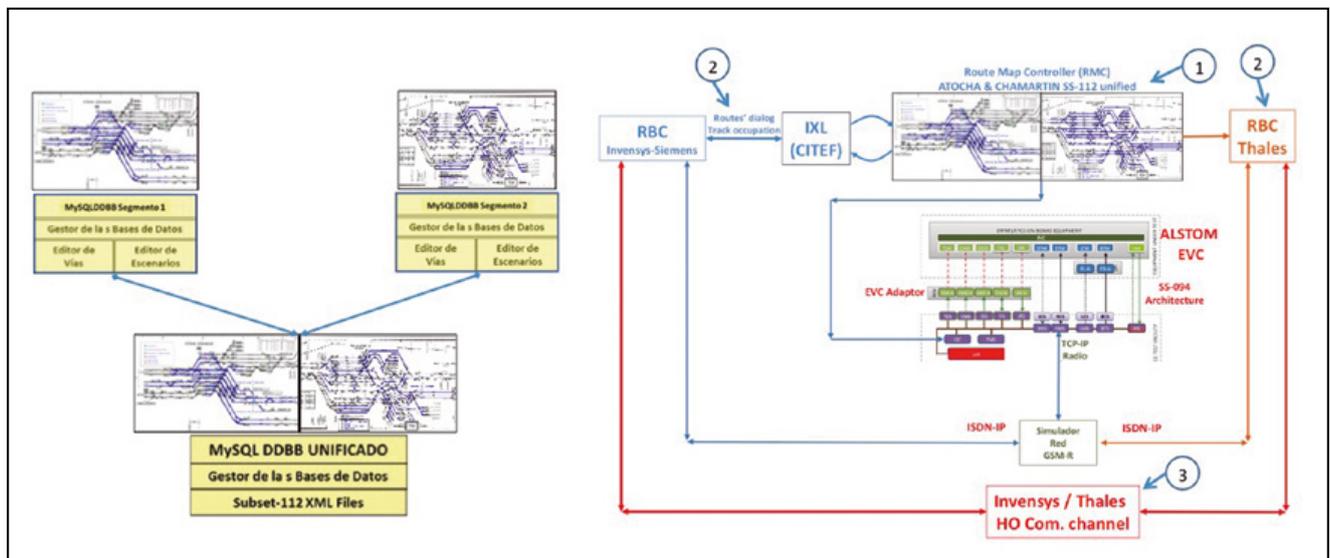


Figura 9. Conexión simultánea de dos RBCs (Thale & Invensys) para ensayos de Handover en la línea C4 de cercanías de Madrid: Izda.: Fusión de las bases de datos; Dcha Conexión de los equipos comerciales.

Esta configuración de los ensayos de Handover está siendo puesta a punto por el LIF para la ejecución de pruebas de integración tren-vía en los siguientes proyectos ERTMS Nivel 2:

- Tal como se ha indicado en el apartado anterior, las pruebas de integración tren vía ERTMS Nivel 2 se han realizado satisfactoriamente en el laboratorio aunque de manera individual: Thales vs. Alstom y Siemens vs. Alstom. La configuración que se muestra en la figura anterior está siendo utilizada para las pruebas de Handover entre Siemens y Thales con trenes de Alstom. En la actualidad el banco de ensayos con la unificación de datos de proyecto y la integración de dos filosofías distintas para la incorporación de los enclavamientos se está poniendo a punto y esperamos poder realizar esta campaña dentro del año 2015, antes de la realización de las pruebas en vía.
- El contrato firmado con la UTE ABI Corredor Norte incluye una etapa final para el ensayo del Handover entre los RBCs de Alstom y Bombardier con equipos embarcados de Alstom.

Conviene destacar que los ensayos de Handover conforme a la especificación de la Directiva Europea recogida en el Subset-039 es la primera vez que se realiza en el mundo. Todavía resulta más novedosa la depuración previa de esta compleja funcionalidad con ensayos en laboratorio con equipos comerciales y escenarios operacionales con datos de proyecto.

5. PARTICIPACIÓN DEL LIF EN LA VERIFICACIÓN DE LA INTEROPERABILIDAD COMERCIAL EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL EUROPEO

Cara al despliegue de la red Trans-Europea de mercancías, la Comisión Europea manifestó su deseo de verificar la interoperabilidad entre proyectos comerciales de países diferentes. Esto requiere ensayos cruzados internacionales entre proyectos de vía y equipos embarcados.

Para satisfacer esta necesidad, el grupo de laboratorios ofreció la realización de ensayos cruzados utilizando, con la autorización de las compañías correspondientes, los equipos y datos de proyecto disponibles en cada laboratorio. Para ello se aprobó una acción concreta para ensayos cruzados dentro del proyecto europeo titulado “Facilitating and speeding up ERTMS deployment” – 2011-EU-60013-S – financiado con fondos de la redes trans-europeas (TEN-T) y coordinado por el Grupo de Usuarios ERTMS en Bruselas.

Ensayos cruzados entre países para el Nivel 1 de aplicación ERTMS

Los ensayos remotos para el Nivel 1 de aplicación resultan sencillos ya que no requieren el establecimiento de conexiones remotas. Basta para ello disponer de los datos de proyecto de una línea comercial de Nivel 1, transformar dichos datos al formato unificado del Subset-112, programar los escenarios operacionales y ejecutarlos en cada laboratorio con los equipos embarcados disponibles en cada uno.

Los datos de proyecto de señalización de vía fueron facilitados por Infrabel para la línea L36-36N que conecta Bruselas con el Aeropuerto de Zaventem. Conviene resaltar aquí la disponibilidad de todos los datos de señalización por parte de Infrabel, que pudo facilitar al grupo toda la información necesaria por detallada que fuese y siempre en formato electrónico. La existencia de lazos cerrados en este proyecto, obligó a revisar el Subset-112 de UNISIG con objeto de incorporar esta topología.

Construidos los escenarios operacionales con los datos facilitados por Infrabel en una colaboración entre CEDEX e INECO, los escenarios operacionales elaborados fueron pasados en cada laboratorio con los siguientes equipos embarcados:

- CEDEX/INECO (España): Bombardier EVC
- MULTITEL (Bélgica): Mermec EVC
- DLR (Alemania): Siemens EVC

Ensayos cruzados entre países para el Nivel 2 de aplicación ERTMS

Los ensayos cruzados de Nivel 2 son claves para acelerar el despliegue del sistema ERTMS en los corredores Europeos ya que permiten la ejecución de ensayos remotos entre países sin necesidad de desplazar trenes.

Para la realización de ensayos remotos en Nivel 2 se utilizó una arquitectura similar a la utilizada para los ensayos cruzados locales de nivel dos pero reconfigurando en modo remoto los canales de comunicación entre los bancos de ensayos del Equipo Embarcado y RBC. Además se utilizaron aplicaciones remotas que permitieron accionar en modo remoto el DMI y los mandos de conducción del simulador de la dinámica del tren. Estas aplicaciones remotas nos fueron facilitadas por el DLR que tenía en su laboratorio el equipo embarcado de Siemens con el que se realizaron los ensayos cruzados.

Tal como se muestra en la parte izquierda de la figura 10 la configuración de las herramientas para ensayos remotos entre laboratorios requirió la incorporación de los siguientes elementos adicionales:

1. Establecer comunicaciones vía internet para el envío de telegramas de Nivel 1 (Eurobalizas), mensajes de Nivel 2 (Radio GSM-R), velocidad del tren y gradientes de la línea.
2. Accionamiento robotizado con control remoto de la pantalla del interfaz Conductor-Máquina (DMI).
3. Accionamiento remoto de los mandos de la Eurocabina.

En la parte derecha se muestra la pantalla de control con la que se manipulaba remotamente el banco de ensayos del DLR en Braunschweig en la que se muestran las siguientes áreas de trabajo:

1. Aplicación remota para el accionamiento remoto del DMI
2. Imagen en tiempo real de la pantalla del DMI en Braunschweig
3. Aplicación remota para el accionamiento de los mandos del tren

En el marco del Proyecto liderado por el Grupo de Usuarios ERTMS se llevaron a cabo los siguientes ensayos cruzados entre países:

- Línea de Cercanías C4 de Madrid (Cedex) vs. Siemens EVC (DLR).
- Línea de Alta Velocidad Madrid-Levante (Cedex) vs Siemens EVC (DLR).
- Línea de Alta Velocidad Roma- Napoli HSL (RFI lab) vs. Mermec EVC (Multitel)
- Betuwe line (Prorail lab) vs. Siemens EVC(DLR)

7. ENSAYOS DE CERTIFICACIÓN DE CONSTITUYENTES ERTMS

En los laboratorios de LIF se llevan a cabo ensayos de constituyentes específicos de las compañías que lo solicitan. Tal como se muestra en la parte izquierda de la figura 11, el LIF está acreditado para la realización de ensayos conforme a la normativa Europea de ensayos de interoperabilidad para los equipos embarcados y de vía de Eurobaliza (SUBSET-085) y para los equipos embarcados de Eurocabina con las secuencias del SUBSET-076 y arquitectura del SUBSET-094. Esto hace del LIF el laboratorio con una acreditación más extensa para la realización de ensayos de verificación de la interoperabilidad de constituyentes ERTMS.

Aparte de los ensayos realizados para Invensys mencionados al final del tercer apartado, la actividad del LIF en el campo de los ensayos de constituyentes ERTMS se ha centrado esencialmente en el ámbito de Eurobaliza. Tal como se muestra en la parte derecha de la figura 11, el hecho de que hayan visitado el LIF seis compañías chinas, dos japonesas y una coreana indica que el sistema ERTMS, una vez consolidado por la puesta en servicio de numerosos proyectos comerciales, está deviniendo un estándar mundial.

Es conveniente destacar aquí que de acuerdo con la experiencia acumulada a lo largo de las numerosas campañas de ensayos, los procesos de verificación de la interoperabilidad de componentes industriales suponen en la mayoría de las ocasiones un proceso de consolidación del producto que se ensaya. Al realizarse estos ensayos por una institución experta e independiente aparecen inconsistencias que las compañías corrigen en versiones consecutivas de su producto.

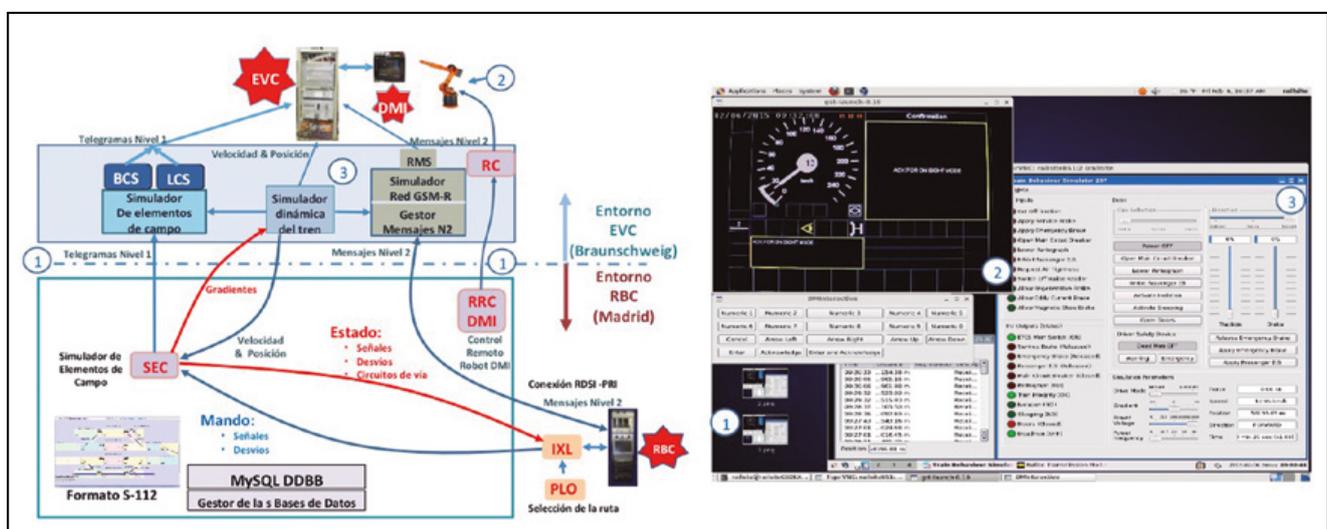


Figura 10. Configuración de las conexiones remotas para ensayos cruzados de Nivel 2.

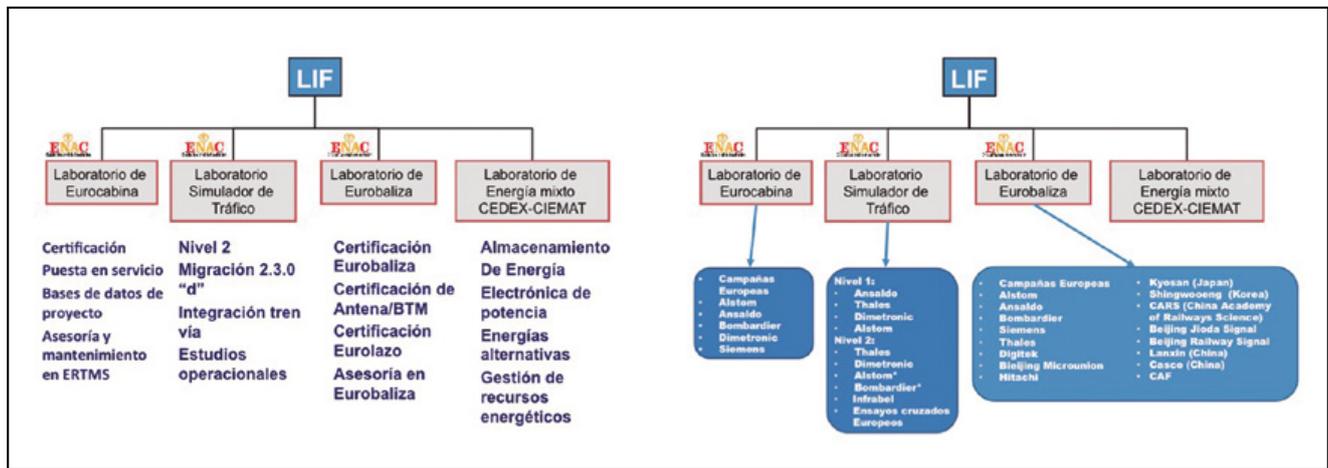


Figura 11. Laboratorios acreditados del LIF y compañías visitantes.

8. CONCLUSIONES

El Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria del CEDEX es la institución con una experiencia más acreditada en el campo de ensayos de constituyentes y proyectos ERTMS. Los proyectos ERTMS pueden ser perfectamente reproducidos en el laboratorio, únicamente la simulación de la dinámica del tren puede mostrar diferencias entre la vía y el laboratorio, en este sentido la armonización de las curvas de frenado aumentara la fiabilidad del laboratorio en este campo.

La utilización del laboratorio para los procesos de puesta en servicio e integración tren/vía de proyectos comerciales ofrece innumerables ventajas. Cabe mencionar las siguientes:

- De acuerdo con la experiencia acumulada los procesos de verificación de la interoperabilidad de un constituyente o de un proyecto comercial por una institución independiente acreditada suponen una maduración técnica del equipo a proyecto ensayado.
- El Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) del CEDEX dispone de una amplia experiencia en ensayos cruzados entre proyectos comerciales de vía y tren. Es pionero en este campo.
- Los ensayos cruzados en laboratorio tienen una mayor eficacia por su mayor cobertura y menor coste y tiempo.
- La validación de los ensayos de laboratorio mediante estudios comparativos en la ejecución de los mismos escenarios operacionales en vía y laboratorio, hace que los resultados de los escenarios pasados en el laboratorio sean aceptables para los departamentos de seguridad del Ministerio de Fomento, ADIF y RENFE.
- Los ensayos operacionales cruzados tren/vía en laboratorio permiten una depuración del proyecto ferroviario a nivel de sistema en una fase previa a la instalación de los equipos de vía. Esta aproximación puede simplificar considerablemente los procesos de puesta en servicio siempre que los ensayos de laboratorio se lleven a cabo con la anticipación necesaria. Esto es, disponiendo con anticipación de los datos de proyecto y los equipos de vía (RBC) y embarcados (EVC) integrados a los bancos de herramientas.

- Los ensayos cruzados en laboratorio requieren una armonización de los datos de señalización que permiten la creación de una base de datos armonizada con los datos de señalización de una red ferroviaria. Esto supone ventajas considerables para posteriores procesos de mantenimiento y mejora de la red ya que permite el estudio en laboratorio de soluciones y mejoras, previas a la toma de decisiones.
- Los ensayos cruzados en el laboratorio con conexiones remotas suponen una herramienta eficaz para el despliegue de los corredores de mercancías Europeos en los que un corredor cruza varios países con suministradores diferentes y debe ser operado por operadores privados independientes. Estos no pueden soportar el elevado coste económico de múltiples procesos de certificación y puesta en servicio abordados a escala nacional.
- La conexión remota entre los laboratorios del CEDEX y del DLR es pionera a escala mundial y abre un futuro prometedor como soporte para el despliegue de los corredores de mercancías Europeos.
- Los ensayos cruzados en los que se integran dos RBCs permite adicionalmente la realización en el laboratorio de pruebas de Handover entre RBCs. Este es uno de los aspectos más problemáticos en el despliegue actual de las redes ferroviarias.
- El Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) del CEDEX dispone de una amplia experiencia en ensayos cruzados entre proyectos comerciales de vía y tren. Es pionero en este campo.

9. BIBLIOGRAFÍA

- **Normativa Europea: ERA, Technical Specifications for Interoperability,**

- [1] SUBSET-026: System Requirements Specification. Issue : 2.3.0.
- [2] SUBSET-039: FIS for the RBC/RBC Handover. ISSUE : 2.3.0
- [3] SUBSET-076: Test Specification for the Subset-026. Issue : 2.3.3.
- [4] SUBSET-094: Functional Requirements for an on board Reference Test Facility; Issue : 3.0.0.

- **Normativa Española**

- [5] ADIF: Requisitos funcionales y Reglas de Ingeniería ERTMS Nivel 1 y Nivel 2; Versión 2.4.7.

[6]: Ministerio de Fomento: Puesta en servicio del subsistema CMS: Pruebas de integración.

• **Recomendaciones**

[7] SUBSET-111: Interoperability Test Environment Definition. Issue : 3.0.0.

[8] SUBSET-112: UNISIG Basics for Interoperability Test Scenario Specifications. Issue : 3.0.0.

[9] Iglesias, J., Tamarit, J., Molina, D., Cáceres, R., González, M., Herreros, I., Portillo, P. y García, S.(2015). Presente y futuro de los ensayos de interoperabilidad ferroviaria. El papel de los laboratorios en el despliegue de la red Europea. Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF, CEDEX). *IX Jornadas Internacionales de Ingeniería para Alta Velocidad*, Córdoba 17-19 Junio 2015.

[10] Molina D., Cáceres, R., González, M., Herreros, I., Portillo, S., García, S. Iglesias, J., Tamarit, J., López, M., Fernández, M.

y Martínez, A. (2015). Integración tren-vía; Ensayos cruzados en el laboratorio: Una oportunidad para depurar antes de instalar. *Revista de Ingeniería Civil*. Núm. 177, Enero-Marzo 2015.

10. AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Ferrocarriles del Ministerio de Fomento, al ADIF y a RENFE por la confianza depositada en el LIF y su contribución a las pruebas en laboratorio.

Al grupo de Usuarios ERTMS por su eficaz gestión de los proyectos Europeos

Al DLR ya que sin la activa colaboración del equipo del RailSite no se hubiera podido llevar a cabo la realización de los ensayos remotos entre España y Alemania

A las compañías de Señalización Alstom, Bombardier, Siemens y Thales por disponibilidad, por la confianza depositada en el LIF y por el apoyo brindado para la conexión de sus equipos a los bancos de herramientas.

APORTACIONES DEL CEDEX A CONGRESOS, JORNADAS Y PUBLICACIONES

Proyecto IMPRESSIONS. Impacts and Risks from High-End Scenarios: Strategies for Innovative Solutions

Lisboa, Portugal, del 24 al 26 de junio de 2015.

Asistencia al seminario "Cambio climático y escenarios extremos en la Península Ibérica".

4º Congreso Ibérico de Cianotoxinas

Lisboa, Portugal, del 8 al 10 de julio de 2015.

Presentación de la comunicación "Estudio de la presencia de Cianotoxinas en la aparición de blooms en el embalse de Vilasouto (Lugo, España)" por parte de María Peg Cámara. La comunicación presentada se ha realizado conjuntamente con técnicos de la Confederación Hidrográfica del Miño-Sil.

Curso de verano de la Universidad de Burgos "La gestión del agua en las ciudades inteligentes"

Burgos, del 21 al 22 de julio de 2015.

Impartir la ponencia "Hidrogeología urbana".

Simposio IASS 2015. Visiones del Futuro

Amsterdam, Países Bajos, del 15 al 20 de agosto de 2015.

Participación en las reuniones del Working Bureau (Comité de Dirección) y del Executive Council (Comité Ejecutivo), así como en las sesiones técnicas del Simposio de la IASS, Asociación internacional de referencia en el campo de las estructuras laminares y espaciales.

Workshop "Linking e-flows to sediment dynamics"

Roma, Italia, del 8 al 10 de septiembre de 2015.

Participación como ponente en relación con el cálculo e implementación de caudales ecológicos en masas de agua muy modificadas (HMWBs), presentando la experiencia española en la materia.

XVI Conferencia europea sobre mecánica del suelo e ingeniería geotécnica

Edimburgo, Reino Unido, del 12 al 16 de septiembre de 2015.

Presentación de dos ponencias. Asistencia a la reunión del Consejo de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas e Ingeniería Geotécnica. Participación en el congreso y asistencia a la reunión de la Plataforma ELGIP de Laboratorios Europeos de Ingeniería Geotécnica.

Congreso ERTMS

Lille, Francia, del 21 al 23 de septiembre de 2015.

Participación en el congreso.

41ª Reunión de la Sociedad Nuclear Española

La Coruña, del 22 al 25 de septiembre de 2015.

Asistencia a la reunión.

Volcanic Rocks and Soils

Ischia, Italia, del 24 al 26 de septiembre de 2015.

Impartir la conferencia de inauguración de una de las sesiones ("Keynote") sobre el comportamiento Mecánico de las Rocas Volcánicas ("Mechanical behavior of volcanic rocks"), dado el extenso trabajo desarrollado en el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX en los últimos 12 años en relación al tema y la relevancia de los resultados obtenidos. Envío de cuatro artículos a cerca de los resultados de los trabajos realizados en el CEDEX sobre rocas volcánicas desde 2002.

IV Congreso Nacional de Áridos

Madrid, del 30 de septiembre al 2 de octubre de 2015.

Presentación de las comunicaciones "Metodología para la evaluación de áridos reactivos con los álcalis del hormigón. Aplicación a un árido reactivo." y "Ensayo acelerado de probetas de mortero para la identificación de áridos reactivos españoles" por parte de Pilar Alaejos y Victor Lanza.