

# ¿Es rentable hacer las pruebas de ERTMS en un laboratorio?

## Are ERTMS Lab Tests Time-Saving and Cost-Effective?

Jorge-Ignacio Iglesias<sup>1\*</sup>, José Bueno<sup>1</sup>, Daniel Molina<sup>1</sup>, Susana Herranz<sup>1</sup>, Rodrigo Cáceres<sup>1</sup>, Miguel Fernández<sup>1</sup>, Miguel López<sup>1</sup>, Nadia Sánchez<sup>2</sup>

### Resumen

Este artículo presenta un análisis de las ventajas que tanto en coste como en tiempo se pueden obtener de la realización de las pruebas de puesta en servicio del sistema de señalización ERTMS en un laboratorio capaz de simular vía y tren e integrar los equipos reales de vía (RBC) y de tren (EVC) para realizar las pruebas funcionales con equipos reales en este entorno simulado. Para ello se comparan tres escenarios de pruebas: el primero de pruebas únicamente en vía (1), el segundo de pruebas únicamente en laboratorio (2) y un tercer escenario intermedio (3) que es el que se está realizando ahora de depuración previa de todo el sistema en el laboratorio y posterior ejecución de pruebas en vía. El artículo muestra las ventajas evidentes de dirigirse hacia un incremento de las pruebas en laboratorio.

**Palabras clave:** ERTMS, ETCS, Pruebas Operacionales, Puesta en Servicio, Laboratorio de ERTMS, Ensayos remotos.

### Abstract

*This paper shows an analysis of the advantages of performing ERTMS placing of service test in a laboratory. The advantages are evaluated in terms of cost and duration. The ERTMS lab has to be able to simulate track and train and integrate real track components (RBC) and Onboard components (EVC) in order to perform the ERTMS functional tests in this simulated environment. To do so, these three different scenarios are compared: Scenario 1 to perform all the test only on track, scenario 2 of performing all the tests only at lab and an intermediate scenario 3, which is the one currently carried out in Spain, of debugging the whole system at lab before running the tests on track. The paper clearly shows the advantages of conducting this process through the way of increasing the tests at laboratories.*

**Keywords:** ERTMS, ETCS, Operational Tests, Place in Service, ERTMS Labs, Remote Tests.

### INTRODUCCIÓN

España ha sido sin ninguna duda uno de los países europeos pioneros en el despliegue e instalación del ERTMS (European Rail Traffic Management System) en las líneas de nueva construcción, así como en otras líneas como las de cercanías de Madrid con el objetivo de incrementar los niveles de seguridad. Desde la primera instalación del ERTMS en la LAV Madrid-Lleida en los primeros años 2000 (puesta en servicio en N1 en Mayo de 2006), hasta la actualidad en las LAVs Valladolid-Burgos-León y Olmedo-Zamora, el sistema ferroviario español ha realizado un enorme esfuerzo para resolver todos los obstáculos encontrados derivados principalmente de los “errores de juventud” del ERTMS y de la consecutiva modificación y mejora de las especificaciones del sistema.

Afortunadamente se puede decir con pleno orgullo que el ferrocarril español ha sido capaz de solventar dichos obstáculos y ha implantado el ERTMS con unos niveles de fiabilidad y puntualidad semejantes a los de sus predecesores más avanzados como el LZB alemán y el TVM francés. España ha demostrado de forma rotunda que el concepto de “interoperabilidad” es plenamente alcanzable con 17 casos de combinación tren-vía de diferentes fabricantes en servicio comercial.

Sin embargo, y con la vista puesta no en los problemas pasados, sino en los retos futuros, hay dos aspectos del ERTMS que a día de hoy están siendo un obstáculo muy importante para su despliegue en el resto de la red europea, incluyendo la red convencional española: estos dos aspectos, que están relacionados entre sí, son **el coste del sistema** y **lo dilatado del proceso de puesta en servicio del mismo**.

Este artículo aborda el papel que puede jugar un laboratorio de ERTMS como el Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) del CEDEX en la reducción de los tiempos de prueba del sistema ERTMS y por tanto en la reducción del proceso de puesta en servicio del mismo. El análisis que se llevará a cabo a lo largo del artículo está basado en una ya larga experiencia de procesos de puesta en servicio en España y aborda no solamente la reducción del tiempo sino también el ahorro económico derivado de este hecho.

En paralelo al despliegue del ERTMS en la red española, el CEDEX realizó un esfuerzo para la creación del LIF, que se inició en el año 2000 como consecuencia del proyecto EMSET y se ha hecho una realidad a lo largo de todos estos años con la consolidación del laboratorio, que es reconocido por todos los agentes involucrados en este gran proyecto (Comisión Europea, ERA, EIM...) como el laboratorio de referencia europeo. Por tanto podemos decir que también España es pionera en la ejecución de pruebas de ERTMS en laboratorio, y este artículo incide en la importancia de este hecho tanto desde el punto de vista de ahorro de tiempo en la puesta en servicio como desde el punto de vista de ahorro económico.

\* Autor de contacto: [jorge.iglesias@cedex.es](mailto:jorge.iglesias@cedex.es)

<sup>1</sup> Laboratorio de Interoperabilidad ferroviaria del CEDEX.

<sup>2</sup> Ineco.

## 1. LA PUESTA EN SERVICIO DEL ERTMS

### 1.1. El impacto del concepto de interoperabilidad

El concepto de interoperabilidad nace a raíz de la aparición de un sistema único de señalización ferroviaria que es fabricado por diferentes suministradores. En efecto, antes de la existencia del ERTMS existían un gran número de sistemas diferentes en Europa y el resto del mundo, con la característica principal de que cada uno de ellos era propiedad de un determinado fabricante. Este hecho, que por un lado cierra fronteras y genera mercados cautivos con un único suministrador, tenía un aspecto positivo, el hecho de que los subsistemas de vía y embarcados pertenecen al mismo suministrador y es por tanto él el encargado de resolver los problemas que puedan aparecer durante su puesta en servicio.

El ERTMS al ser un sistema abierto implica que en la mayoría de los casos el suministrador del subsistema de vía y del subsistema embarcado no sea el mismo y por tanto haya más agentes involucrados en la resolución de los problemas que puedan aparecer durante la puesta en servicio. Este hecho, que es en sí mismo el concepto de la interoperabilidad, da lugar a que los procesos de puesta en servicio sean más complejos y su duración se dilate en el tiempo. Además aparece una nueva figura que es la de un árbitro técnico que pueda resolver de forma independiente los conflictos que aparecen en toda puesta en servicio.

En este sentido, la necesidad de mediación técnica cualificada para resolver los conflictos que puedan aparecer ha dado lugar a la creación de equipos técnicos tanto en los administradores de infraestructura como en los operadores ferroviarios con un conocimiento del ERTMS necesario para la resolución de conflictos. Igualmente el papel de la Autoridad Administrativa competente, en el pasado la Dirección General de Ferrocarriles y en la actualidad la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, se ve resaltado. En efecto, así como antes las pruebas de puesta en servicio de un determinado sistema de señalización eran definidas y realizadas por el fabricante del sistema, en la actualidad

esas pruebas se han definido por el Ministerio de Fomento y son evaluadas por organismos independientes del suministrador, ya sea un grupo de pruebas independiente del propio Adif u organismos neutrales como el LIF del Cedex.

### 1.2. Las pruebas de Puesta en Servicio

En este aspecto también el sector ferroviario español ha sido el más adelantado de Europa, definiendo un conjunto de pruebas necesarias para la puesta en servicio de una línea y/o un tren equipados con ERTMS. Estas pruebas fueron definidas por un grupo de trabajo conjunto que bajo la dirección de la antigua Dirección General de Ferrocarriles, estaba compuesto por expertos de Adif, Renfe, Cedex e Ineco. Estas pruebas (figura 2), posteriormente denominadas pruebas de interoperabilidad o escenarios operacionales consisten en un muestreo de la funcionalidad más relevante del ERTMS, de forma que se pruebe en aquellos puntos de la línea donde dicha funcionalidad aplique.

Este conjunto de casos de prueba (alrededor de 200) es el que se debe ejecutar en todas las líneas antes de su puesta en servicio. Obviamente con anterioridad a las mismas, el suministrador del subsistema de vía y Adif realizan pruebas internas de comprobación de la correcta instalación del sistema en su conjunto, correcta grabación de balizas, concordancia de datos en el RBC etc.

La experiencia adquirida desde las primeras puestas en servicio en 2006 hasta la actualidad permite afirmar que una vez ejecutadas con éxito las Pruebas de puesta en servicio, no ha habido incidencias relevantes durante la explotación comercial en estos más de diez años ya transcurridos. Es importante señalar aquí que las incidencias a las que nos referimos son incidencias que darían lugar a problemas de interoperabilidad que se traducirían en parada del tren, pero nunca a problemas de seguridad ya que el ERTMS es un sistema de seguridad SIL 4 y como tal cumple la condición de "Fail safe" que significa que ante cualquier fallo se irá a una situación segura.

Estas pruebas de puesta en servicio o **Casos de Prueba Operacionales** se dividen en dos grupos: los de Infraestructura

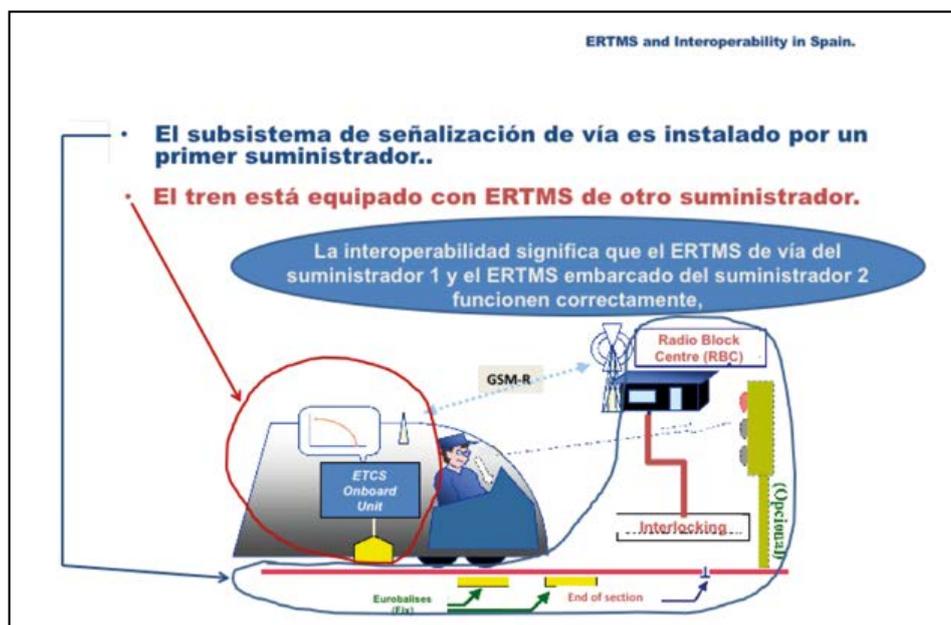


Figura 1. El concepto de interoperabilidad.



**Figura 2.** Pruebas Complementarias o de puesta en servicio(o escenarios operacionales).

definidos por Adif y que sirven para validar la funcionalidad ERTMS desplegada en una línea concreta y las de Integración o Compatibilidad de Ruta definidas por la AESF que sirven para autorizar la circulación de un tren sobre una línea específica. Esta separación está alineada con el contenido de la Orden FOM/167/2015 que regula las condiciones para la entrada en servicio de los diferentes subsistemas ferroviarios.

La experiencia adquirida por el sector ferroviario español en este punto está permitiendo su “exportación” a otros mercados. Como botón de muestra, Ineco y el Cedex están diseñando las pruebas de puesta en servicio que ejecutará el administrador ferroviario danés (Banedanmark) dentro de su programa de despliegue de dicho sistema en toda la red ferroviaria danesa.

### 1.3. Pruebas en vía y pruebas en laboratorio

Tradicionalmente las pruebas de puesta en servicio definidas por el Ministerio de Fomento (Especificación de Pruebas Complementarias en Vía v6.1) se han ejecutado en la vía, si bien desde su misma concepción ya se pensó en su ejecución en laboratorio, y de echo se hicieron campañas muy tempranas de ejecución de pruebas en laboratorio como en la LAV Madrid-Lleida en los años 2004-2005.

Posteriormente y debido a varias razones, como la dificultad de integrar los equipos de ERTMS en laboratorio o la necesidad imperiosa de probar en vía para intentar reducir los tiempos de la puesta en servicio, las pruebas se ejecutaron en vía a en la mayoría de las líneas en servicio.

Actualmente, gracias a la integración de los equipos ERTMS en el laboratorio y a la posibilidad de una respuesta más rápida de éste, la situación ha ido cambiando y en la actualidad la mayoría de las líneas que se pondrán en servicio en ERTMS próximamente se están probando con antelación en el laboratorio. Esto es debido también al apoyo de Adif con una cláusula específica en los pliegos de licitación que obliga a los contratistas adjudicatarios del ERTMS de vía a efectuar pruebas previas en un

laboratorio independiente, con tres equipos embarcados ERTMS (EVCs) de diferentes suministradores. De manera análoga Renfe Operadora ha incluido una cláusula similar en sus pliegos en los que requiere a los fabricantes de EVCs a probarlos en el laboratorio con anterioridad a ser probados en la vía.

El ERTMS es un sistema complejo que se basa en el intercambio de información entre los equipos de vía , LEU (Lineside Electronic Unit) y Baliza en N1 y RBC (Radio Block Center) en N2, y el equipo embarcado. Este intercambio de información entre equipos fabricados por distintos suministradores es el aspecto clave de la interoperabilidad, y la diferente interpretación de los telegramas y mensajes intercambiados es la que puede dar lugar a problemas de interoperabilidad.

Pues bien, este aspecto “funcional” del sistema, que en el ERTMS es la base de su funcionamiento y que como sistema más avanzado es el que más información intercambia entre vía y tren, puede ser perfectamente reproducido en el laboratorio de forma que en el mismo se pueden ejecutar la totalidad de las pruebas que se ejecutan en vía y demostrar que los aspectos funcionales, bien de intercambio de información tren-vía, bien del funcionamiento y reacción del equipo embarcado que controla al tren, o bien de datos del subsistema de vía, funcionan correctamente.

El LIF del Cedex (figura 4) tiene integrados actualmente en su laboratorio los equipos embarcados de Alstom (S-100, S-104, Cercanías y proyecto Haramain), Bombardier, Siemens, Caf y Ansaldo. Los 4 primeros de la línea de base 2 (2.3.0.d.) y el de Ansaldo de la línea de base 3 (3.4.0.). Asimismo ha integrado los RBCs de Siemens (Cercanías Madrid, Madrid-Levante y Haramain), Thales (Cercanías Madrid y Olmedo-Zamora), Alstom (Valladolid-León) y Bombardier (Venta de Baños-Burgos), por lo que se puede afirmar que la totalidad de los suministradores tanto de vía como de equipo embarcado están siendo probados ya en el LIF del Cedex.

Se ha discutido largamente entre los agentes del sector acerca de la validez de ejecutar los ensayos solamente en



Figura 3. Pruebas ERTMS en vía.

laboratorio y si estos pueden sustituir totalmente los ensayos en vía o no. Las diferentes posturas, entre la más conservadora de mantener todos los ensayos en vía, y la más avanzada de sustituirlos totalmente por los ensayos en laboratorio, tienen sus propias argumentaciones: en principio lógicamente ningún sistema ferroviario se pondrá en servicio sin ninguna prueba en vía, aunque solamente sea para comprobar la instalación correcta de todos sus elementos, sin embargo la ejecución total de las pruebas en vía no tiene sentido en muchos casos en los que la prueba trata de un intercambio de información tren-vía y de comprobar el correcto funcionamiento del equipo embarcado.

Este tipo de pruebas se pueden hacer en el laboratorio en las mismas condiciones que en la realidad.

De todas formas en la actualidad se ha decidido ejecutar las pruebas en ambos lugares, laboratorio y vía, pero con una ventaja fundamental: si las pruebas en laboratorio consiguen una depuración completa del sistema, la posterior ejecución de las pruebas en vía será únicamente una comprobación de la correcta instalación y se realizará de forma muy rápida ya que no se deberán realizar modificaciones que adicionalmente, si las pruebas son en vía con un tren real, requieren la modificación del dossier de seguridad correspondiente.



Figura 4. Pruebas ERTMS en el laboratorio.

## 2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE TIEMPO Y COSTE

Teniendo en cuenta lo anterior, el análisis comparativo de tiempo y coste entre la ejecución de las pruebas en vía y/o en laboratorio se va a realizar a continuación considerando tres escenarios diferentes, todos ellos ejecutando los Escenarios Operacionales con tres EVCs de diferentes fabricantes. Los tres escenarios van desde el caso de ejecutar todas las pruebas en vía (escenario 1) hasta el escenario final ideal de ejecutarlas todas en laboratorio (escenario 2), pasando por el escenario intermedio actual de ejecutarlas en ambos lugares (escenario 3).

Antes de analizar el coste y duración de cada uno de los escenarios se harán unas consideraciones previas que basadas en la experiencia española, nos proporcionarán los datos requeridos para el cálculo de cada escenario.

**Tabla I.** Duración de campañas de pruebas en vía

Campaña vía	Tren	Nº de pruebas	Nº de jornadas	Ratio Pruebas/día	Periodo	Jornada de pruebas*
Albacete – Alicante N2	S-100	126	16	7,8	May-Nov 2013	8h
Albacete – Alicante N2	S-730	130	20	6,5	Abr-Dic 2013	8h
Madrid-Valencia N2	S-100	85	9	9	Ag-Sep 2015	8h
Madrid-Valencia N2	S-112	100	11	9	Oct-2014	8h
Albacete-Alicante N2	S-112	89	9	10	Sep-Oct 2014	8h

\* En las líneas en servicio las pruebas se realizan en horario nocturno cuya jornada efectiva es de 5 horas

En dicha tabla I es significativa la diferencia de duración de las campañas de pruebas en vía para líneas que habían sido probadas previamente en laboratorio como la Madrid-Valencia N2 (1-2 meses) con la de líneas que no se habían probado anteriormente en laboratorio como la Albacete-Alicante (7-9 meses). Si bien el número de jornadas de pruebas no es tan superior, si lo es la duración total de la campaña, ya que en las pruebas en vía un hecho muy importante es que cada vez que se modifica el SW del equipo embarcado se debe modificar el dossier de seguridad correspondiente que permita la autorización de circulación del tren. Si el sistema ha sido previamente depurado en el laboratorio, este hecho se producirá menos veces o incluso ninguna, de ahí la razón de esa diferencia tan notable de duración de la campaña completa.

### 2.1.2. Coste de las Pruebas Operacionales en Laboratorio

En la actualidad el coste de una campaña de pruebas en el Laboratorio de Interoperabilidad del CEDEX se sitúa alrededor de los 180 k€. Este coste cubre la ejecución de las Pruebas Operacionales de Infraestructura e Integración definidas por Adif y por la AESF para tres vehículos con tres equipos embarcados o EVC de diferentes fabricantes. El número de casos de prueba que como promedio se ejecutan está en el entorno de los 100. Por tanto el coste de cada caso de prueba para cada uno de los equipos embarcados sería el siguiente:

$$\text{Coste Caso Prueba Lab} = 180.000 / (100 \cdot 3) = 600\text{€}$$

### 2.1.3. Coste de las pruebas Operacionales en vía.

Según la información recibida de ADIF el coste de una sesión de pruebas en vía se estima en el entorno de 14.000 € (la mitad coste del tren y la otra mitad del personal de pruebas

## 2.1. Consideraciones previas basadas en la experiencia española

Las consideraciones que se llevarán a cabo a continuación de duración de las pruebas y coste de las mismas en vía y laboratorio están basadas en la experiencia española durante el despliegue de todas las líneas ERTMS, siendo en la actualidad España el país con más experiencia en este campo y prácticamente el único país con experiencia en pruebas en laboratorio.

### 2.1.1. Duración de las campañas de prueba en vía

En la tabla I se muestran algunos datos reales de la duración de varias campañas de pruebas operacionales en vía:

de circulación e informes posteriores). De acuerdo a la tabla I, el rendimiento de casos de prueba efectuados en una sesión de pruebas se estima en el entorno de 6,5 (teniendo en cuenta que en muchas líneas son pruebas nocturnas). Por tanto el coste de un caso de prueba sería :

$$\text{Coste Caso Prueba Vía} = 14.000 / 6,5 = 2.153,8 \text{ €} = 3,58 \text{ veces el Coste Caso Prueba Lab}$$

### 2.1.4. Escenario 1. Ejecución de la campaña de ensayos operacionales únicamente en vía

En el caso de que la ejecución de pruebas se realice únicamente en la vía, como por ejemplo ocurrió en la LAV Albacete-Alicante, la situación real es que el primer tren que ejecuta las pruebas encuentra multitud de incidencias que dan lugar a que el tiempo de ejecución de pruebas en vía se extienda enormemente, de forma que desde el inicio de las pruebas en dicha LAV con un EVC hasta su finalización pasaron 7,5 meses (del 15 de Abril al 4 de Diciembre). La constatación de esta afirmación se encuentra en la ejecución de las pruebas en vía de la LAV Madrid-Valencia que duraron únicamente un mes, ya que con anterioridad se habían ejecutado multitud de pruebas en el laboratorio.

Por tanto, en este caso real la ejecución de las pruebas en vía tiene un doble impacto: por un lado con el primer EVC las pruebas se ejecutan al menos 3 veces y eso provoca un retraso considerable de unos 7 meses. La segunda y tercera campaña de ensayos con los otros dos EVCs se estimarían en 15,38 días (100 escenarios totales/ 6,5 escenarios al día). Por tanto en este escenario la duración total de las pruebas en vías se extendería unos **8,5 meses** (7 para el primer EVC + 1,5 para los otros dos)

y el coste total de las pruebas ascendería a la cantidad siguiente:

**Coste total pruebas en vía** = 3 ejecuciones para el primer EVC + 15,38\*2 días para el 2º y 3º = 15,38\*3\*14000 + 15,38\*2\*14.000 = **1.076.600 €**

Es muy importante señalar que en la actualidad, Adif está ejecutando escenarios de prueba adicionales a los obligatorios fijados por la AESF, para comprobar rutas, hacer las transiciones en todos los puntos etc. En este caso la ejecución de estos escenarios adicionales tendría un impacto importante en el coste y en la duración: estimando unas 18 jornadas de prueba, el coste se incrementaría en 18\*14.000=252.000 € y la duración en alrededor de **2 meses**.

Es muy importante señalar que en este escenario, la ejecución de las pruebas se llevaría a cabo una vez finalizada la obra, por lo que añade un tiempo adicional de alrededor de 8.5+2=10,5 meses hasta la puesta en servicio.

En este escenario de pruebas únicamente en vía es también muy importante resaltar que en el caso de que aparezcan incidencias con la 2ª ó 3ª eurocabina o EVC, se produce un dilema importante ya que puede ser posible que haya que hacer modificaciones en la vía ya en servicio y/o en los trenes equipados con el nuevo EVC.

### 2.1.5. Escenario 2. Ejecución de la campaña de ensayos operacionales únicamente en el laboratorio

Si bien en la actualidad no se ha llegado a la situación de que los casos de Pruebas Operacionales se ejecuten solamente en el laboratorio, este es el escenario al que se debería tender. En este caso, como se ha mencionado anteriormente, el coste medio de una campaña es de 180.000 € con tres equipos embarcados de diferentes fabricantes. La duración es de tres meses teniendo en cuenta que se precisan dos meses para la preparación de datos, integración de equipos, etc..., y un mes para la ejecución de los escenarios con tres EVCs.

Es muy importante señalar que en la actualidad, sin coste adicional, Adif está ejecutando en el laboratorio los escenarios de prueba adicionales a los obligatorios fijados por la AESF, para comprobar rutas, hacer las transiciones en todos los puntos etc...

Es muy importante resaltar también que en este escenario la ejecución de la campaña de pruebas **no está condicionada a la finalización de la obra real**, sino que una vez que se conocen los datos de vía la campaña puede ejecutarse en su totalidad antes de que la obra esté finalizada. Esta es una excelente herramienta para evitar los problemas de última hora que siempre aparecen con la señalización antes de la puesta en servicio de las líneas.

### 2.1.6. Escenario 3. Ejecución de la campaña de ensayos operacionales en laboratorio y en vía

El escenario actual es el que ha decidido ADIF que consiste en realizar las pruebas inicialmente en el laboratorio y con posterioridad en vía una vez que se ha depurado todo el sistema. La gran diferencia de este escenario con el escenario 1 en lo que se refiere a la ejecución de las pruebas en vía, consiste en que en este caso las pruebas en vía se ejecutan de igual manera con la 1º eurocabina que con la 2ª y 3ª, ya que la depuración previa del sistema únicamente requiere comprobar la correcta instalación de todos los componentes. En este caso incluso se podrían realizar las pruebas en vía con una sola eurocabina.

No obstante considerando que se ejecutan con tres eurocabinas, en este escenario el tiempo de ejecución de las pruebas y el coste de las mismas serían los siguientes:

Tiempo total de ejecución=Tiempo en laboratorio (3 meses)+ Tiempo en vía (3\*15,38=46 días)= 3+2=5 meses.

Coste total de pruebas (Lab+Vía) = 180.000+14.000\*46= 824.000 €

## 3. TABLA RESUMEN DE COMPARACIÓN DE COSTE Y DURACIÓN

Los resultados de duración y coste de los diferentes escenarios considerados se recogen de forma resumida en la tabla II. En ella se muestra la reducción en coste comparado con el escenario 1 de ejecutar las pruebas únicamente en vía:

- a) En el caso ideal de ejecutarlas únicamente en laboratorio, el coste se reduciría al 13% - de 1.328 k€ a 180 k€- y el tiempo al 28% - de 10,5 a 3 meses- con la importante salvedad de que los tres meses de prueba se pueden compatibilizar con la finalización de la obra.

**Tabla II.** Coste y duración de los diferentes escenarios considerados

Escenario	Coste	Duración	Escenarios Adicionales de Adif
Ejecución de un caso de prueba en laboratorio	<b>600 €</b> (27% del coste en vía)	15 casos de prueba/sesión	
Ejecución de un caso de prueba en vía	<b>2.153,8€</b>	6,5 casos de prueba/sesión	
1. Campaña de ensayos con 3 EVCs solo en vía	<b>1.076.600 €</b>	<b>8,5 meses</b> (ejecutables al finalizar la obra)	La ejecución de los escenarios adicionales por parte de Adif generaría un incremento de coste de <b>252 k€</b> y <b>2 meses</b> de plazo extra.
Solo en vía con escenarios extra de Adif	<b>1.328.000€</b>	<b>10,5 meses</b> (ejecutables al finalizar la obra)	
2. Campaña de ensayos con 3 EVCs solo en laboratorio	<b>180.000 €</b> (13,5% del coste en vía)	3 meses (ejecutables antes de la finalización de la obra)	Adif ejecuta, sin coste adicional, multitud de escenarios adicionales.
3. Campaña mixta primero en laboratorio y posteriormente en vía con tres EVCs	<b>824.000 €</b> (62% del coste solo en vía)	<b>5 meses</b> (de los cuales solo 2 se ejecutan al finalizar la obra)	Adif ejecuta en el laboratorio, sin coste adicional, multitud de escenarios adicionales.

- b) En el caso más real de ejecutar las pruebas primero en el laboratorio y posteriormente en la vía, el coste se reduciría al 62%- de 1.328 k€ a 824 k€- y el tiempo al 47%-de 10,5 a 5 meses- con la importante salvedad de que de los 5 meses solamente 2 se deberían ejecutar tras la finalización de la obra. Luego en este caso la reducción de la duración de las pruebas a la finalización de la obra sería de 10,5 a 2 meses.

#### 4. CONSIDERACIONES ADICIONALES

Como consideraciones adicionales a las anteriormente expuestas no queremos dejar de señalar los siguientes aspectos:

- a) En la comparativa realizada no se han tenido en cuenta el gran número de incidencias que se pueden detectar en las pruebas en vía, sino que se ha considerado para la estimación del tiempo el caso de la LAV Albacete-Alicante que se puede considerar como la puesta en servicio más exitosa desde el punto de vista de tiempo de ensayos.
- b) Tampoco se ha considerado en el cálculo de costes el lucro cesante derivado de una apertura más tardía de la línea derivada de un proceso más largo de puesta en servicio.
- c) Igualmente no se han considerado los factores sociopolíticos derivados de un retraso en la puesta en servicio.
- d) Finalmente un hecho que queremos resaltar es que las pruebas en laboratorio constituyen una excelente herramienta para la prueba del sistema de señalización considerando la **totalidad del Sistema Ferroviario** y no los subsistemas de vía y embarcados por separado. Si bien las estrategias de certificación de los subsistemas van dirigidas a su tratamiento como subsistemas independientes, y así se contempla en

la Orden FOM/167/2015 antes citada, todos los expertos ferroviarios insisten en la necesidad de evaluar el Sistema Ferroviario en su totalidad. Para ello el laboratorio, en el que se integran ambos subsistemas (EVCs y RBCs), constituye una excelente herramienta para probar el sistema completo.

- e) Por último la posibilidad de probar varios ( tres o más) equipos embarcados sobre las diferentes líneas sin necesidad de movilizar los correspondientes trenes reales fortalece la robustez del proceso de puesta en servicio y confirma la necesidad de utilización del laboratorio.

#### 5. POSIBILIDADES FUTURAS DE LAS PRUEBAS EN LABORATORIO: ENSAYOS REMOTOS Y COMPATIBILIDAD HACIA ATRÁS

Adicionalmente a las ventajas de coste y tiempo señaladas en los apartados anteriores, hay dos hechos muy relevantes que refuerzan el papel de los laboratorios de ensayos del ERTMS.

El primero de ellos es la posibilidad de ejecución de ensayos remotos, esto es demostrar la capacidad de que un tren equipado en un país circule sin problemas de interoperabilidad sobre una línea en otro país. En efecto, se puede probar que el EVC que equipa a un tren de un país puede circular sobre una línea en otro país mediante una conexión entre los laboratorios en los que está instalado el equipo embarcado o EVC y el laboratorio en el que se integra la línea ERTMC (RBC en N2 o mensajes de baliza en N1).

Este ensayo ya se ha ejecutado de forma remota entre un EVC equipando un tren alemán en el laboratorio de DLR en Braunschweig (Alemania), circulando por líneas españolas (C4 de Cercanías y Madrid-Valencia) integradas en el laboratorio del Cedex en Madrid . En la figura 5 se muestra la arquitectura del ensayo y en la figura 6 la aplicación para

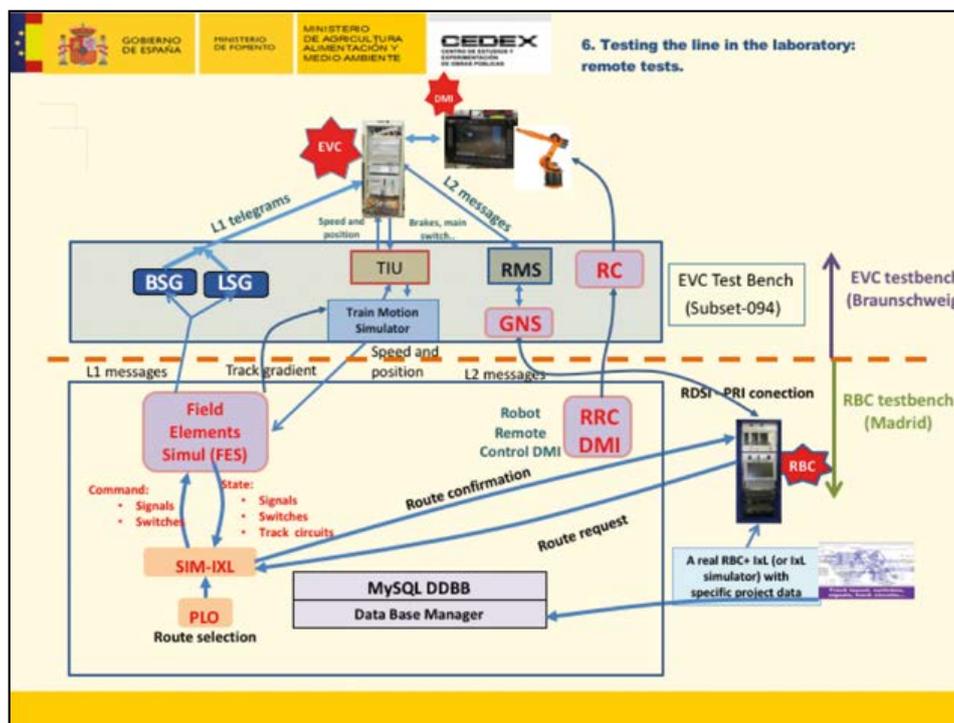


Figura 5. Arquitectura de ensayos remotos ERTMS entre Cedex y DLR.

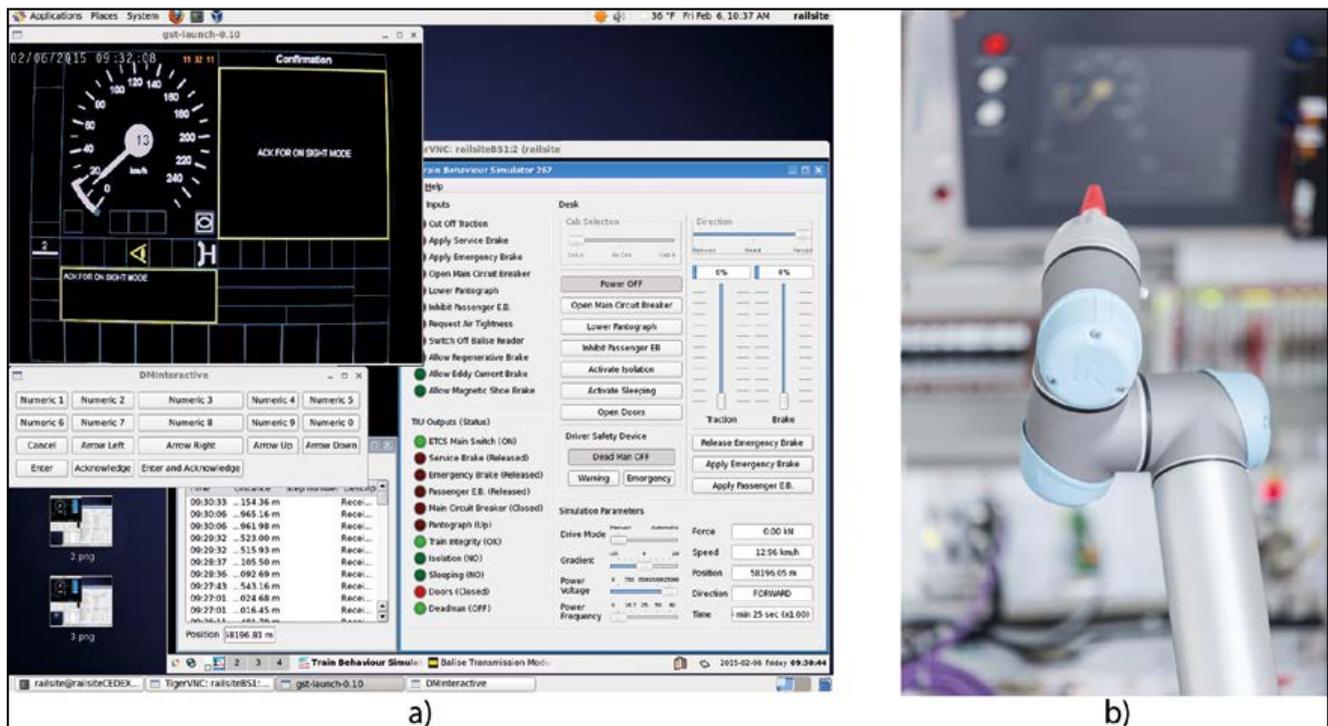


Figura 6. a) Aplicación de conducción remota, b) Robot accionador del DMI.

“conducir” el tren alemán desde Madrid (6 a) y el robot que acciona remotamente el DMI en Alemania (6 b).

La segunda aplicación futura del laboratorio de ERTMS que queremos resaltar aquí, es su utilización para la demostración real de la compatibilidad hacia atrás de las futuras versiones del sistema. En efecto, en un futuro ya cercano los suministradores del equipo embarcado únicamente fabricarán equipos de la línea de base 3 (BL3), que en el caso español deberán circular sobre nuestras líneas de la línea de base 2 (BL2:2.3.0.d.). Este hecho que en principio ha sido asegurado por la Agencia ferroviaria Europea puede ser probado con antelación en el laboratorio. De hecho el LIF del Cedex participa en un proyecto europeo financiado por fondos CEF en el que se ejecutarán escenarios operacionales con EVCs de la BL3 sobre las líneas españolas BL2 que en la actualidad están integradas en el laboratorio.

## 6. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de este análisis, que ya se han citado en los apartados anteriores se resumen aquí a modo de sumario:

1. El Laboratorio de Interoperabilidad ferroviaria del CEDEX constituye una herramienta muy útil para demostrar la interoperabilidad entre diferentes fabricantes de vía y equipo embarcado.
2. La reducción de costes y de tiempo que se puede conseguir mediante la utilización del laboratorio puede ser muy relevante y se ha mostrado claramente en el apartado 3 “tabla resumen”:
  - a) Escenario 1: Realización de todas las pruebas únicamente en vía: Coste 1.328.000€ y duración 10,5 meses tras la finalización de la obra.
  - b) Escenario 3: Realización previa de las pruebas en laboratorio y posteriormente en vía: Coste 824.000€ y

duración 5 meses (de los cuales solamente 2 meses tras la finalización de la obra).

- c) Escenario 2: Realización de todas las pruebas únicamente en laboratorio: Coste 180.000€ y duración 3 meses que se pueden ejecutar en paralelo con la obra.
  - d) No se han tenido en cuenta consideraciones adicionales como el lucro cesante, pruebas del sistema completo, etc.
3. Las capacidades futuras del laboratorio pueden ser extendidas a aspectos de gran relevancia como:
- a) Posibilidad de ejecución de escenarios remotos. Posibilidad de probar líneas de cualquier parte del mundo.
  - b) Posibilidad de probar en laboratorio la compatibilidad hacia atrás del ERTMS. Trenes BL3 sobre líneas BL2.

## 7. REFERENCIAS

- Iglesias, Jorge-Ignacio. (2004). La interoperabilidad ferroviaria europea: El laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) del CEDEX. *Ingeniería Civil*, nº 136, pp. 25-35.
- Iglesias, J.I., y Tamarit, J. (2014). Complex interlaced infrastructure - onboard testing: how much real scale testing should be needed? *11th UIC ERTMS Conference, Istanbul, Turkey 1-3 April 2014*.
- Iglesias, J.I., Tamarit, J., Molina, D., Asbach, L., y Johne, M. (2015). The future of interoperability tests. ERTMS remote lab tests: a further step in the automation and execution of virtual tests. *IX International Conference on High Speed. Cordoba, Spain 17-19 June 2015*.
- Tamarit, J., e Iglesias, J.I. (2016). Los sistemas de señalización en España: El ERTMS y el ASFA Digital. Signalling Systems in the Spanish Railway Network: ERTMS and ASFA Digital. *Ingeniería Civil*, nº 182, pp. 27-39.