

Ensayos de eurocabina en el laboratorio de interoperabilidad ferroviaria CEDEX (LIF)

DANIEL MOLINA MARINAS (*), RODRIGO CÁCERES HARRIS (**), MYRIAM GONZÁLEZ SECO (***), SANTIAGO GARCÍA CORDERO (****), JOSÉ BUENO PÉREZ (****), JAIME TAMARIT RODRÍGUEZ (*****), MIGUEL LÓPEZ HERNÁNDEZ (*****), MIGUEL FERNÁNDEZ ELORRIAGA (*****), y ANTONIO MARTÍNEZ (*****)

RESUMEN La utilización de formatos unificados para el análisis de registros de ensayos y para la descripción del despliegue del sistema de señalización de vía permite utilizar la misma metodología de ensayos en procesos genéricos de verificación de la interoperabilidad de equipos embarcados y de puesta en servicio de proyectos específicos de señalización tanto de vía como de equipos embarcados. Esto se puede extender al análisis de las curvas de frenado. La validación del laboratorio mediante análisis comparativos de escenarios operacionales ejecutados en vía y en laboratorio hace aceptables los ensayos de laboratorio para los departamentos de seguridad del Gestor de Infraestructura y Operador Ferroviario.

EUROCAB INTEROPERABILITY TESTS IN THE RAILWAY INTEROPERABILITY LABORATORY OF CEDEX (LIF)

ABSTRACT *The use of unified formats for the analysis of test records and for the description of track signalling lay-out allows the use of the same methodology in the verification of the interoperability of generic Onboard ETCS subsystems and in the process of placing into service Onboard and Trackside specific projects. This includes the verification of braking curves. The laboratory validation by comparative analysis of operational scenarios performed on the track and in the laboratory makes acceptable the laboratory tests for the safety departments of the Infrastructure Manager and Railway undertaking.*

Palabras clave: Eurocabina, Señalización ferroviaria ERTMS, Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad, Escenarios Operacionales, Certificación, Puesta en Servicio.

Keywords: Eurocab, European Signalling System, ERTMS, Technical Specification for Interoperability, Operational scenarios, Certification, Placing into service.

1. INTRODUCCIÓN

La especificación Europea para la verificación de la interoperabilidad de un producto genérico ERTMS embarcado (European Vital Computer, EVC o Eurocabina) se basa en tres conceptos básicos: Características, Casos de Prueba y Secuencias de Prueba.

CARACTERÍSTICA (FEATURE):

Es un grupo de requisitos, cuyo cumplimiento puede ser probado a través de las interfaces Europeas. Es una característica esperada del sistema por parte del operador y, consecuentemente, visible desde el exterior. Se han identificado 580

(*) Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) CEDEX. Dr. en Ciencias Físicas. E-mail: Daniel.Molina@cedex.es

(**) Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) CEDEX. Ingeniero de Telecomunicaciones. E-mail: Rodrigo.Caceres@cedex.es

(***) Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) CEDEX. Licenciada en Ciencias Físicas. E-mail: miriam.gonzalez@cedex.es

(****) Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) CEDEX. Ingeniero de Telecomunicación. E-mail: Santiago.Garcia@cedex.es

(*****) Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) CEDEX. Dr. Ingeniero Naval. E-mail: Jose.Bueno@cedex.es

(***** Director del Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) CEDEX. Dr. Ciencias Físicas. E-mail: Jaime.Tamarit@cedex.es

(***** INECO. Dr. en Ciencias Físicas. E-mail: miguel.lopez@ineco.es

(***** INECO. Licenciado en Ciencias Matemáticas. E-mail: miguel.fernandez@ineco.es

(***** INECO. Licenciado en Ciencias Físicas. E-mail: antonio.martinez@ineco.es

características para cubrir todos los requisitos funcionales expresados en la versión 2.3.0 “d” de la especificación técnica (SRS: System Requirements Specification).

CASOS DE PRUEBA:

Son descripciones funcionales y técnicas de los ensayos necesarios para demostrar la interoperabilidad. Esto es, un caso de prueba describe el ensayo para verificar el correcto cumplimiento de una característica por parte de un equipo embarcado sometido a prueba. Se han especificado 633 casos de prueba para cubrir las características de la versión 2.3.0 “d” de la especificación técnica.

SECUENCIAS DE PRUEBA:

Las secuencias de prueba están pensadas para la ejecución automática de los casos de prueba agrupando estos últimos en escenarios que reflejan una situación operacional y pueden ser ejecutados en entornos de ensayo normalmente utilizados por la industria y similares. Se han construido 93 secuencias para concatenar todos los casos de prueba y cubrir todas las características de la especificación técnica.

Un caso de prueba consta esencialmente de un estado inicial, el cuerpo del caso de prueba y la condición final. Para

concatenar casos de prueba la condición final de un caso debe ser igual a la condición inicial del siguiente.

Sin entrar en la especificación técnica y con objeto de entender la metodología del ensayo de verificación de la interoperabilidad del equipo embarcado, podemos poner como ejemplo un punto intermedio de la secuencia número 15 donde el equipo embarcado recibe una autorización de movimiento con una descripción de los parámetros necesarios para la protección del tren. Esta información se transmite por medio de balizas que emiten paquetes de variables definidos en la especificación técnica (La interpretación del lenguaje es el núcleo de la interoperabilidad):

- Recepción de una autoridad de movimiento (MA): Paquete 12. Característica 32, Caso de prueba 1.1.
- Recepción del perfil de velocidades de la vía (SSP). Paquete 27. Característica 37. Caso de prueba 2.1.
- Recepción del perfil de gradientes de la vía (GP). Paquete 21. Característica 62. Caso de prueba 2.1.
- Información de enlace de grupos de balizas (Linking). Paquete 5. Característica 57. Caso de prueba 2.1.
- Envío de un mensaje de texto. Paquete 72. Característica 109. Caso de prueba 1.1.

ID	Name	Description	Test Case ID
12	PT15.TC1.3	Driver acknowledged general v...	11.SR
13	PT15.TC1.3	...	11.SR
14	PT15.TC1.4	The train switches to SR mode...	11.SR
15	PT15.TC1.5	The train receives a telegram (balis...	11.SR
16	PT15.TC1.2	Status of data stored on-board of...	11.SR
17	PT15.TC1.3	...	11.SR
18	PT15.TC1.2	Personnel indicates a mode SR to...	11.SR
19	Single step	The train starts moving	11.SR
20	PT15.PC1.1	The train receives a balise telegram...	11.SR/05/06/PT
21	PT15.PC1.1	The on-board reads some or more...	11.SR
22	PT15.PC1.1	The telegram and packet 17 is accepted...	11.SR
23	PT15.PC1.1	The on-board reads some or more...	11.SR
24	PT15.PC1.1	The telegram and packet 21 is accepted...	11.SR
25	PT15.PC1.1	The on-board reads some or more...	11.SR
26	PT15.PC1.1	The telegram and packet 5 is accepted...	11.SR
27	PT15.PC1.4	The train consists of a linking group...	11.SR
28	PT15.PC1.1	Balise telegram including packet 12...	11.SR/05/06/PT

FIGURA 1. Pruebas genéricas para la verificación de la interoperabilidad del equipo embarcado. Secuencia de ensayo 15: Casos de prueba concatenados para la recepción de una autorización de movimiento y parámetros asociados.

- Registro de los mensajes recibidos en la Unidad de Registro Jurídico. Característica 32, Caso de prueba 1.2.

Para verificar el cumplimiento de los requisitos correspondientes vemos destacadas en azul las interfaces Europeas afectadas. El módulo lector de balizas del equipo embarcado (BTM) debe leer los mensajes enviados desde la vía y la lectura decodificada de los mensajes debe registrarla el equipo embarcado en la Unidad de Registro Jurídico (JRU). Para verificar el cumplimiento de estas características concatenadas deberemos pues analizar el registro jurídico y comprobar que los mensajes enviados en este punto se han decodificado correctamente.

2. UNIFICACIÓN DE FORMATOS

En la actualidad cada compañía suministradora utiliza formatos propios para los registros de información en la JRU. Si bien estos formatos son similares, su análisis requiere el conocimiento del formato específico de cada compañía. Con objeto de poder decodificar los registros de todas las compañías con un intérprete único de mensajes para cada versión de la especificación técnica, el Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) del CEDEX ha desarrollado una herramienta de análisis de registros que consta de dos partes diferenciadas:

JR_DECS: Herramienta que mediante un descriptor del formato (descriptor file) traduce los registros propios de la compañía en cuestión a un formato de base de datos sqlite (.db3).

TJDEplorer: Intérprete unificado de registros para una versión concreta de la especificación técnica.

Esta herramienta contiene multitud de aplicaciones expertas que han sido desarrolladas basándose en la experiencia del Laboratorio en los procesos de certificación y puesta en servicio de equipos ERTMS. No es cuestión presentar aquí las prestaciones de esta herramienta experta. Se desea hacer hincapié en las ventajas que se derivan de la utilización de un formato común de los registros que permite centrar todo el esfuerzo de desarrollo en un intérprete experto y gestor de la información almacenada en la Unidad de Registro Jurídico.

A modo de ejemplo presentamos la interpretación de un mensaje con una Autorización de Movimiento, similar al presentado en el segmento de la secuencia N° 15 para el ensayo de un equipo genérico. Este registro proviene no de un registro obtenido en un proceso de certificación genérico sino de un registro de un viaje específico de pruebas en la línea Madrid-Levante con señalización de vía diseñada por Dimetronic y tren equipado por Siemens. JRU del equipo de Siemens en consecuencia.

3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE SEÑALIZACIÓN DE VÍA EN FORMATO COMÚN

Tal como se ha presentado en el apartado anterior, la utilización de un formato común para los registros de la Unidad de Registro Jurídico permitió desarrollar con mayor consistencia el análisis de los registros tanto para ensayos genéricos de certificación como para pruebas complementarias de puesta en servicio de proyectos específicos.

De manera análoga, la utilización de formatos unificados para la descripción de los datos de señalización de vía permite utilizar estructuras análogas para la certificación de produc-

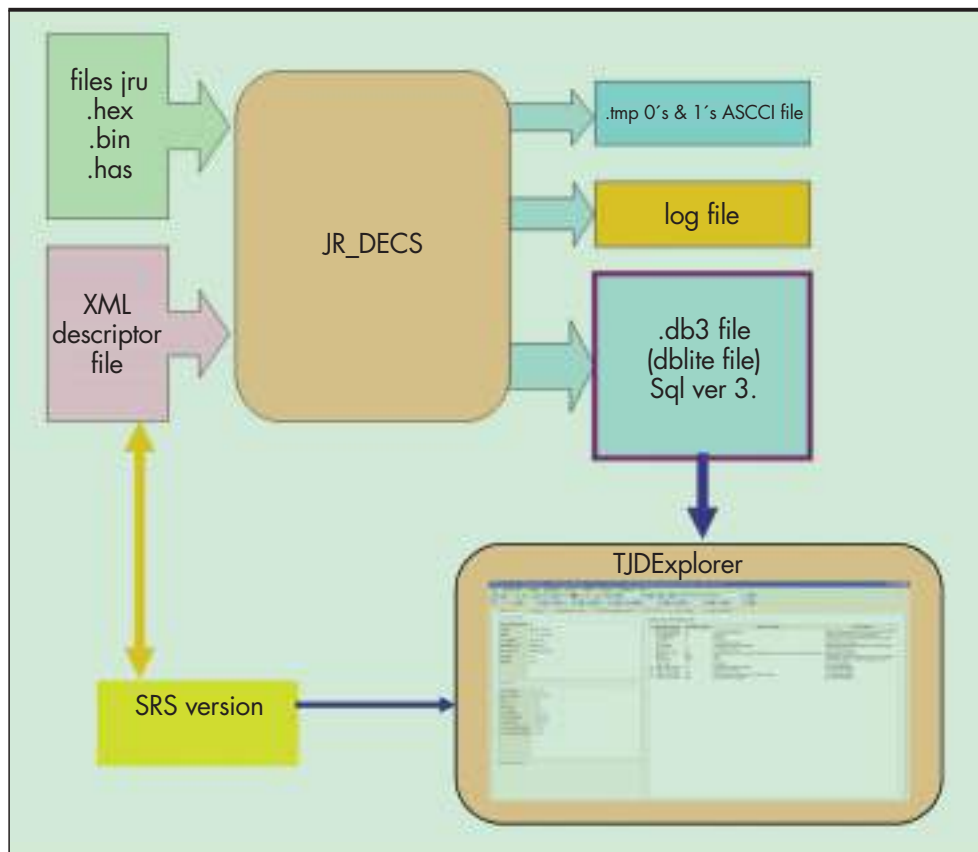


FIGURA 2. Herramientas LIF para la Unificación del formato e intérprete de registros de la JRU.

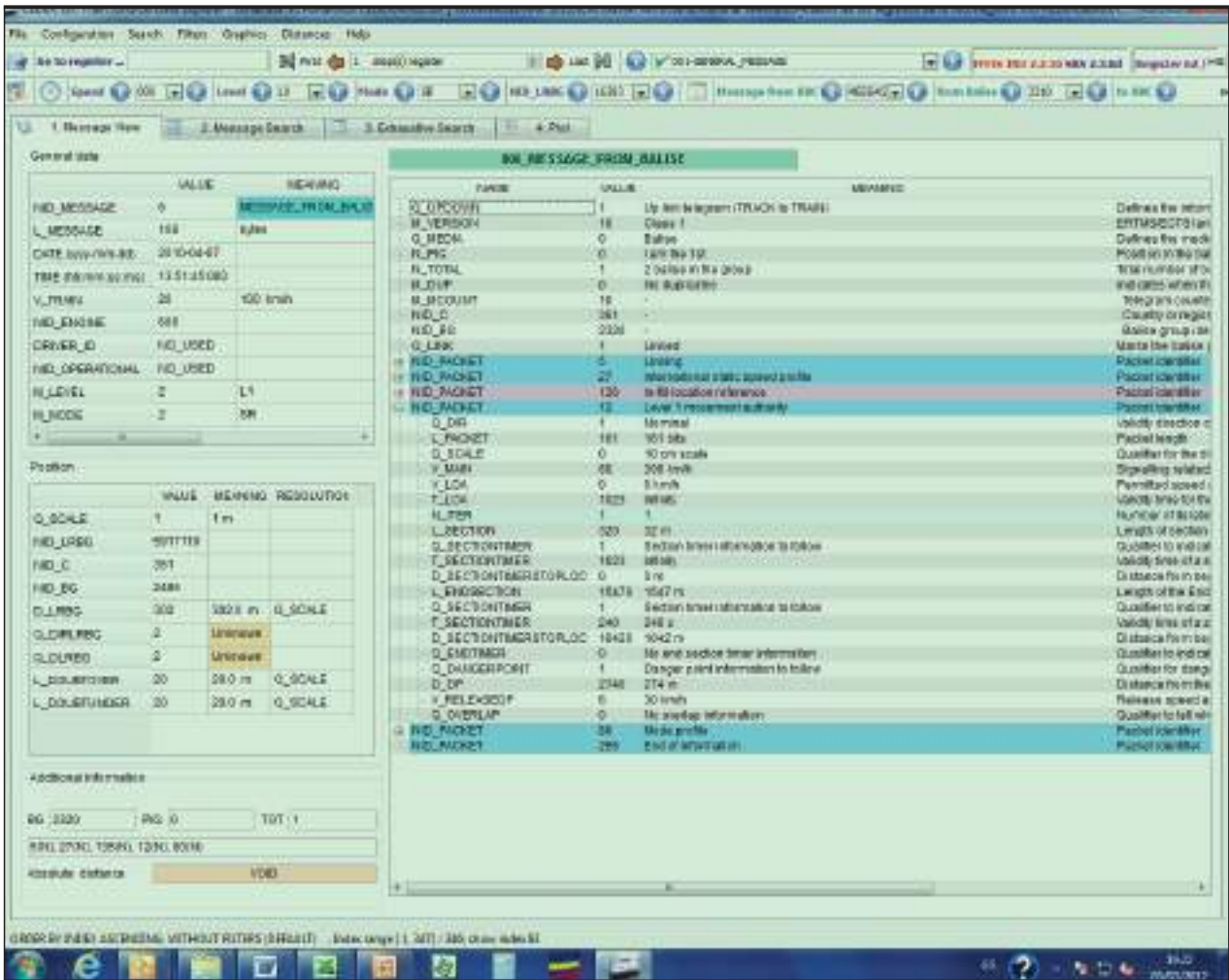


FIGURA 3. Análisis y visualización por la herramienta TJExplorer de un mensaje con una autorización de movimiento.

tos genéricos y para la puesta en servicio de proyectos específicos. Esto supone la consolidación de los procesos de puesta en servicio al alcanzar estos la madurez de los procesos de certificación, unificados para toda Europa.

La confianza depositada en el LIF por el ADIF y por los suministradores de equipos de señalización de vía ha permitido el acceso del laboratorio a datos de proyecto de diferentes tecnologías. Basta mencionar como ejemplo Ansaldo para la línea Madrid – Lérica y Figueras - Perpignan, Dimetronic para la línea Madrid – Levante y cercanías de Madrid, Thales para la línea Lérica – Barcelona y cercanías de Madrid, Alstom para la línea Zaragoza – Huesca y cercanías de Madrid.

Para el estudio de estos proyectos el LIF ha venido desarrollando formatos comunes para la descripción de los datos de proyectos de señalización. El formato introducido ha seguido con éxito las recomendaciones formuladas por el consorcio Europeo de compañías de señalización plasmadas en el llamado Subset-112.

A modo de ilustración, se muestra en la Figura 4 el mapa de los elementos de señalización de vía para los datos del proyecto Madrid – Levante facilitados por Dimetronic. Vemos que en esta compleja estructura se han podido describir elementos tan complejos como: Circuitos de vía, desvíos, señales

con sus aspectos, obra civil (túneles, viaductos, zonas neutras, etc). A esto hay que añadir que las rutas establecidas se definen utilizando la tabla de movimientos e incompatibilidades facilitada por la compañía.

Conviene señalar que tanto los descriptores de formato elaborados para el análisis de los registros de la Unidad de Registro Jurídico como la transformación de los datos de señalización de vía, los realiza el LIF sin cargar con trabajo adicional a las compañías que depositan su confianza en el laboratorio. Los datos necesarios que debe proporcionar el suministrador para la descripción del despliegue de la señalización en vía consisten en lo siguiente:

- **Identidad y localización de los elementos de vía:** Señales, desvíos, eurobalizas, circuitos de vía, etc.
- **Perfiles de gradiente y velocidades máximas en cada segmento de la vía**
- **Telegramas fijos y telegramas variables emitidos por las eurobalizas**
- **Tabla de movimientos:** Relación entre los aspectos de las señales y los telegramas emitidos por las Eurobalizas asociadas a ellas

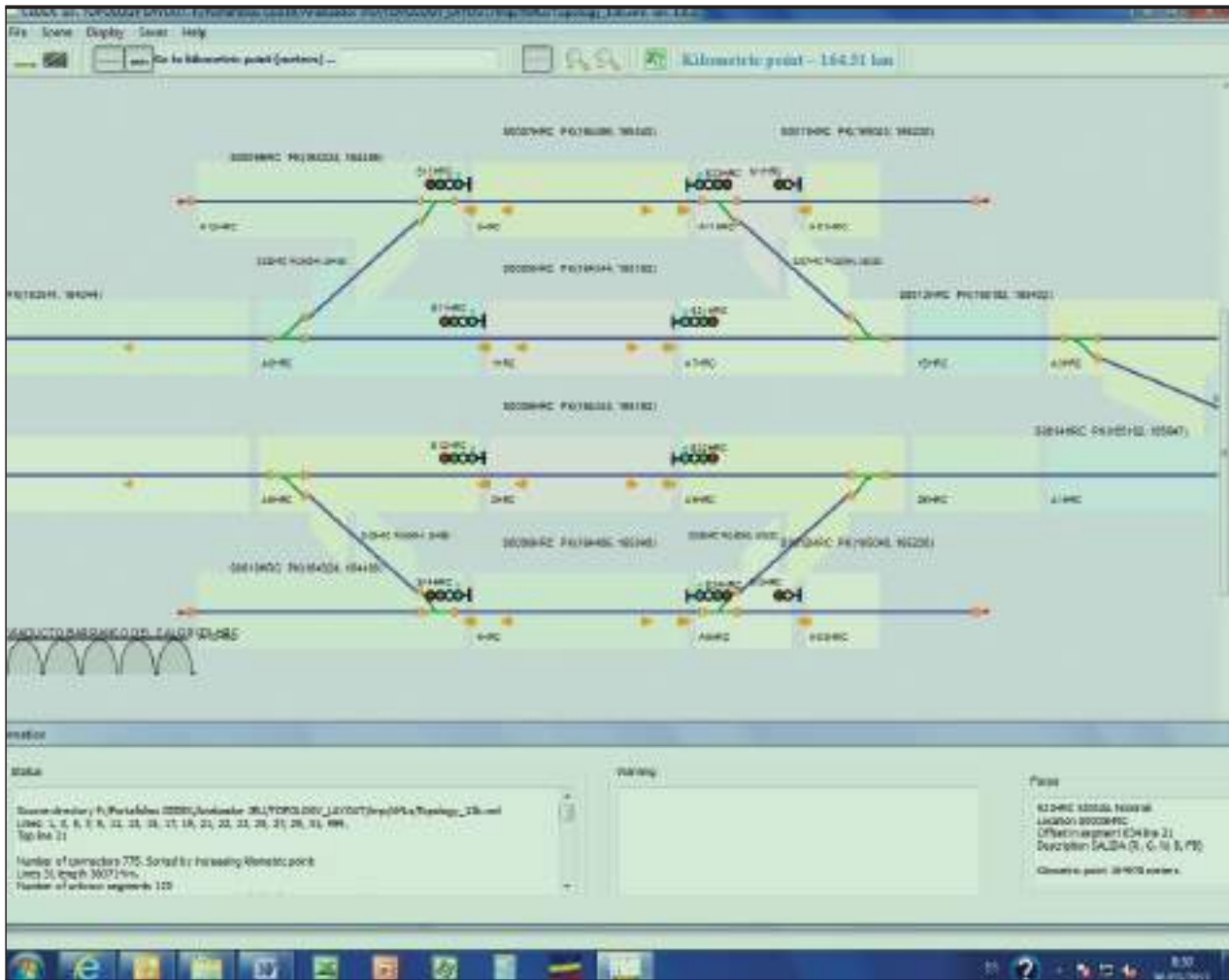


FIGURA 4. Descripción de los elementos de señalización de vía para la línea Madrid – Levante (Dimetronic) utilizando la propuesta de formato del Subset 112 de UNISIG. Estación de Horcajada.

Esta familia de datos se compila en una hoja Excel para su manipulación automática durante la selección de los escenarios. Esta compilación se lleva a cabo sin manipulación manual de manera que se asegura la integridad de los datos facilitados por el fabricante.

Una vez consolidados los datos de proyecto en el formato utilizado para los procesos de validación, es posible construir un escenario de pruebas con datos de proyecto en el formato utilizado por las secuencias de ensayo. Para ello basta concatenar segmentos de la descripción de vía eligiendo los aspectos de las señales y la posición de los desvíos. Hecha esta selección los telegramas que envían las balizas para la descripción y protección del movimiento quedan automáticamente seleccionados de acuerdo con la tabla de movimientos facilitada por la compañía.

La Figura 5 muestra la construcción de un escenario operacional mediante la concatenación de cinco segmentos, la selección de los aspectos de cuatro señales (entre ellas la de entrada en la estación, E2PZR, con aspecto de marcha a la vista, On Sight) y de la posición de cuatro desvíos. En la parte inferior se aprecian los telegramas de balizas automáticamente seleccionados de manera idéntica al escenario que se hubiera ejecutado en vía.

4. COMPARACIÓN DE LOS REGISTROS EN VÍA Y EN LABORATORIO

Parece evidente que si se utilizan secuencias operacionales con datos de proyecto y se conectan las eurocabinas reales a las herramientas de referencia del LIF, los resultados serán idénticos en laboratorio y en vía. Esto es así pero hay que demostrarlo.

Con el objetivo de validar el laboratorio, se han ejecutado los mismos escenarios en vía y en laboratorio utilizando los mismos datos de proyecto facilitados por Dimetronic y las mismas Eurocabinas del tren S-112 de Siemens. La Figura 6 muestra el escenario de validación ejecutado en vía y laboratorio en el que se verifica el comportamiento del tren en cinco modos técnicos así como las funciones de protección del equipo embarcado (entrada en el modo TRIP)

La coincidencia de los registros si bien esperada, resulta sorprendente por su precisión: salen curvas superpuestas. Como muestra se presenta en la Figura 7 el estudio comparativo Laboratorio vía para el cálculo de las velocidades permitidas efectuado por el equipo embarcado en función de las autorizaciones de movimiento recibidas y la estimación de la posición del tren a partir de los grupos de balizas leídos.

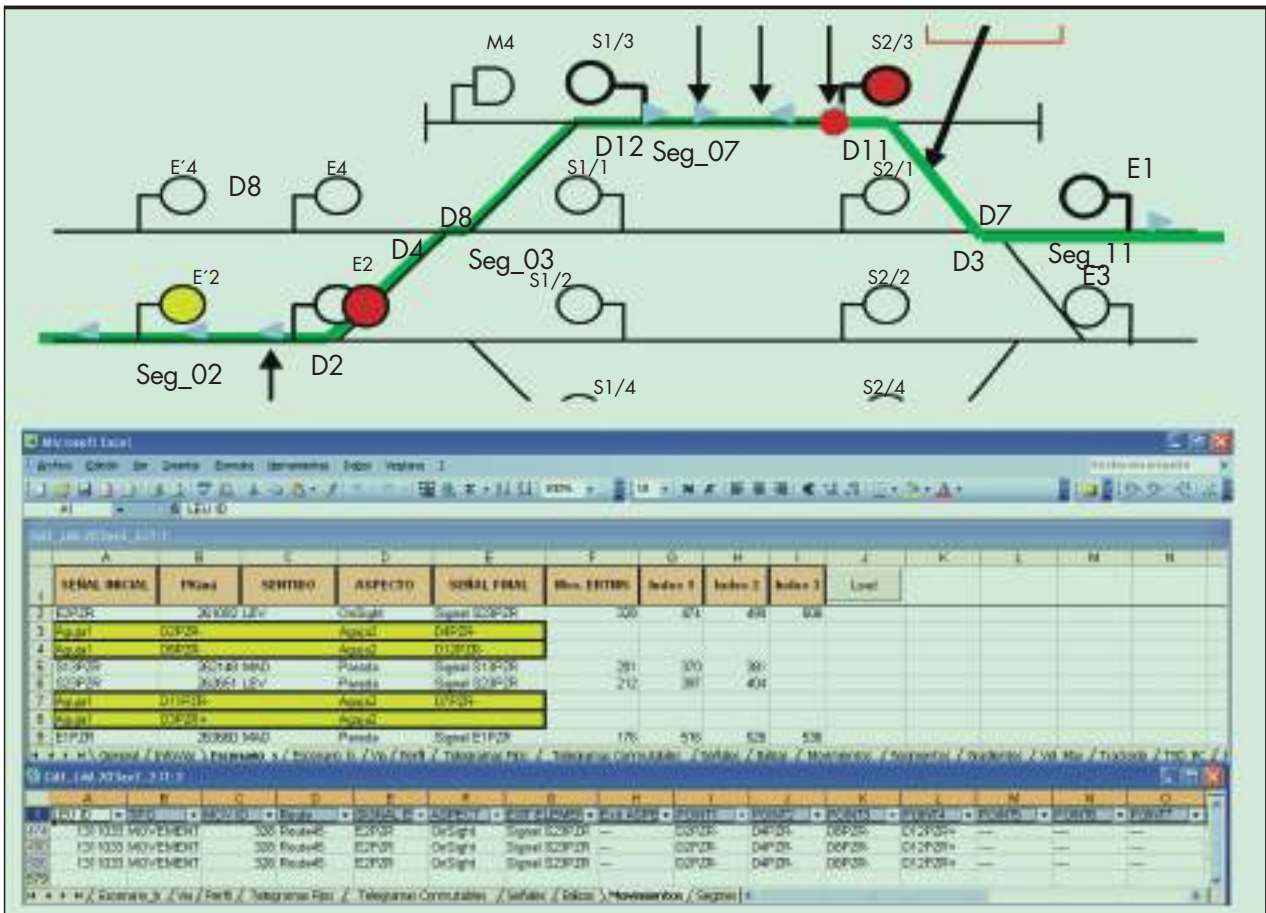


FIGURA 5. Elaboración de un escenario operacional con datos de proyecto: Entrada en la estación de Pozorrubielos en la línea Madrid-Levante (Datos facilitados por Dimetric).

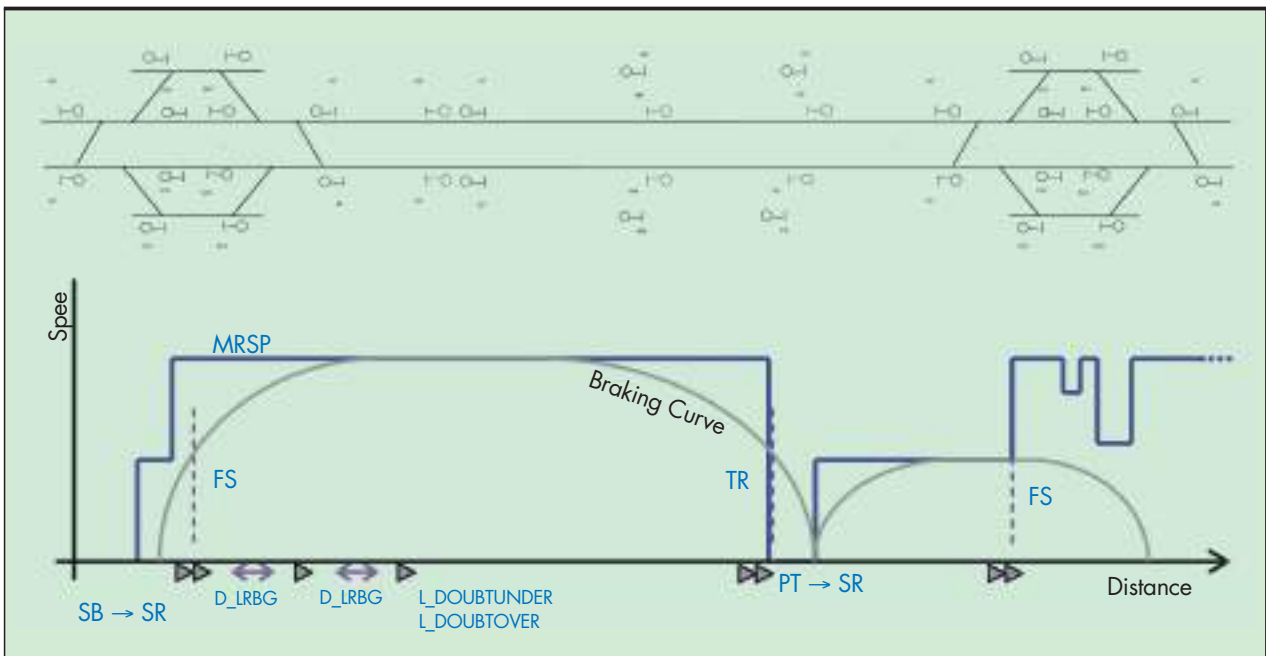


FIGURA 6. Escenario operacional para la validación del laboratorio entre las estaciones de Valdemoro y Villarrubia en la línea Madrid-Levante (Datos facilitados por Dimetric).

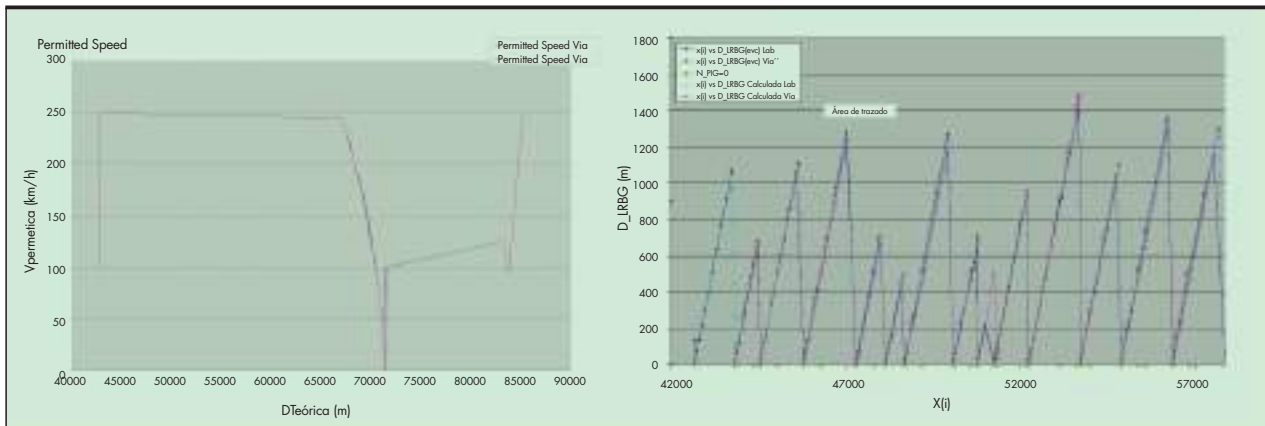


FIGURA 7. Comparación laboratorio-vía: Cálculo de la velocidad permitida por el equipo embarcado (Izda.) y registro de las distancias recorridas desde los grupos de baliza referenciados (Dcha.).

5. ESTUDIOS COMPARATIVOS DE LAS CURVAS DE FRENADO

En principio la dinámica del tren es un aspecto que no puede reproducirse con parámetros fijos de proyecto. Sin embargo para las condiciones normales de explotación del tren, los procesos de frenado son regulados siguiendo requisitos de explotación que normalmente se encuentran muy por debajo de la capacidad real de frenado del tren que solamente se aplica en frenados de emergencia.

La armonización de las curvas de frenado es una de las funcionalidades clave que se introduce en la nueva versión de las especificaciones técnicas del sistema ERTMS, conocida como línea de base 3. Esta especificación técnica se utilizará en el despliegue de los corredores Europeos de mercancías a partir del año 2014 en el que se piensa que la especificación esté consolidada.

La especificación de las curvas de frenado y su armonización son fundamentales en el diseño de la señalización de vía ya que determinan las distancias que deben respetarse entre puntos de peligro a proteger (desvíos) y señales principales, previas y avanzadas de manera que en una explotación eficaz de la línea para la frecuencia y velocidad de trenes fijada no aparezcan curvas de frenado en los procesos de conducción normal. La armonización de las curvas de frenado supondrá pues un paso importante en la aceptación cruzada de trenes que deben operar en corredores que cruzan varios países, operados por operadores privados.

Con objeto de facilitar la armonización de las curvas de frenado, la Agencia Ferroviaria Europea (ERA) ha desarrollado un modelo teórico para la verificación de la interoperabilidad en su aspecto de los procesos de frenado. El LIF ha comenzado ya a utilizar el modelo funcional de las curvas de frenado facilitado por la ERA para su validación realizando estudios comparativos de procesos de frenado en laboratorio y en vía.

Para ello se han realizado estudios comparativos de los registros de campo en aproximaciones a un final de una autorización de movimiento en las pruebas realizadas en el Bypass de Yeles que conecta las líneas Levante – Madrid – Sevilla evitando Atocha.

Para la realización del estudio comparativo, se tomaron datos de un tren S-112 equipado por Siemens con la misma versión de software en la cabina del laboratorio y la instalada en el tren y se extrajeron los parámetros de control de freno

registrados en la JRU en el registro Data_Entry. La comparación se realizó entre los registros de la velocidad permitida obtenidos en laboratorio y en vía y estos se compararon con las estimaciones obtenidas por las aplicaciones informáticas desarrolladas por el LIF (funcion_cdf) y la aplicación facilitada por la ERA (ERA_Braking_curves_tool_v2).

La gráfica comparativa de los registros y estimaciones proporcionadas por los modelos se facilita en la Figura 8. La excelente coincidencia de los registros y estimaciones abre el camino para dos acciones de especial relevancia:

- Verificación de las curvas de frenado en equipos embarcados equipados con la versión de las especificaciones técnicas correspondientes a la nueva línea de base 3.
- Integración tren – vía en los procesos de puesta en servicio mediante ensayos de laboratorio utilizando datos de proyecto y Eurocabinas comerciales.

6. CONCLUSIONES

La utilización del laboratorio con datos del proyecto de infraestructura y equipos embarcados reales conectados a las herramientas resulta extremadamente útil para aliviar los ensayos de campo, especialmente cuando se trata de poner en servicio sistemas ERTMS en instalaciones que ya se encuentran en operación comercial.

La construcción de los escenarios con los datos del fabricante a partir de la definición de los casos de prueba genéricos y de la tabla de movimientos específica del proyecto supone:

- Un elevado grado de similitud con las pruebas de campo.
- Un entorno controlado de ensayo de mayor eficacia técnica y económica.
- La utilización de las mismas herramientas y formatos utilizadas en los procesos de certificación da mayor fiabilidad al análisis de resultados.
- Permite una verificación off-line de datos de proyecto con objeto de comprobar el cumplimiento de las reglas de ingeniería establecidas por el ADIF.
- La validación del laboratorio mediante la comparación de registros obtenidos en vía hace aceptables para los departamentos de seguridad las pruebas ejecutadas en el laboratorio con datos de proyecto y equipos reales

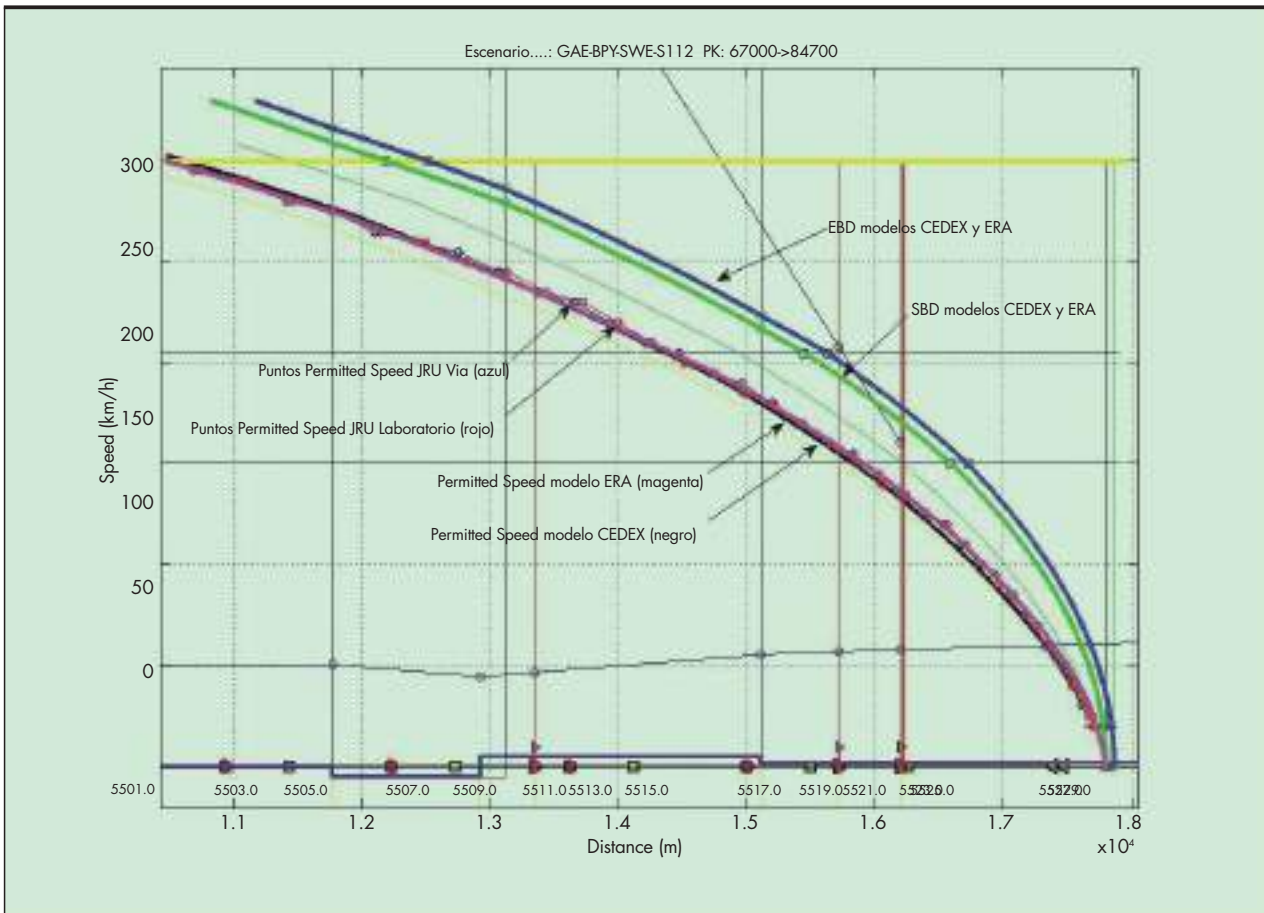


FIGURA 8. Estudio comparativo de las curvas de frenado para una aproximación al final de una autorización de movimiento: registros en vía, registros en laboratorio y modelos del LIF y de la ERA.

- La utilización de un formato unificado para la descripción de los proyectos de señalización de vía permite la creación de una base de datos unificada de todas las líneas ferroviarias de la red. Esta base de datos puede ser de enorme utilidad para procesos de mantenimiento, armonización y mejora de las líneas de la red.

7. REFERENCIAS

- System Requirements Specification: SUBSET-026 Issue 2.3.0 "d".
- Functional Requirements for an on board Reference Test Facility: SUBSET-094, issue 2.0.2.
- Test Sequences: Subset-076-6-3 v233.
- FFFIS Juridical Recorder-Downloading tool: SUBSET-027, issue 2.3.0.
- Performance Requirements for Interoperability: SUBSET-041, issue 2.1.0.
- Dimensioning and Engineering rules: SUBSET-040, issue 2.3.0.
- UNISIG Basics for Interoperability Test Scenario Specifications: SUBSET-112, issue 1.0.3.
- ERA_Braking_curves_tool_v2.0.xlsm. Herramienta de la Era.
- JR_DECS: Juridical Recording Data Extraction, Check and Storage: User handbook, CEDEX.
- TJDEplorer: Train Juridical Data Explorer: User handbook, CEDEX.
- TOPOLOGY layout: User handbook, CEDEX.
- ITG-CER001: Uso del laboratorio para el proyecto cercanías, CEDEX Julio 2009.
- NT-Intercomparación LAB-VÍA: Informe intercomparación laboratorio-vía, CEDEX Mayo.