

HITOS DE INNOVACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL

EL LIDERAZGO DEL CEDEX EN EL DESPLIEGUE DE LA RED EUROPEA FERROVIARIA INTEROPERABLE

CEDEX'S LEADERSHIP IN THE IMPLEMENTATION OF THE INTEROPERABILITY EUROPEAN RAIL SYSTEM

Jaime Tamarit Rodríguez*

Exdirector del Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria del CEDEX.

* Autor de contacto: Jaime.tamarit@outlook.es

Jorge-Ignacio Iglesias Díaz

Director del Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria del CEDEX.

RESUMEN

Se muestra en esta comunicación el papel de liderazgo que jugó el CEDEX en la consolidación de las especificaciones de interoperabilidad de la red ferroviaria Europea en sus fases de demostración de su viabilidad (Proyecto EMSET, años 1995 a 2000), líneas piloto (Grupo de usuarios ERTMS, años 2001 a 2007) y puesta en servicio de los primeros proyectos comerciales equipados con el sistema ERTMS (Laboratorios de Referencia Europeos, año 2007 hasta la actualidad). A lo largo de la exposición se mencionan las principales dificultades que hubo que vencer en este largo proceso.

Palabras clave: ERTMS, interoperabilidad, consolidación, aspectos críticos.

ABSTRACT

This communication shows the leading role played by CEDEX throughout the consolidation process of the Interoperability of the European Railway Network. This process is split into three phases: Viability demonstration (EMSET Project, years 1995 – 2000), first pilot projects (ERTMS users Group, years 2001 – 2007) and the placement into service of the first commercial ERTMS projects (Group of Reference Laboratories, from 2007 up to now). Throughout this communication, we will address the main difficulties encountered, which we had to overcome.

Keywords: ERTMS, interoperability, consolidation, critical issues.

1. DEMOSTRACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA INTEROPERABILIDAD FERROVIARIA EUROPEA EN LA DÉCADA DE LOS 90 (PROYECTO EMSET)

A mediados de la década de los años 90, Egidio Leonardi fue comisionado con plenos poderes políticos por la DG TREN de la Comisión Europea, para la consolidación de la interoperabilidad de la red Europea de Transporte Ferroviario. El Sr. Leonardi decidió acabar con el trabajo de especificación sobre papel. Para ello lanzó un proyecto dentro del 4º Programa Marco cuyo objetivo sería la demostración a escala real de la viabilidad de

la Interoperabilidad Ferroviaria gracias al despliegue del sistema ERTMS.

España ofreció su línea de Alta Velocidad Madrid – Sevilla para llevar a cabo la demostración experimental de esta viabilidad. Para ello habilitó un tramo de 40 Km. de la línea, entre las estaciones de La Sagra y Mora, y asignó los laboratorios del Servicio de Técnicas Físicas al proyecto de acrónimo EMSET (**E**uropean **M**adrid – **S**evilla **E**urocab **T**est). Este proyecto se llevó a cabo entre los años 1.994 y 2.000 en el marco de los proyectos ferroviarios emprendidos por del Grupo de Usuarios ERTMS en Bruselas.

El proyecto se realizó bajo la supervisión técnica de la Comisión Europea, representada por Antonio Colaço, Emmanuel Parent de Curzon y Claudio Traverso.



Egidio Leonardi (E.C.) y Jaime Tamarit (ERTMS U.G.) en la cena de despedida.

2. CONSTITUCIÓN DE LOS CONSORCIOS EUROPEOS

La entrada del proyecto EMSET en el Marco Europeo resultó fascinante dada la envergadura de este proceso en el que se involucró toda la industria Europea de Señalización (Agrupada en Eurosigs), los principales Gestores de Infraestructura Ferroviaria (Agrupados en el ERTMS User's Group, EUG) y los laboratorios de ensayo (CEDEX & DLR). Esta unión de fuerzas daba una visión dinámica y optimista de la construcción de Europa en un nuevo entorno global de colaboración sin fronteras.

En la Figura 1 se muestran los consorcios constituidos con una indicación de las funciones que se les atribuyeron. Estos tres grandes consorcios fueron:

2.1. ERTMS Users Group (EUG)

Consortio constituido por los seis principales gestores Europeos de infraestructuras ferroviarias; ADIF (España), BV (Suecia), NetworkRail (Inglaterra), DB (Alemania), ProRail (Holanda) y RFI (Italia). Por tratarse de un país no comunitario, el gestor Suizo SBB figuró como miembro asociado con acceso a los grupos de trabajo pero sin acceso a los fondos Europeos. Este grupo estaba constituido inicialmente por las administraciones ferroviarias de Alemania, Francia e Italia. Atendiendo a la solicitud española de abrir los consorcios, al lanzarse el 4º Programa Marco, este consorcio se amplió para dar

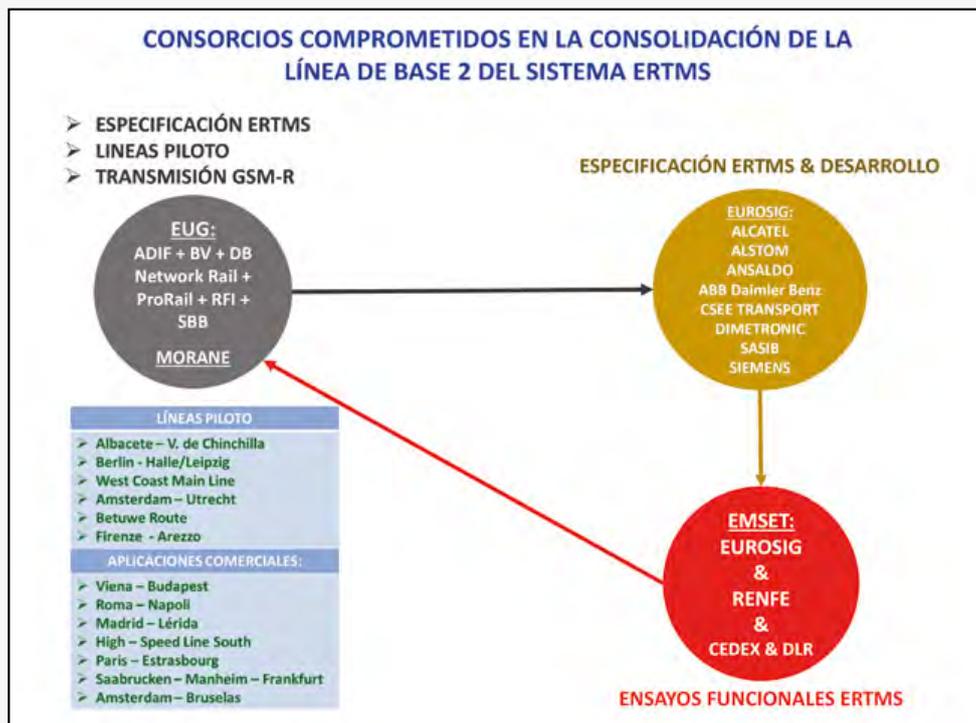


Figura 1. Consorcios constituidos para abordar la consolidación del sistema Europeo de seguridad ERTMS.

entrada a los administradores de Infraestructuras ferroviarias de España, Holanda y Reino Unido.

Las misiones asignadas a este consorcio fueron la especificación de los requisitos funcionales del sistema y la realización de las primeras experiencias piloto. Con posterioridad a estas experiencias piloto, los países asociados desplegaron las primeras líneas comerciales. El CEDEX lideró este grupo a través del director de su Servicio de Técnicas Físicas, Dr. Jaime Tamarit que fue destinado a Bruselas con excedencia por servicios de especial interés entre los años 2001 a 2007, en que se desplegaron las líneas piloto.

Entre estas primeras experiencias merece la pena destacar la primera línea internacional que conectaba dos países, la línea Viena – Budapest y la primera línea con gestor de infraestructura y operadores independientes, la línea Madrid – Lérida. Gracias a un estudio llevado a cabo por el CEDEX, esta línea sirvió para comenzar la normalización de los aspectos operacionales, especialmente el interfaz Conductor / Máquina (DMI), que hoy figura como referencia de interoperabilidad, de cumplimiento obligatorio. Finalmente, la línea Roma – Nápoles fue la primera línea comercial operando en Nivel 2 sin sistema de respaldo.

2.2. Consorcio EUROSIG

Este consorcio agrupó a toda la industria Europea de Señalización constituida por ocho compañías punteras en el sector: ALCATEL (Alemania y España), ALSTOM (Francia y España), ANSALDO (Italia), ABB Daimler Benz (Suecia), CSEE Transport (Francia), DIMETRONIC (España), SASIB (Italia) y SIEMENS (Alemania).

A lo largo del proyecto comenzaron las fusiones de compañías: ALSTOM adquirió SASIB y ANSALDO adquirió CSEE Transport. Posteriormente, ABB Daimler Benz fue adquirida por BOMBARDIER. Este proceso de

fusiones ha continuado en nuestros días con el anuncio de la fusión de SIEMENS (ya fusionada con INVENSYS) Y ALSTOM. Si esto se produce se reducirá el número de compañías Europeas de señalización de las ocho iniciales a cuatro grupos y posteriormente a tres, con la compra de ANSALDO por HITACHI.

Este proceso de fusiones lo predijo, a lo largo de toda la gestión técnica del proyecto, Antonio Colaço, responsable técnico del proyecto ERTMS por parte de la Comisión Europea. Antonio siempre resaltó la dificultad que suponía para Europa el competir con una industria fragmentada y en competencia. Verdaderamente echamos de menos personalidades como la de Antonio con una inteligencia y capacidad de liderazgo únicas. Gracias a él este proyecto global llegó a buen término tras vencer varias crisis de las que hablaremos más adelante.

La misión encargada al consorcio de industrias Europeas de señalización fue la de redactar las especificaciones técnicas del sistema que cubrieran los requisitos funcionales. El resultado de este proyecto fueron las SRS, System Requirements Specification, Subset-026. Este es el documento central de la especificación técnica de interoperabilidad Ferroviaria. A lo largo del proyecto atravesó por una serie de versiones que partiendo de la versión 2.0.0 llegó a la versión 2.3.0 D al final del proceso de consolidación. Para ello se constituyó el Grupo de Gestión del Control de Cambios (CCM) que iba recogiendo las observaciones procedentes de proyectos pilotos y comerciales para depurar las inconsistencias detectadas en un documento técnico tan complejo. El problema es que se atravesaron cinco versiones de la especificación técnica con proyectos comerciales ya en servicio. Hablaremos más adelante del proceso de consolidación y los problemas encontrados a lo largo de él.

La Comisión Europea encargó también a este grupo la especificación de los ensayos de verificación del cumplimiento de las especificaciones de interoperabilidad,

esto es, la especificación de los ensayos de certificación para los subsistemas e interfaces que afectan a la interoperabilidad funcional del equipo embarcado y de los canales de comunicación del tren con la infraestructura (EVC, Euroradio, Eurobaliza, Antena & BTM y Eurolazo).

Las especificaciones para la verificación de la interoperabilidad del equipo embarcado ERTMS, el European Vital Computer (EVC), recogidas en el Subset-076 resultaron extremadamente complejas y el grupo EUROSIG vio que no disponía de recursos humanos suficientes para abordar la tarea. Para ello el grupo de laboratorios que había trabajado en el proyecto EMSET ofreció el liderazgo y los recursos necesarios para acometer esta ingente tarea. Hay que destacar que el liderazgo de este grupo volvió a recaer en el CEDEX, en la persona del Dr. Jorge Iglesias. Para ello el CEDEX se asoció con el centro alemán de investigación Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) para crear un grupo de élite en este campo.

2.3. Consorcio EMSET

El consorcio EMSET se creó para atender la solicitud de la Comisión Europea de realizar ensayos cruzados a escala real para demostrar la viabilidad de la interoperabilidad ferroviaria Europea. El consorcio, de acrónimo EMSET (**E**uropean **M**adrid – **S**evilla **E**urocab **T**est), se formó con las compañías de señalización de Eurosig, más RENFE (todavía no separada del Gestor de Infraestructura) y el CEDEX. Este proyecto fue liderado entre los años 1994 a 2000 por el CEDEX a través del director del Servicio de Técnicas Físicas Dr. Jaime Tamarit.

La misión asignada al consorcio EMSET fue triple:

1. Diseño y construcción de bancos de ensayo para la verificación de la interoperabilidad de los pri-

meros prototipos de los constituyentes de interoperabilidad Eurobaliza y Antena/BTM

2. Realización de ensayos cruzados en laboratorio entre prototipos de Eurobaliza y Antena/BTM de suministradores diferentes
3. Realización de ensayos en vía, a escala real, entre equipos embarcados ERTMS y equipos de vía Nivel 1 (Eurobalizas) de suministradores diferentes. Para ello se equiparon 40 Km de la línea Madrid – Sevilla entre las estaciones de La Sagra y Mora

Los resultados de este proyecto fueron excelentes, entre ellos hay que destacar cuatro aspectos:

- Las compañías de señalización de Eurosig, en una fase precompetitiva, encontraron un lugar neutral y de la mayor calidad, para la realización de ensayos cruzados, fundamentales para la consolidación técnica de la interoperabilidad.
- Las compañías de señalización de Eurosig fueron capaces de cooperar estrechamente a nivel técnico para diseñar y construir un **Laboratorio de Referencia** para ensayos cruzados constituido por 37 herramientas. Este laboratorio fue la simiente de los laboratorios de referencia, acreditados para la certificación de constituyentes ERTMS.
- Antes de ir a la línea, los ensayos cruzados entre las compañías que iban a probar fueron previamente depurados en los bancos de ensayo del Laboratorio de Referencia del CEDEX. Consecuentemente no se registraron incidentes en la línea a lo largo de más de un año de ensayo.

Lección aprendida: Cuando se ponga un proyecto comercial en servicio es muy conveniente depurar el proyecto con ensayos de laboratorio

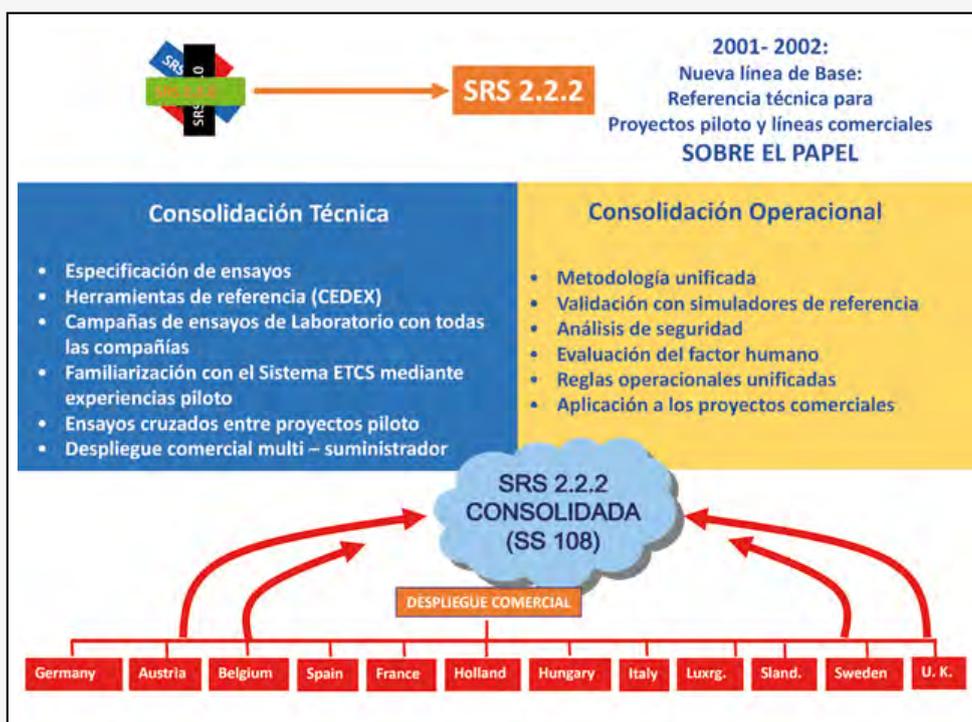


Figura 2. El proceso de consolidación técnica y operacional.

antes de comenzar el despliegue de equipos en la línea.

- Al finalizar este proyecto, el Grupo de Usuarios ERTMS, la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC), RENFE y el presidente del consorcio EURO-SIG, entregaron a la Ministra Europea de Transportes, D^a Loyola del Palacio, la primera versión de la Especificación de los Requisitos Técnicos del Sistema ERTMS (SRS Versión 2.0.0).

3. EL PROCESO DE CONSOLIDACIÓN DE LA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA (DESDE LA VERSIÓN 2.2.2 HASTA LA VERSIÓN 2.3.0 D)

El proceso de consolidación técnica de las especificaciones comenzó con un trabajo teórico sobre el papel en el que se recopilaron todas las solicitudes de cambio analizadas y aprobadas por el Grupo de Control de la Gestión de Cambios de la ERA (CCMG) y se elaboró la mejor especificación posible de dicha especificación. La versión de esta especificación fue la SRS 2.2.2. Fue considerada como la versión teóricamente mejor depurada y consecuente como el mejor punto de partida para un proceso de consolidación.

A partir de aquí, el Grupo de Usuarios ERTMS emprendió un proceso de consolidación técnica y operacional utilizando equipos reales ensayados en laboratorio, experiencias piloto y simuladores de conducción. Este proceso se representa esquemáticamente en la figura 2.

3.1. Consolidación técnica

El proceso de consolidación técnica comenzó depurando la especificación vigente de los ensayos de certificación (Secuencias del Subset-076) y ensayando los primeros prototipos de los equipos embarcados ERTMS en los laboratorios de referencia del CEDEX y DLR. Ambos laboratorios dotados de una arquitectura de referencia que quedó especificada en el Subset-094.

De manera similar a como se hizo en el proyecto EMSET, después de los ensayos de laboratorio, las experiencias piloto facilitaron una visión más profunda de la solidez de las especificaciones en un entorno real ya próximo a la explotación.

El proyecto Español Madrid – Lérida con una infraestructura de la Compagnie de Signaux (más tarde Ansaldo) y trenes de alta velocidad de última generación de Alstom, Siemens y Bombardier brindó la oportunidad de abordar otro aspecto de enorme interés: La armonización del interfaz Conductor – máquina (DMI).

El despliegue posterior de la red española con líneas equipadas por otros fabricantes (Thales, Invensys, Alstom) hizo conscientes a los gestores de infraestructura de la necesidad de armonizar las reglas de ingeniería para que la red tuviera unas características operacionales unificadas que facilitarían su explotación y operación.

3.2. Consolidación operacional

La operación de trenes de diferentes fabricantes sobre una línea común como fue el caso de la línea Madrid

– Lérida, permitió al CEDEX realizar un estudio comparativo de la ergonomía del interfaz hombre – máquina, revelando discrepancias alarmantes que motivaron el arranque del proceso de armonización operacional, dado que la interoperabilidad operacional es el 50% de la interoperabilidad.

Este fue un proceso bastante complejo que fue necesario arrancar hasta tres veces, ya que la interoperabilidad se había abordado desde el principio a un nivel exclusivamente técnico y el nuevo aspecto humano operacional requería actores completamente diferentes.

Para ello se creó un grupo de trabajo, dirigido por Dominique Ligier de la SNCF, que comenzó por definir una metodología común que permitiera separar de manera clara los procesos operacionales nacionales de los procesos operacionales comunes europeos. Hecha esta identificación el trabajo se centró en la armonización de los segundos, seguida de un estudio de seguridad que permitió identificar los riesgos operacionales en el marco del sistema ferroviario completo. El resultado fue una primera definición de las reglas operacionales y aspectos ergonómicos del interfaz Conductor – Máquina.

Las reglas operacionales definidas se ensayaron en la excelente instalación de RENFE para formación de conductores de la estación de Delicias. Este simulador, que ya incluía una cabina equipada con el sistema ERTMS, aparte de otras equipadas con los sistemas nacionales (ASFA & LZB), nos fue solicitado por las administraciones de Alemania y Holanda. Esta instalación se utilizó en una primera fase de la armonización de las curvas de frenado, que hoy ya están incorporadas a la línea de Base 3 de la especificación junto con la especificación del DMI.

Desgraciadamente las dificultades del momento con la separación del Gestor de Infraestructura y las complejas relaciones internas en el consorcio que hizo el desarrollo, hicieron imposible la transferencia de este desarrollo tecnológico.

4. PRINCIPALES DIFICULTADES ENCONTRADAS A LO LARGO DEL PROCESO DE CONSOLIDACIÓN

En el proceso de consolidación de las especificaciones hubo que vencer algunas dificultades entre las que hay que destacar las seis siguientes que se muestran en la figura 3:

4.1. Cambios en la especificación (Designer choices & Change Requests)

La versión 2.2.2 de las especificaciones entregada por EUROSIG al principio del proceso de consolidación, contenía cientos de las llamadas "*Decisiones del Diseñador*" ("*Designer Choices*"). Estas "*decisiones*" eran requisitos que no afectaban a la interoperabilidad y que por lo tanto era una decisión libre del diseñador el incluirlas o no en su diseño del equipo embarcado. Esta alternativa introdujo una gran incertidumbre en el proceso de certificación.

El retorno de las experiencias piloto y proyectos comerciales dio lugar a un gran número de solicitudes de

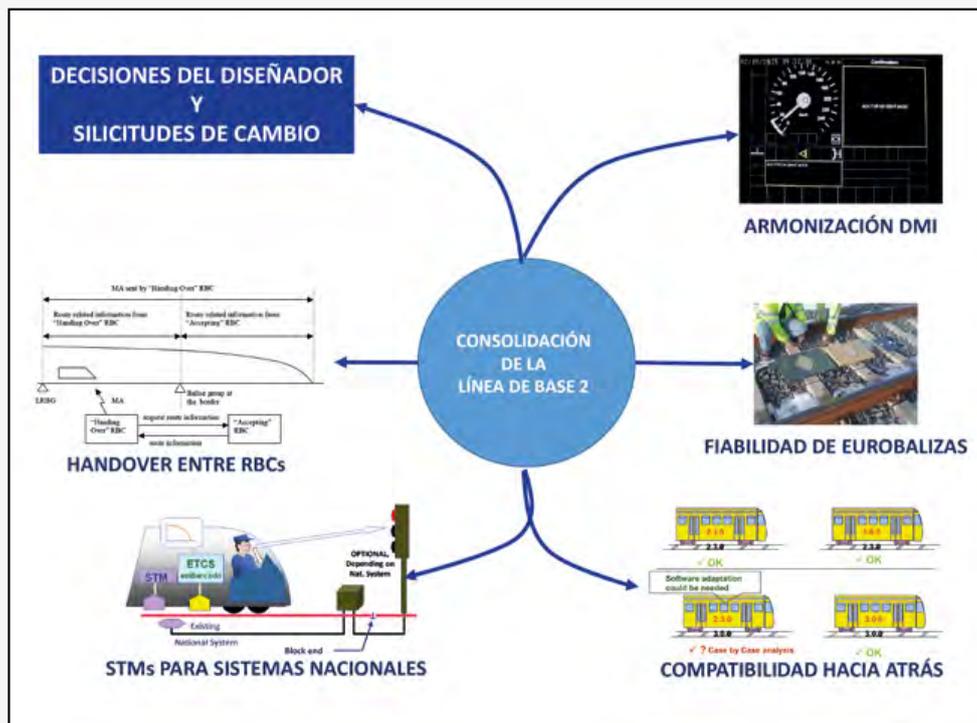


Figura 3. Principales dificultades encontradas en el proceso de consolidación.

cambio. Estas eran solicitudes para la mejora de la especificación del sistema procedentes de la explotación comercial. Las líneas en explotación comercial tuvieron que emigrar continuamente para estar alineadas con las sucesivas versiones de la especificación técnica de interoperabilidad: SRS 2.0.0 -> SRS 2.2.2 -> SRS 2.3.0 -> SRS 2.3.0 D. Este fue el caso de la administración Ferroviaria Española, forzada a emigrar más de 1.000 Km de línea de Alta Velocidad y una flota de cientos de trenes.

4.2. Ergonomía del DMI y reglas operacionales

El retorno de la explotación de la línea Madrid – Lérida mostró que la armonización del factor humano en la operación, era un punto abierto. Por primera vez suministradores diferentes de equipos embarcados ERTMS operaban sobre vías equipadas por un suministrador diferente. El estudio comparativo realizado por el CEDEX forzó al Grupo de Usuarios ERTMS a abrir un nuevo grupo de trabajo sobre el factor humano. Fueron necesarias tres tentativas para resolver este punto abierto con una metodología común, abordada por expertos en factor humano, no vinculados al entorno tecnológico (Proyecto HEROE).

Hay que señalar que la interoperabilidad operacional es el 50% de la interoperabilidad, siendo el otro 50% la interoperabilidad técnica. Debido a esta inesperada falta de armonización, el Grupo de Usuarios ERTMS no pudo completar la armonización operacional en el período de las líneas piloto. Es ahora, con la publicación de la línea de Base 3, que la especificación de los aspectos ergonómicos del interfaz Conductor – Máquina ha quedado armonizada y es de cumplimiento obligatorio. El Grupo de Factor Humano fue transferido por el Grupo de Usuarios ERTMS (EUG) a la Agencia Ferroviaria Europea (ERA) para que pudiera completar esta armonización.

4.3. Handover entre RBCs de diferentes suministradores (Fronteras Nivel 2)

El Handover entre RBCs consiste en la transferencia del control de un tren desde un RBC "Donante" a otro contiguo "Aceptante" de un suministrador diferente. Para realizar esta transferencia, el RBC Donante debe enviar una Autorización de Movimiento que permita entrar al tren en la zona controlada por el RBC aceptante. Esta Autorización de Movimiento debe ir acompañada de una descripción de la vía en el tramo controlado por el RBC aceptante, que debe ser facilitada por éste. La adquisición de esta información requiere una conexión entre los dos RBCs de diferente suministrador en la frontera, conexión que se especifica en el Subset-098 de la Directiva de Interoperabilidad Ferroviaria.

El Handover entre los RBC de Siemens y Alstom en la frontera entre Holanda y Bélgica supuso un problema grave. Dado que las compañías no se pusieron de acuerdo para la implantación del proceso de Handover normalizado, los trenes debían cruzar la frontera entre ambos países en Nivel 1, desconectándose del RBC Donante a un lado y conectándose con el RBC aceptante al otro lado de la frontera. Debido a la limitación de la velocidad máxima en Nivel 1 a 160 Km/H, este parche obligaba a los trenes de Alta velocidad a correr a una velocidad de 160 Km/H a lo largo de un tramo de longitud próxima a los 100 Km que comprendía la frontera. Esto tenía un impacto importante en la explotación debido a que la velocidad máxima autorizada en Nivel 2 era de 350 Km/H. Las protestas de los Gestores de Infraestructura de ambos países llegaron al parlamento Europeo.

Hay que señalar que este parche se utiliza también en España en la línea Madrid – Barcelona en la frontera entre Ansaldo y Thales en Lérida. En el caso Español este

parche tiene un impacto prácticamente nulo debido a que la velocidad máxima autorizada en Nivel 1 en España es de 300 Km/H.

El consorcio EUROSIG (ahora UNISIG) solicitó al Grupo de Usuarios ERTMS que decidiera entre dos propuestas para la especificación del Handover, ya que las compañías de señalización no se habían podido poner de acuerdo para elegir una de las alternativas. Desde el grupo de Usuarios, acudimos al peritaje de las escuelas de telecomunicación de Génova y Madrid. De acuerdo con este peritaje, se seleccionó una de las alternativas, basada en el protocolo de EuroRadio, que fue la semilla para la especificación del Subset-098.

4.4. Fiabilidad de las Eurobalizas

La puesta en servicio comercial de la línea Madrid – Lérida en Nivel 1, resultó bastante problemática debido a la falta de fiabilidad de las Eurobalizas fijas instaladas. Esta situación crítica se resolvió gracias a una duplicación poco ortodoxa de dichas Eurobalizas fijas, colocando contiguamente dos Eurobalizas idénticas. Si una baliza fallaba una de cada mil lecturas las dos contiguas tendrían una tasa de fallos común de una cada millón de lecturas. Esto resolvió milagrosamente el problema. Hay que mencionar aquí el papel fundamental que jugó el actual director del Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria del CEDEX, Dr. Jorge Iglesias en la resolución de esta grave crisis que podría haber tenido fuertes repercusiones políticas.

Más tarde el Laboratorio de Eurobaliza del CEDEX identificó el origen del problema y realizó una campaña de seguimiento de lecturas de la última versión de las Eurobalizas, llegando a obtener más de 200.000 lecturas sin fallo, por lo que se autorizó la instalación de la nueva versión de las Eurobalizas para remplazar a las Eurobalizas duplicadas.

4.5. STMs para los sistemas nacionales (LZB)

La red Española de Alta Velocidad incluye la línea Madrid – Sevilla, un eje troncal equipado con el sistema Alemán LZB. Una flota de centenares de trenes adquiridos por RENFE opera en las nuevas líneas equipadas con el sistema Europeo ERTMS y debe operar también sobre la línea Madrid – Sevilla. Esto forzó a la Administración Española a requerir la disponibilidad del Módulo STM para el sistema LZB. Este módulo STM (Specific Transmission Module) es un módulo embarcado, propuesto por el propio consorcio UNISIG, para adaptar los sistemas embarcados a los sistemas nacionales existentes en la vía.

Finalmente, la mayor parte de los trenes de la flota de Alta Velocidad fueron equipados con sistemas LZB independientes, ya que el módulo STM correspondiente no fue puesto a disposición por la industria alemana, dado el escaso interés comercial de su desarrollo. Hoy día el desarrollo del sistema STM para un sistema nacional se ha dejado como una opción en la especificación de interoperabilidad. Únicamente los trenes equipados por Bombardier incorporan el STM para LZB desarrollado por esta compañía.

4.6. Migración de especificaciones (Backwards Compatibility)

La evolución continua de las especificaciones técnicas ERTMS forzó al Gestor Español de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) y al operador Nacional Español (RENFE) a asumir procesos continuos de emigración de sus líneas de Alta Velocidad y equipos embarcados. Hoy toda la red Española de Alta Velocidad está alineada con la última versión de la línea de Base 2 del sistema ERTMS, la versión 2.3.0 D de las Especificaciones de los Requisitos del Sistema (System Requirements Specification, SRS v. 2.3.0 D).

Los nuevos trenes de Alta Velocidad que adquiera RENFE, vendrán equipados con equipos embarcados de la nueva línea de Base 3 (SRS v 3.6.0). En el momento de la puesta en servicio de los nuevos trenes, será fundamental la compatibilidad de sus equipos embarcados con las líneas españolas de Alta Velocidad, conformes con la línea de Base 2 del sistema ERTMS. La compatibilidad entre las dos líneas de base consecutivas es el reto para los próximos años.

5. REFERENCIAS

Iglesias, J.I. (2004). La interoperabilidad ferroviaria europea: El laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) del CEDEX. *Ingeniería Civil*, nº 136, pp. 25-35.

Ruesen, M., y Tamarit, J. (2017). The role of the ERTMS Users Group in the consolidation of the ERTMS technical specification for baselines 2 and 3. *International Congress on High-speed Rail, Universidad de Castilla La Mancha, 6-8 octubre 2017.*

Subset-039. *FIS for the RBC/RBC Handover, V 2.3.0*

Subset-098. *RBC-RBC Safe Communication Interface, V 1.0.0*

Tamarit, J., e Iglesias, J.I. (2014). Complex interlaced infrastructure - onboard testing: how much real scale testing should be needed? *11th UIC ERTMS Conference, Istanbul, Turkey 1-3 April 2014.*

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.

Tamarit, J., Iglesias, J.I., Molina, D., Lennart, A., 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. Córdoba, Spain 17-19 June 2015.*

UNISIG Subset-026. *System Requirements Specification, V 2.3.0.D*

UNISIG Subset-026. *System Requirements Specification, V 3.6.0*

UNISIG Subset-036. *FFFIS for Eurobalise, V 2.4.1*

UNISIG Subset-085. *Test Specification for Eurobalise FFFIS, V 2.2.2*

UNISIG Subset-094. *Functional Requirements for an on board Reference Test Facility, V 2.0.2*