

El equipo embarcado Antena-BTM del subsistema de transmisión por eurobaliza en el sistema de señalización europeo ERTMS. Ensayos de laboratorio en el CEDEX

ALFREDO ARROYO PUENTE (*), PEDRO ANTONIO AGUDO MADURGA (**), MARTA ESTEBAN CARRILLO (***), SUSANA HERRANZ DE ANDRÉS (****), JOSÉ BUENO PÉREZ (*****) y JAIME TAMARIT RODRÍGUEZ(*****)

RESUMEN Este artículo pretende ofrecer unas nociones básicas acerca del equipo embarcado perteneciente al subsistema de Eurobaliza. Este equipo recibe información de las Eurobalizas instaladas en la vía encargadas de la transmisión puntual de información entre la vía y el tren en el sistema de señalización ERTMS. Se denomina Antena-BTM, y se compone de una antena instalada bajo la cabina del tren para la recepción de señales de Eurobaliza, y de una funcionalidad para el procesamiento de las señales recibidas así como para la decodificación y entrega de los mensajes de Eurobaliza a la Eurocabina. También se hace una revisión del conjunto de ensayos definidos para verificar que un equipo Antena-BTM satisface la normativa Europea y es por tanto interoperable con cualquier Eurobaliza ERTMS.

THE ANTENNA-BTM ON-BOARD OF EUROBALISE TRANSMISSION SYSTEM IN THE EUROPEAN SIGNALLING SYSTEM ERTMS. LABORATORY TESTS AT CEDEX

ABSTRACT *The aim of this article is to offer an essential overview of the on-board equipment of the Eurobalise subsystem. This ERTMS constituent receives the telegrams from the Eurobalise installed on the track. The on-board equipment is known as antenna-BTM, and it consists of an antenna and a Balise Transmission Module Function which receives the signals from the Eurobalises and decodes them, to deliver the final telegrams to the EVC. Also a brief review of the set of tests that are defined in the European normative is included in this paper. The purpose of these tests is to verify that the Antenna-BTM fulfils the specifications and therefore it is interoperable with any conform Eurobalise.*

Palabras clave: Antena, BTM, Eurobaliza, Sistema europeo de señalización ferroviaria ERTMS, Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad.

Keywords: Antenna, BTM, Eurobalise, European Signalling System, ERTMS, Technical Specification for Interoperability.

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de transmisión de Eurobaliza se compone de una parte de tierra y de un equipo embarcado. El subsistema de Eurobaliza de tierra corresponde a las Eurobalizas que se ins-

talán en la vía mientras que la parte de a bordo está constituida por la antena embarcada junto con la funcionalidad de transmisión y localización de balizas, conjunto al que denominaremos en este artículo como Antena-BTM.

(*) Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) CEDEX. Dr. Ciencias Químicas. E-mail: Alfredo.Arroyo@cedex.es

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

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

(****) Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) CEDEX. Ingeniera de Telecomunicaciones. E-mail: Susana.Herranz@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



FIGURA 1. Eurobaliza instalada en la vía.



FIGURA 2. Antena instalada en el tren.

En las especificaciones europeas de Interoperabilidad (ETI), se define la interoperabilidad técnica, que aplica a los denominados constituyentes del sistema ERTMS de tal forma que tanto la Eurobaliza instalada en la vía como el equipo embarcado son constituyentes del sistema que deben ser interoperables en lo que concierne a la funcionalidad de localización y transmisión de balizas.

Para evaluar los constituyentes, se definen los requisitos que deben cumplir Eurobaliza y Antena-BTM en la normativa europea mediante dos documentos: las especificaciones del componente Eurobaliza (equipo de vía) y de la Antena-BTM (embarcado en el tren), y las especificaciones de ensayo para dichos equipos. Ambas especificaciones han sido escritas por UNISIG (consorcio que agrupa a las principales compañías de señalización ferroviaria):

- UNISIG SUBSET-036. FFFIS for Eurobalise.
- UNISIG SUBSET-085. Test Specification for Eurobalise FFFIS.

Ambos documentos son de obligatorio cumplimiento, lo que significa que ambos constituyentes (Eurobaliza y Antena-BTM) deben ser conformes con estas especificaciones para ga-

rantizar que son interoperables, para lo cual deben pasar los ensayos en un laboratorio para obtener la certificación.

Este artículo se centra en el equipo embarcado Antena-BTM, teniendo en cuenta que la verificación de la funcionalidad de dicho equipo está profundamente ligada a la especificación de la Eurobaliza, ya que el equipo embarcado debe ser capaz de detectar cualquier Eurobaliza que sea interoperable, incluso si las características de dicha baliza están en los límites de lo especificado.

2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO EMBARCADO ANTENA-BTM

2.1. FUNCIONAMIENTO

La Antena-BTM forma parte del sistema de transmisión puntual de información entre la vía y el tren, en el que la información se transmite sólo cuando la antena del equipo embarcado pasa sobre la baliza. El funcionamiento del conjunto Eurobaliza y Antena-BTM se basa en el acoplamiento magnético entre ambos equipos. La antena del tren emite una señal de tele-activación de frecuencia 27,095 MHz (Señal de Telepowering) y cuando la antena pasa sobre una baliza esta señal de tele-activación energiza la baliza, que comienza entonces a

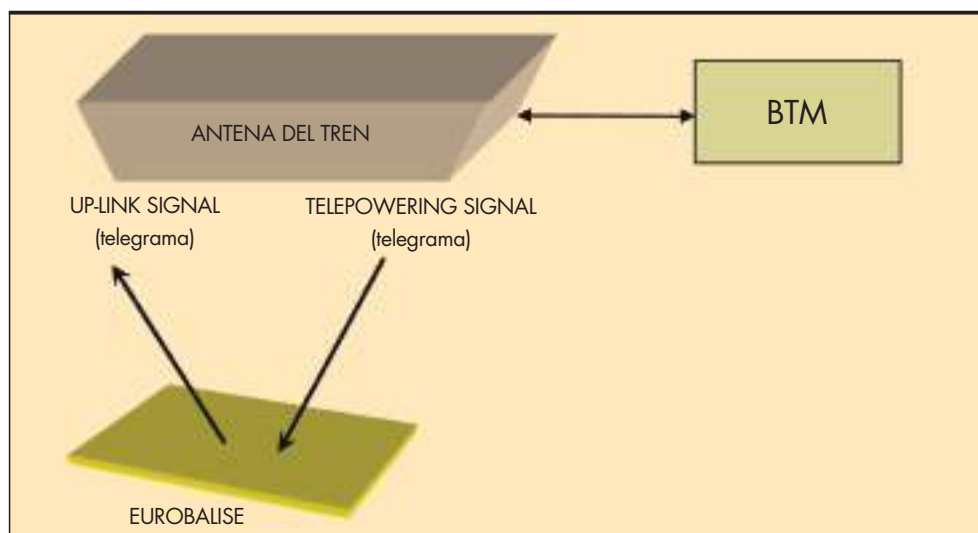


FIGURA 3. Esquema de las señales de Eurobaliza.

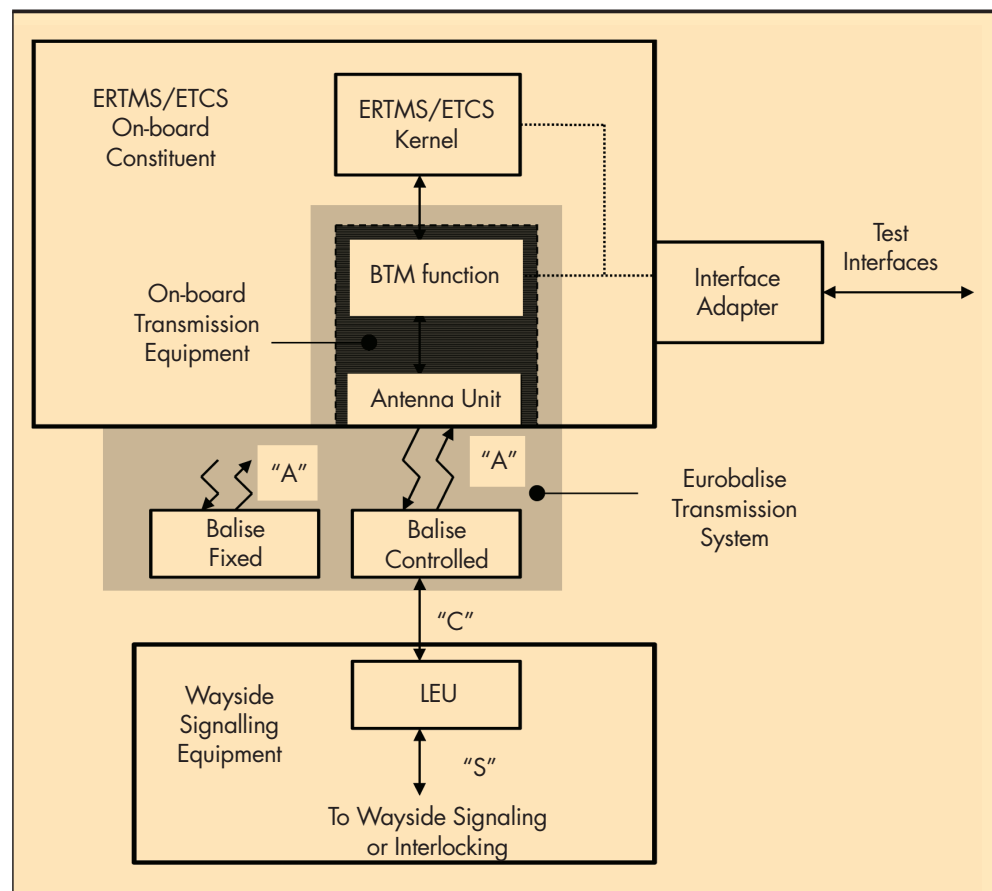


FIGURA 4. Interfaces del subsistema de Eurobaliza.

emitir una señal de 4,23 MHz (Señal de Up-link) que contiene el telegrama con la información necesaria para el tren.

El módulo de transmisión de baliza (BTM) embarcado recibe el telegrama enviado por la baliza, lo decodifica y pasa la información al ordenador de a bordo, junto con la información de la localización física de la baliza. El telegrama se emite continuamente durante el tiempo (milisegundos) que la antena pasa por encima de la baliza. La baliza se desactiva y deja de emitir el telegrama una vez que la antena se aleja de ella. Es este complejo mecanismo el que se tratará de explicar y mostrar en este artículo a través de los distintos ensayos que se realizan sobre el equipo embarcado Antena-BTM.

2.2. INTERFACES

En las especificaciones de baliza "FFFIS for Eurobalise", Subset-036, están definidas las interfaces del subsistema de Eurobaliza. La Figura 4 ilustra estas interfaces.

En cuanto a las interfaces externas, el equipo de transmisión embarcado Antena-BTM se comunica con lo que se denomina ERTMS/ETCS Kernel (ordenador de a bordo o EVC). Por su parte la Eurobaliza se comunica con el LEU, del que recibe los telegramas vía interfaz C que transmitirá al activarse. Asimismo el LEU se comunicará con el Enclavamiento, que le indicará que telegrama debe enviar a la baliza.

En lo que concierne al equipo Antena-BTM, las interfaces importantes para la evaluación de su funcionamiento son el Interfaz A (air-gap, interfaz a través del aire) y en lo que respecta a los ensayos en laboratorio, las interfaces de prueba.

El interfaz A es un interfaz de interoperabilidad triple 'F' (FFFIS) lo que significa que está definido a nivel funcional, fi-

sico y de forma. Comprende la comunicación a través del air-gap entre baliza y antena. Los requisitos de este interfaz se han definido con todo detalle para que sean la base que garantice la interoperabilidad entre Eurobalizas y equipos embarcados siempre que ambos cumplan las especificaciones.

El equipo embarcado transmite la señal de tele-powering para activar las balizas a través del interfaz A, y recibe a través del mismo la señal de up-link de las Eurobalizas.

En cuanto a las interfaces de prueba, son necesarias para evaluar durante los ensayos en laboratorio la información que el equipo embarcado antena-BTM está enviando al EVC. Se utilizan principalmente dos:

- Interfaz 'V1'. Este interfaz se utiliza para enviar comandos al BTM, así como para recibir la información del mismo relativa a su estado y a la recepción de balizas.
- Interfaz 'V2'. Se utiliza para transmitirle al BTM información de odometría durante los ensayos en laboratorio, de tal forma que se simule que el equipo está a bordo de un tren en movimiento.

2.3. LA SEÑAL DE TELE-POWERING. EL MODO TOGGING

Como ya se ha comentado, el equipo embarcado ERTMS genera la señal de tele-powering necesaria para activar la baliza. El ordenador de a bordo puede ordenar que la antena emita en dos modos:

- CW (Continuous Wave) señal sinusoidal pura de 27.095 MHz.
- Toggling (opcional) utilizado para conseguir interoperabilidad con sistemas KER (KVB, Ebicab, RSDD) ya

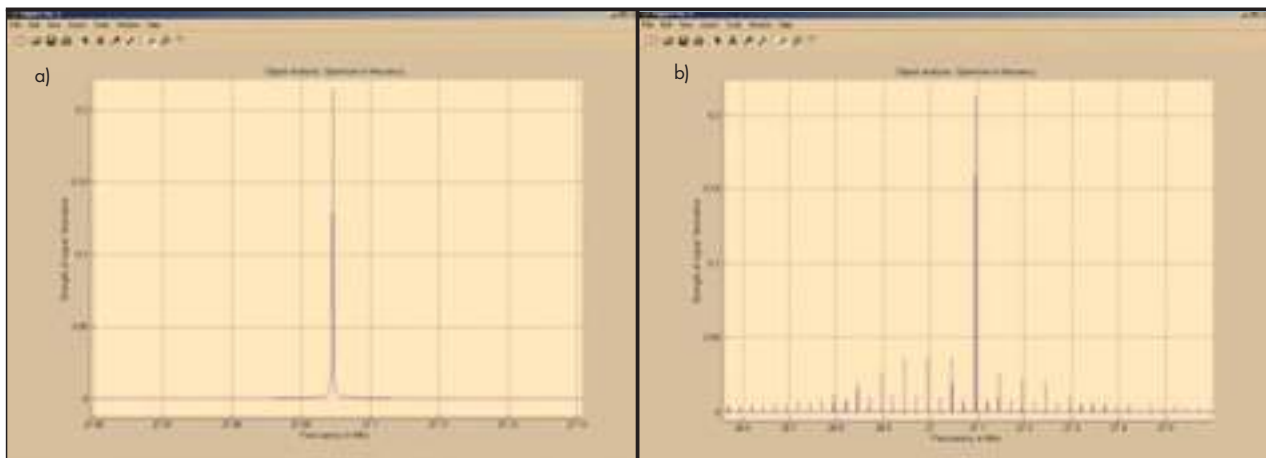


FIGURA 5. Espectro de señales de telepowering. A. Espectro señal CW. B. Espectro señal toggling.

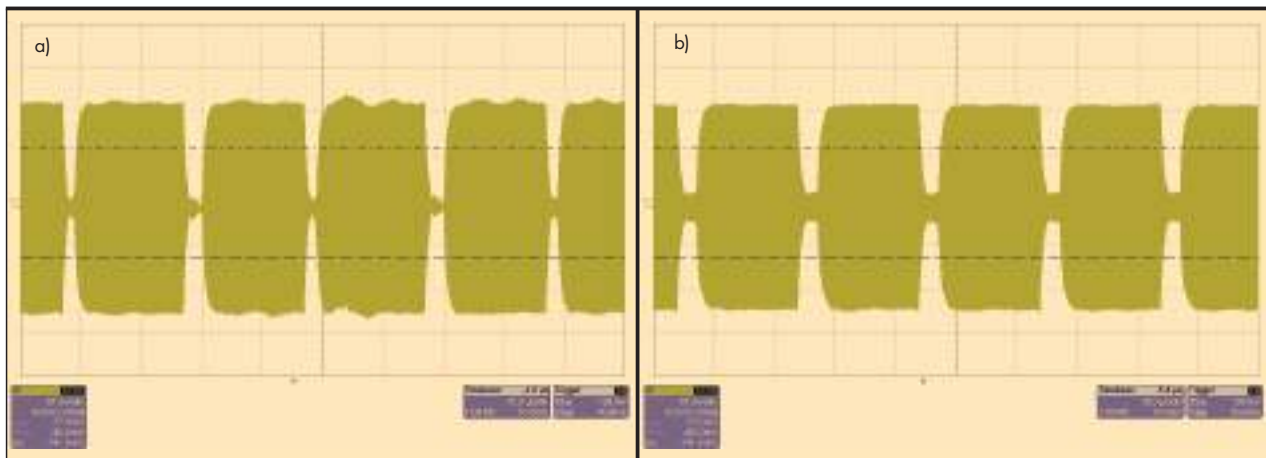


FIGURA 6. Capturas en el osciloscopio de señales de telepowering. A. Señal de telepowering toggling (pulsos desiguales). B. Señal de telepowering non-toggling (pulsos iguales).

existentes. La señal de 27 MHz es modulada en amplitud con una señal de 50 kHz con pulsos bien definidos: profundidad de modulación 85-100% y anchos de pulsos desiguales (toggling).

El modo normal de emisión para ERTMS es una señal CW. El motivo de que se haya definido la señal de toggling como válida para activar Eurobalizas es permitir la compatibilidad de las balizas ERTMS con anteriores sistemas de transmisión ATP/ATC que utilizan frecuencias y características de transmisión similares, como son los llamados KER (KVB, Ebicab y RSDD). En estos sistemas el equipo embarcado emite una señal non-toggling, que es una señal de 27 MHz modulada en amplitud con una señal de 50 kHz con anchos de pulsos iguales.

2.4. LA SEÑAL DE UP-LINK

Una vez energizada la baliza con un nivel suficiente de campo magnético de telepowering emitido por la antena a bordo del tren, la baliza se despierta y emite la señal de Up-link. Esta señal corresponde a un campo magnético emitido por la espira de la baliza y contiene el telegrama codificado en la propia forma de onda. El campo de Up-link es captado por la espira de la antena a bordo, y de esta forma el telegrama es recibido por la cabina.

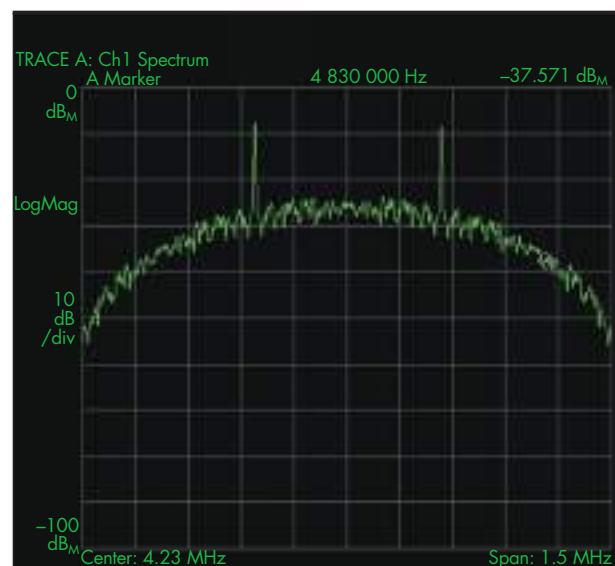


FIGURA 7. Espectro de la señal de Up-link.

La transmisión de los datos se hace con la propia señal de Up-link, que es una señal FSK (Frequency Shift Keying, codificación en frecuencia), en la que el bit de información correspondiente a un "0" lógico corresponde a 7 periodos aproximados de una señal de 3.951 MHz y el bit "1" lógico a 8 periodos de 4.516 MHz.

3. ENSAYOS EN EL LABORATORIO DEL CEDEX. ESPECIFICACIÓN DE ENSAYOS

Como ya se ha indicado anteriormente, el documento de la normativa europea que define los ensayos a realizar sobre los constituyentes Eurobaliza y Antena-BTM para verificar si son conformes es el Subset-085 "Test specifications for Eurobalise FFFIS", escrito por UNISIG (consorcio de empresas de señalización) y aprobado por la Comisión Europea.

En el Subset-085 se comprueban los requisitos impuestos por el Subset-036 y se describen los procedimientos de ensayo. También se recomiendan las herramientas y equipos para llevarlos a cabo.

Los constituyentes del subsistema de Eurobaliza de tierra y embarcado son independientes, y el objetivo es que Eurobalizas de un fabricante sean interoperables con Antenas y BTMs de fabricantes diferentes. Por ello, se ensayan de manera separada, comparándolos con herramientas de referencia. De esta forma, las Eurobalizas se ensayan utilizando antenas de referencia y los equipos embarcados se ensayan con lazos de referencia, ambos equipos de referencia definidos en la normativa Subset-085.

Los ensayos de Antena-BTM más representativos abarcan las siguientes funcionalidades:

- Verificación de las características de la señal de telepowering.
- Verificación de la capacidad del equipo embarcado para gestionar señales de baliza con características en sus

valores extremos (por ejemplo, señales de baliza con la máxima desviación de frecuencia permitida).

- Caracterización de los patrones de radiación de telepowering y up-link de la antena.
- Comprobación de la correcta detección y localización de las balizas, así como de la transmisión fiable de datos con simulaciones de patrones de radiación dinámicos.
- Verificación de la capacidad de manejar distintos tipos de telegramas, incluso telegramas con errores.
- Verificación de la capacidad de gestionar secuencias de balizas, por medio de la simulación del paso de grupos de balizas.
- Evaluación de la protección frente al cross-talk, así de la inmunidad frente al cross-talk producido por cables cercanos, incluido el cable LZB.

En muchos de los casos anteriores, se aplican adicionalmente condiciones de Debris, y de presencia de objetos metálicos para evaluar su influencia.

A continuación se resumirán los distintos tipos de ensayos descritos en el Subset-085. Para facilitar la comprensión se agrupan los ensayos por bloques.

3.1. ARQUITECTURA DEL BANCO DE ENSAYOS

El banco de pruebas del laboratorio para ensayos de Antena-BTM está basado en primer lugar en un conjunto de equipos comerciales de medida de señales de Radiofrecuencia que son el núcleo del laboratorio, como Analizadores de Espectro, generadores de señal, medidores de potencia, osciloscopios, amplificadores y en general instrumentación de RF.

En segundo lugar, el laboratorio dispone de unos dispositivos de referencia que son la base de todos los ensayos, los Lazos de Referencia (Reference Loops) que son dispositivos pa-



FIGURA 8. Ensayos aplicando condición de Debris de Clear Water.



FIGURA 9. Ensayo con placa metálica bajo el Reference Loop.

HERRAMIENTAS PARA ENSAYOS DE EUROBALIZA Y BTM	
Herramienta	Descripción
LTMS	Laboratory Test Management System (Sistema Gestor de Ensayos): Se utiliza para los ensayos de Antena-BTM, para gestionar la ejecución del ensayo. Es capaz de controlar el resto de herramientas del laboratorio.
LTOM	Laboratory Test Odometer Module (Módulo de Odometría): se utiliza en los ensayos de BTM para simular el movimiento de la antena (información de odometría del tren).
APT	Automatic Positioning Tool (Herramienta de Posicionamiento Automático): se utiliza para posicionar la antena respecto al lazo de referencia con precisión de milímetros.
RSG	Reference Signal Generator (Generador de Señales de Referencia): con esta herramienta se pueden generar todas las señales que se utilizan en el laboratorio. Tiene una parte HW que son los propios equipos generadores de señal y una parte SW de generación de ficheros de forma de onda y de control de los equipos generadores. Con esta herramienta generan las señales de Up-link (FSK) que simulan la señal de baliza para los ensayos de BTM.
LRRT	Laboratory Reference Receiver Tool (Herramienta Receptor de Referencia): Se utiliza para analizar las características de la señal de Up-link emitida por la baliza. En los ensayos de Antena-BTM se utiliza para verificar las señales generadas por el RSG.

TABLA 1.

trón, especificados en el Subset-085, que se utilizan para simular balizas reales al realizar los ensayos de antena-BTM.

Por último, el laboratorio tiene un conjunto de herramientas propias, necesarias tanto para la realización de los ensayos de manera automática y como para el control de los mismos. A continuación se incluye la lista de las principales herramientas que se utilizan para los ensayos de Antena-BTM:

En las Figuras 10 y 11 se incluye la arquitectura del laboratorio de Eurobaliza y Antena-BTM.

Como se ha comentado anteriormente, para la realización de los ensayos es imprescindible la existencia de unas interfaces de prueba que permitan controlar el funcionamiento del BTM y la antena, simular que el BTM se encuentra en un entorno de funcionamiento a bordo de un tren, y recoger los datos que el BTM enviaría al EVC en cada caso. Estas interfaces son:

- Interfaz V1: a través de esta interfaz se accede a los datos reportados por el BTM, y se controla su funcionamiento.

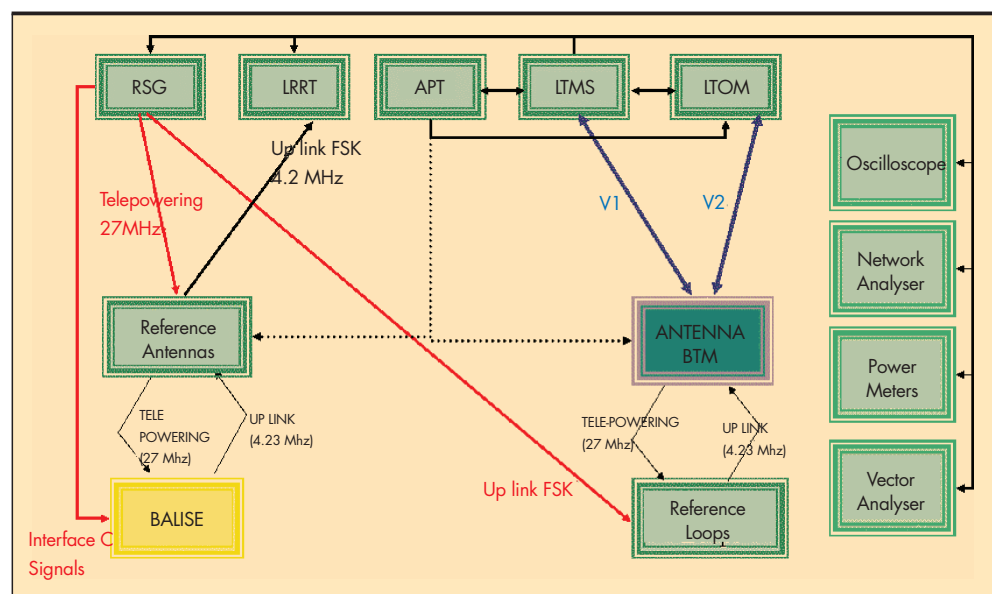
- Interfaz V2: se utiliza para enviar periódicamente al BTM información de odometría, de forma que se simula que está embarcado en un tren real en movimiento.

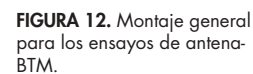
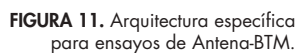
También se dispone de los elementos necesarios para ejecutar ensayos en diferentes condiciones de Debris (agua, polvo de hierro), condiciones ambientales (cámara climática), y en presencia de objetos metálicos.

4. ENSAYOS DEL EQUIPO EMBARCADO ANTENA-BTM

Los requisitos impuestos a la Eurobaliza determinan las exigencias al equipo embarcado antena-BTM. Por este motivo es necesario ensayar la antena-BTM teniendo en cuenta los diferentes tipos de baliza que se pueda encontrar, por lo que se utilizará un lazo de referencia para simular el comportamiento de las balizas más débiles y más fuertes (balizas con la respuesta a la activación de la antena en los límites permitidos), simulando además velocidades de hasta 500Km/h.

FIGURA 10. Arquitectura del laboratorio de Eurobaliza y BTM.





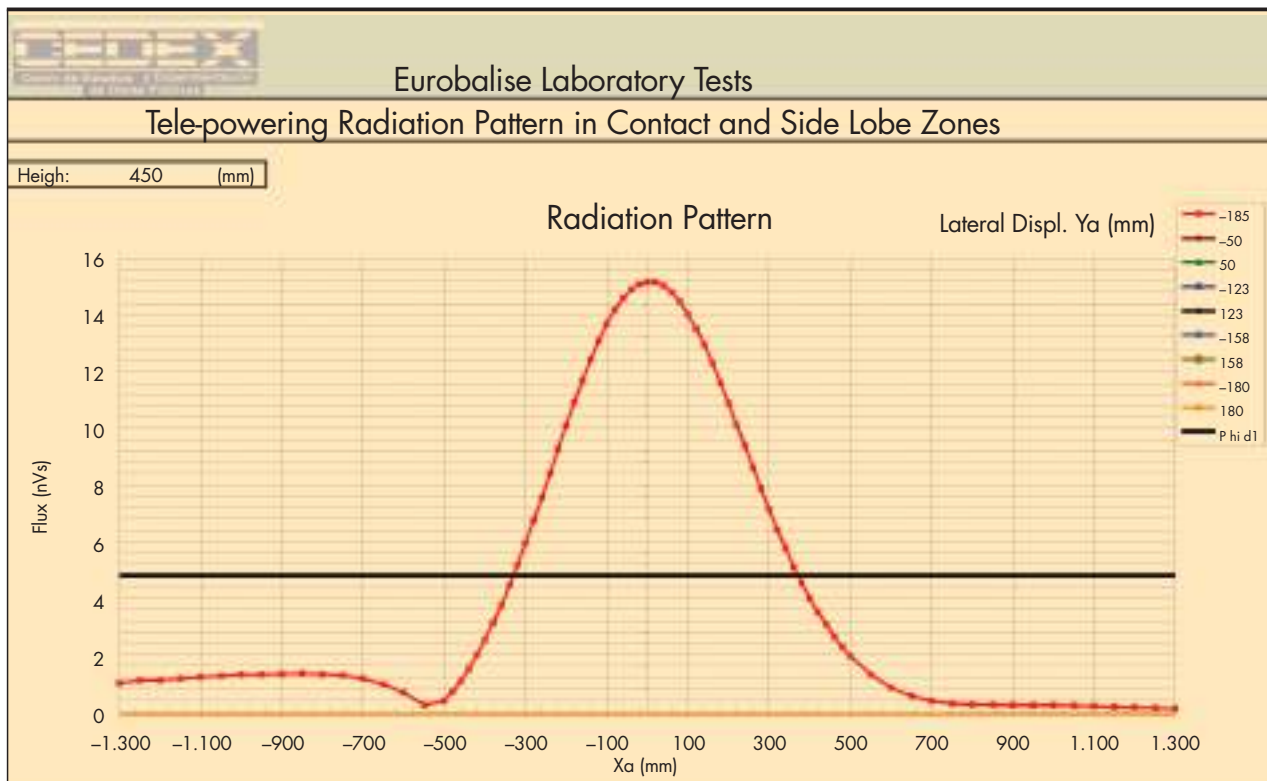


FIGURA 13. Ejemplo de resultado de patrón de telepowering.

También se simularan casos extremos en las características de la señal de up-link que puede emitir una baliza, para comprobar que aún así el BTM es capaz de decodificarlas.

A continuación se describen los ensayos que sería necesario llevar a cabo sobre una antena-BTM para obtener la certificación europea de este componente por parte de un organismo notificado.

El esquema general para los ensayos se muestra en la Figura 12.

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS PATRONES DE RADIACIÓN DE LA ANTENA Y CREACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN PARA ENSAYOS DINÁMICOS

El objetivo de este grupo de ensayos es crear unos patrones de radiación para simular el paso de la antena sobre la baliza con la señal más débil posible, con objeto de evaluar que la detecta y decodifica su telegrama correctamente, así como la simulación de la baliza con la señal más fuerte posible para evaluar el comportamiento de la antena-BTM ante la presencia de lóbulos laterales en el campo radiado.

Para la creación de los patrones de radiación se medirán por separado el patrón de telepowering, y el de up-link.

4.1.1. Obtención del patrón de radiación de Telepowering

El objetivo de este ensayo es determinar el flujo recibido por la baliza cuando la antena pasa sobre ella. Se trata pues de obtener la función que relaciona el flujo recibido por la baliza con la posición de la antena del tren en su recorrido a lo largo del eje X. Esta medida se realiza a distintas alturas y desplazamientos laterales de la antena respecto a la baliza.

Se tiene en cuenta la posibilidad de encontrar distintos tamaños de baliza estándar o reducido, por lo que se realiza el

ensayo con el reference loop standard y con el reducido, éste último tanto en posición transversal y longitudinal. El flujo recibido en el reference loop se calcula a partir de la medida de potencia de la señal de telepowering inducida en éste.

Se realiza este ensayo en diferentes condiciones (Agua, mineral de hierro, objetos metálicos, hielo, simulando desviaciones angulares en la antena...).

4.1.2. Obtención del patrón de radiación de Up-Link

En este caso, se quiere obtener el nivel mínimo de la señal de up-link emitido por la baliza a partir del cual la antena-BTM es capaz de detectar la señal y decodificar un telegrama válido en su recorrido por encima de la baliza.

Se trata pues de obtener la función que relaciona el umbral de detección de la antena en su recorrido a lo largo del eje X. La medida se obtiene para distintas alturas y desplazamientos laterales de la antena respecto a la baliza.

Para tener en cuenta el tipo de baliza estándar o reducido, se utiliza el reference loop standard o reducido.

Para cada posición de la antena en el eje X se simula un paso de baliza a una velocidad de 100 Km/h, inyectando en el reference loop una señal de up-link modulada con una señal trapezoidal. La corriente inyectada en el reference loop se va incrementando hasta que el BTM detecta el telegrama, y se comprueba que lo envía por la interfaz v1.

Para el correcto funcionamiento del BTM, éste debe detectar que se encuentra en un tren que está en movimiento, a 100 Km/h. Para ello se utiliza la interfaz v2 y la herramienta LTOM (Laboratory Time and Odometer Module). En el LTOM se simula una velocidad de 100 km/h cuyos datos de distancia recorrida, tiempo, velocidad real, etc... le llegan al BTM vía interfaz v2.



FIGURA 14. Ensayo de medida del patrón de telepowering.

La señal trapezoidal de paso de baliza se genera teniendo en cuenta la velocidad de 100 km/h, en cuanto a la pendiente y el tiempo de activación. El nivel de potencia de la señal inyectada se controla regulando simultáneamente la amplitud de la señal trapezoidal y la ganancia del amplificador, hasta encontrar el nivel de detección mínimo para el BTM.

El nivel de la señal de up-link se relaciona con la corriente inyectada en el reference loop. La medida de esta corriente se hace por medio del current sense balun, y al ser un proceso dinámico se dispara la medida en un analizador vectorial por medio de un trigger que indica el centro de la baliza. Calculando el área bajo la curva del espectro de la señal de up-link

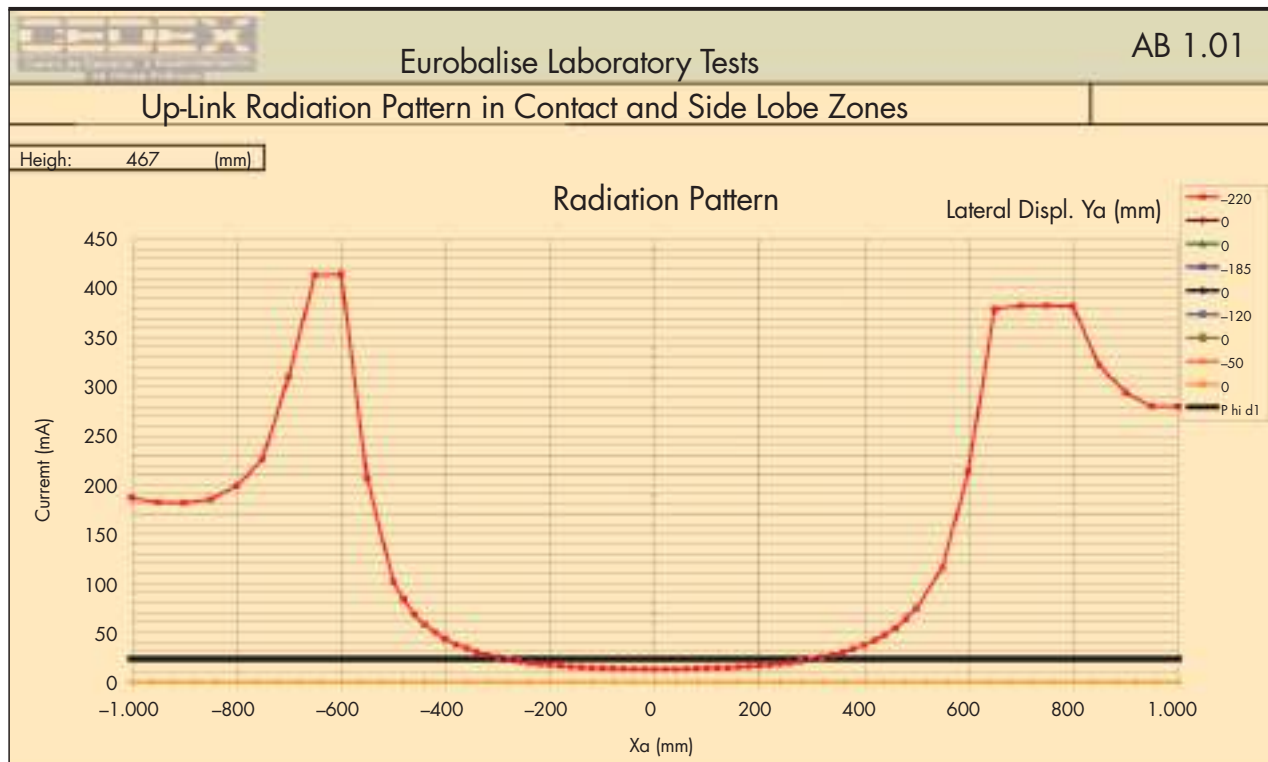


FIGURA 15. Ejemplo de resultado de patrón de up-link.



FIGURA 16. Ensayos de medida del patrón de radiación de up-link con desviaciones angulares en la antena.

se obtiene la potencia de esta señal expresada en dBm. Con la función de transferencia del current sense balun obtenida de un ensayo previo de calibración se calcula la corriente inyectada.

El criterio para determinar el umbral de detección por el BTM se puede elegir por cada compañía, ya sea indicando el número de telegramas buenos recibidos, o por tanto por ciento de telegramas buenos recibidos.

En la Figura 16 se pueden ver fotografías de los ensayos de medidas de patrones de radiación.

4.2. ENSAYOS DE TRANSMISIÓN

Se trata del ensayo principal para verificar el funcionamiento dinámico de la antena-BTM, y es la base para muchos de los ensayos que se explicarán a continuación. Es un ensayo muy interesante, pues se realiza en estático, a la distancia máxima entre antena y reference loop, sin aplicar ningún tipo de Debris, pero se están simulando en realidad todas las condiciones, además de velocidades de hasta 500 Km/h.

El objetivo del ensayo es determinar la respuesta del equipo embarcado cuando el tren pasa por la baliza más débil o más fuerte bajo diferentes velocidades y condiciones de ensayo, es decir para los límites de funcionamiento de una baliza (weakest y strongest balise).

Posteriormente se evalúa la capacidad de la antena-BTM en cuanto a detección de pasos de balizas, fiabilidad de la transmisión de datos, gestión de los side lobes, y precisión en la localización de la baliza durante la ejecución de ensayos dinámicos simulados.

En primer lugar es necesario haber obtenido los patrones de radiación de up-link y telepowering, que están dando una idea del nivel de emisión de la antena y de la sensibilidad en la recepción de señales de baliza. Ambos patrones se combinan por medio de un algoritmo y se extrae el patrón de radiación que se aplicará para que, realizando el ensayo en estático y en Free Air, se pueda simular el comportamiento dinámico y las distintas condiciones de debris y de posiciones relativas entre la antena y reference loop.

La simulación en el Laboratorio transforma el ensayo dinámico en un ensayo estático: el equipo de abordaje se fija en una posición de referencia fija respecto al Reference Loop en free air, y el proceso dinámico se simula inyectando en el reference loop un patrón de señal de la corriente de up-link que simula el paso del tren por una baliza a cierta velocidad y en determinadas condiciones.

La baliza debe responder con una determinada potencia de señal de emisión (up-link) ante un nivel de flujo de excitación recibido (telepowering) en diferentes condiciones ambientales. Las características de Entrada/Salida de la Baliza deben estar en concordancia con la Figura 17: la respuesta de la Baliza debe estar dentro del área limitada por las zonas sombreadas, es decir, debe estar por encima del límite inferior que fija el umbral mínimo de detección y por debajo del límite superior que fija el máximo para que no exista cross-talk. Se denomina 'Baliza más débil' (weakest balise) a una baliza cuya característica de entrada/salida sigue la línea dada por el límite inferior, por el contrario la 'Baliza mas fuerte' (Strongest balise) sería una baliza exigiera la línea dada por el límite superior de la gráfica.

El patrón de señal inyectado tiene una forma de onda generada a partir de los patrones de radiación de telepowering, up-link y de la característica de Entrada/salida de la baliza más débil o mas fuerte para la condición de ensayo (nominal, debris, desviación lateral, tilt, etc.), transformada y referenciada a la posición de referencia de la antena, la forma de onda de paso de baliza en el espacio se traduce a tiempo dependiendo de la velocidad de ensayo simulada.

Criterios de evaluación: En este ensayo se trata de comprobar que el BTM localiza correctamente la baliza y decodifica el telegrama. Para ello se ha definido en el interfaz V1 una variable llamada BAL_PASS en la que el BTM reporta todos los datos necesarios para evaluar su funcionamiento.

Las herramientas del laboratorio (LTMS) simulan pasos de baliza con telegramas conocidos, y cuyas coordenadas en distancia y en tiempo están determinadas con gran precisión y se almacenan en el LTOM. Posteriormente se compararán

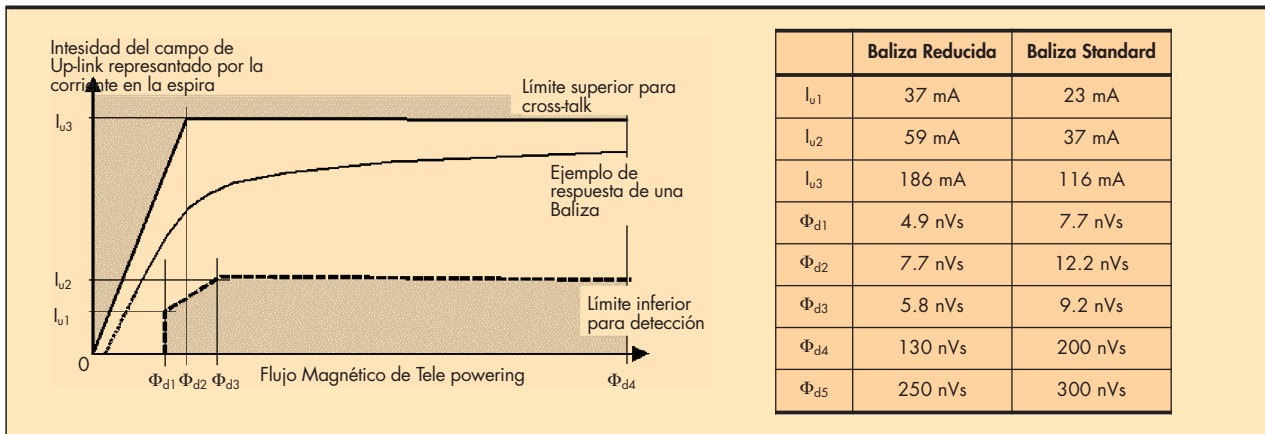


FIGURA 17. Límites para las características de Entrada/Salida (gráfica lineal).

los datos que ha reportado el BTM a través del interfaz V1 (BAL_PASS) con los datos que tiene almacenados el LTOM.

Como el BTM recibe por la interfaz V2 la información enviada por el LTOM (posición, velocidad y tiempo, etc.), cuando detecta a través de la antena la señal de up-link, debe ser capaz de localizar la baliza con la precisión exigida.

El ensayo de transmisión arranca disparando la generación de la señal en el Reference Loop, y simultáneamente de un marker de centro de baliza hacia el LTOM. Cuando el BTM detecta contacto con la baliza simulada envía un informe de paso de baliza (Balise_passage) a través de V1 al LTMS. A su vez, cuando llega la señal de marker del centro de baliza, el LTOM también informa al LTMS de posición, velocidad y tiempo. De esta forma el LTMS es capaz de evaluar el error cometido en distancia y tiempo del centro de la baliza, comparando el centro reportado por el LTOM (centro real, instante en el que efectivamente se ha simulado el paso de baliza), con el centro reportado por el BTM a través del interfaz V1. Además del error en la localización de la baliza, se comprueba si el BTM ha detectado suficiente número de telegramas correctos, y si ha enviado el report a tiempo. Se simulan 10 pasos de baliza consecutivos, para cada velocidad que

se quiera ensayar, hasta un máximo de 500Km/h, o hasta la velocidad máxima que indique el fabricante.

Este procedimiento se repite con los distintos tamaños y posiciones de referente loop, para cada condición de ensayo (Debris, objetos metálicos, hielo, etc), calculando la forma de onda en distancia de la respuesta de la baliza más débil y más fuerte a partir de los patrones de radiación de telepowering y de up-link medidos en cada condición.

En resumen, los criterios de evaluación en el ensayo de transmisión por el LTMS son:

- **Telegrama:** se comprueba que el BTM reporta el telegrama correcto decodificado.
- **Número de telegramas válidos:** que el número de telegramas o bien el porcentaje de telegramas válidos recibidos sea suficiente.
- **Localización (location error):** se evalúa que el error en la localización que haya cometido el BTM esté dentro de los siguientes límites:

$$L_{\text{error}} = 0.20 \text{ m} \quad \text{de 0 a 40 km/h} \quad \text{ó}$$

$$L_{\text{error}} = 1.1e-3 \cdot V + 0.15 \quad \text{de 40 a 500 Km/h.}$$

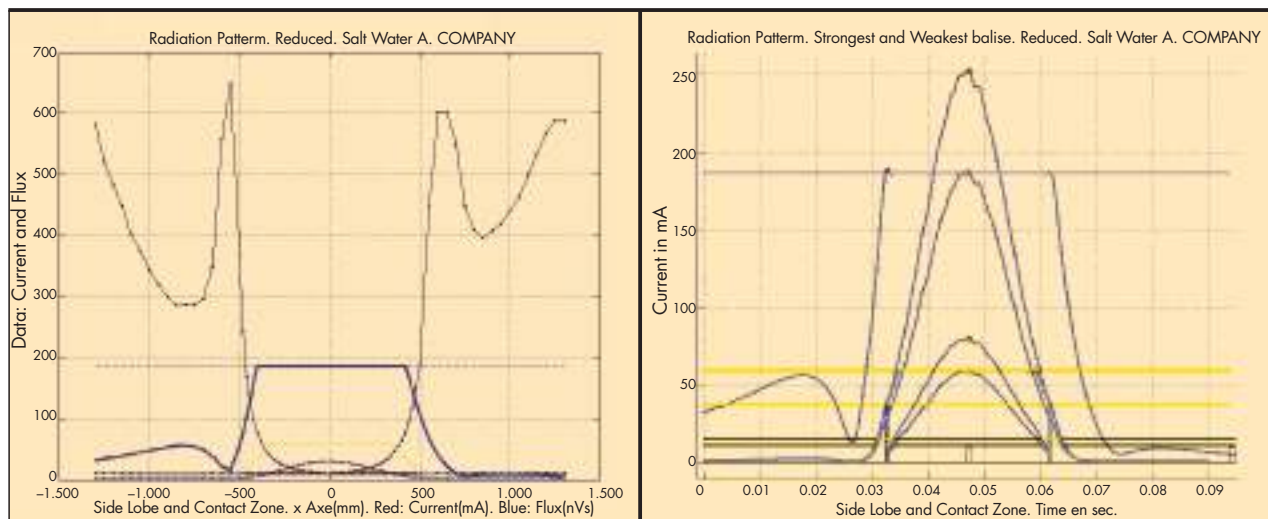


FIGURA 18. Obtención de los patrones de radiación.

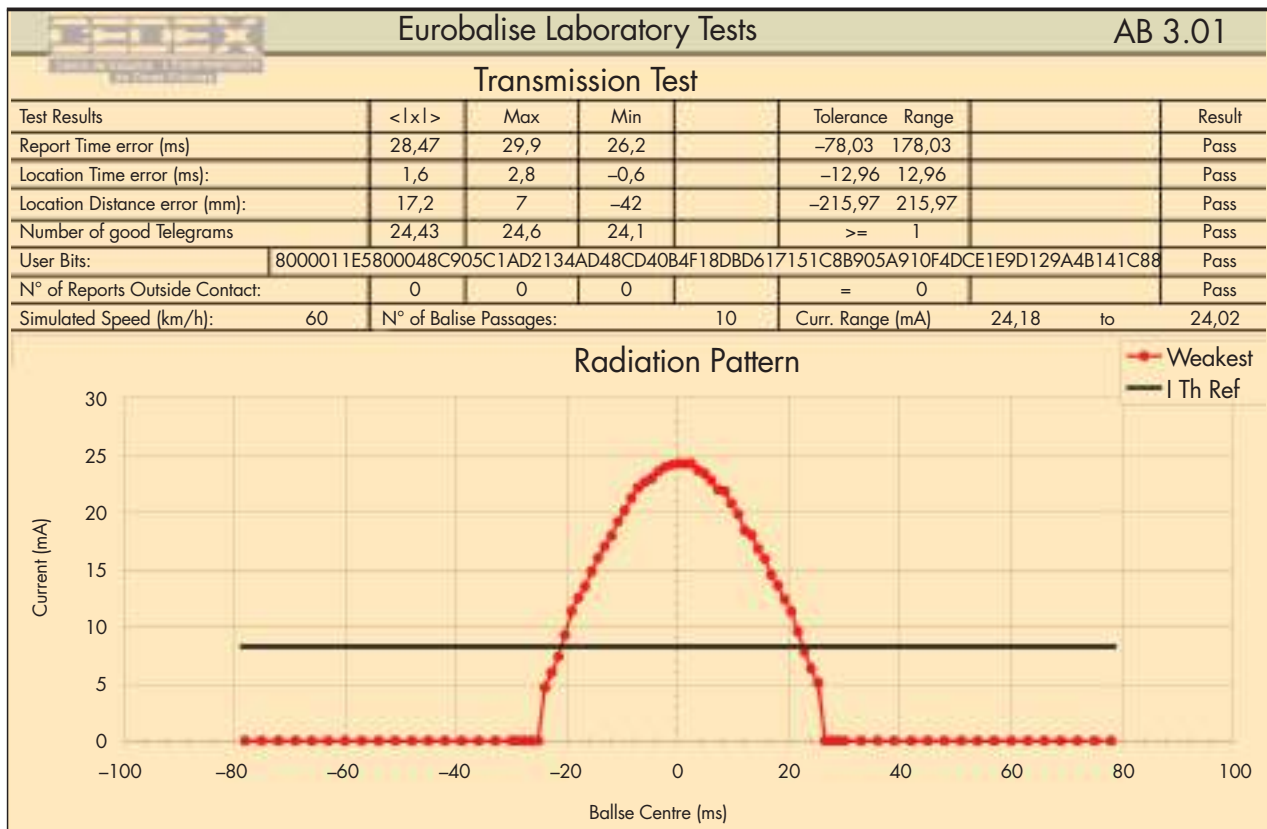


FIGURA 19. Ejemplo de resultado de ensayo de transmisión.

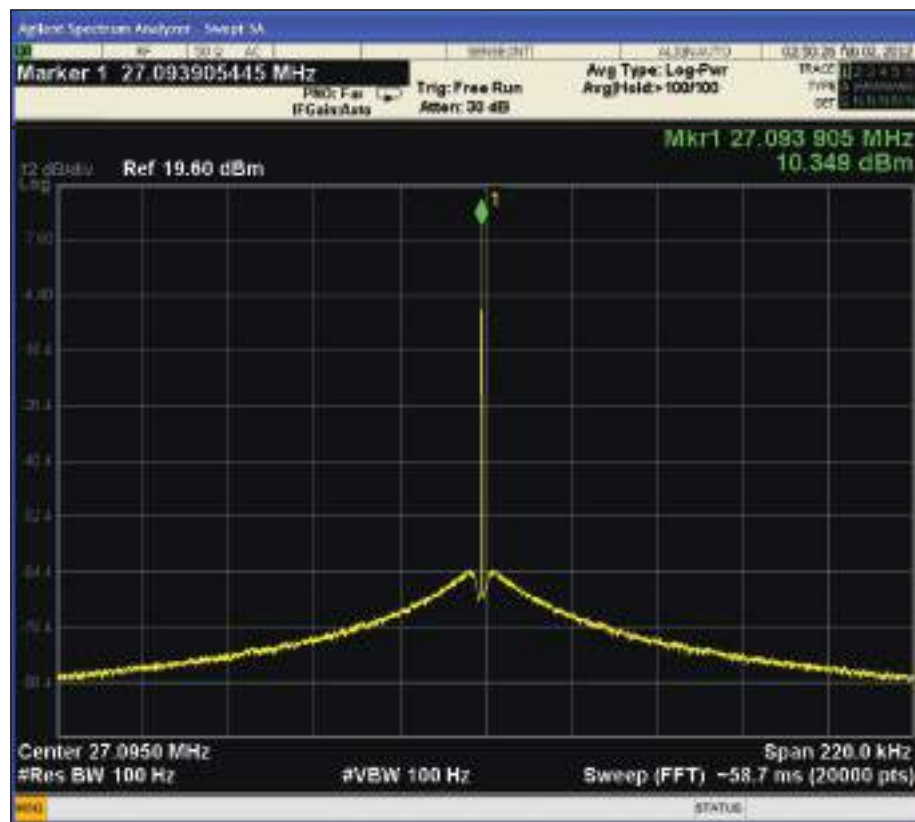


FIGURA 20. Ejemplo de resultado del ensayo de características de la señal de telepowering.

- **Tiempo en el que llega el report** : se comprueba que los reports a través de V1 llegan dentro de la ventana dada por:

$$[(-1.3 \text{ m}) / V, (1.3 \text{ m}) / V + 100 \text{ ms}].$$

Donde V es la velocidad en m/s.

4.3. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA SEÑAL DE TELE-POWERING

Este ensayo evalúa las características de la señal de telepowering generada por el equipo antena-BTM (modo CW) tal como la frecuencia y ruido de la portadora y si el equipo cuenta con el modo de compatibilidad con balizas KER (modo toggling) evalúa las características de modulación de dicha señal.

Los requisitos a verificar son:

- Frecuencia central de 27,095 MHz, con una tolerancia de ± 5 kHz
- Diferencia entre la portadora y el ruido mayor de 90 dB, que es equivalente a medir un ruido de fase < -110 dBc/Hz con una resolución de 100 Hz. En offsets de entre 10 kHz y 100 KHz de distancia a la portadora.

El ruido de fase es la relación de la densidad de potencia del ruido alrededor de la frecuencia central con respecto a la potencia de la señal y se expresa en las unidades dBc/Hz, que representan la potencia de ruido con respecto a la potencia de la señal en un ancho de banda de 1Hz centrado a ciertas distancias (offsets) de la portadora.

4.4. NIVEL MÁXIMO DE FLUJO DE TELEPOWERING

El objetivo del ensayo es medir y evaluar el flujo máximo emitido por la antena en diferentes posiciones, condiciones de debris y condiciones de impedancia en el reference loop. El requerimiento exigido es que el nivel de flujo medido nunca exceda el flujo máximo que admitiría una baliza en las peores condiciones (Fid4).

Desde el punto de vista de diseño de la baliza, se le exige a la baliza un valor de impedancia mayor de 60 ohms en el caso de baliza estándar y mayor de 40 ohms para la baliza reducida cuando recibe un flujo de telepowering en el rango [Fid4-3db, Fid4].

Por este motivo, para simular el peor caso, en este ensayo de flujo máximo se simula la baliza con un reference loop al que se le conectan una serie de cargas de forma que la impedancia que vea la antena sea de 60 o 40 ohmios según se use un reference loop estándar o reducido, siendo los distintos tipos de carga inductiva pura, capacitiva pura o resistiva pura.

4.5. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA SEÑAL DE UP-LINK

Este ensayo evalúa la capacidad del BTM de decodificar correctamente el telegrama cuando viene montado en una señal de up-link cuyas características eléctricas son extremas en cuanto a frecuencia central, desviación en frecuencia, data rate, jitter de phase (o MTIE), y jitter de amplitud, según los límites en los requisitos que se exigen a la baliza.

El procedimiento de ensayo es idéntico al de transmisión sólo que utilizando las señales límites de up-link indicadas en la siguiente tabla para cada caso de prueba (Tabla 2).

CASOS DE PRUEBA	
Case 1	Máxima Frecuencia Central
Case 2	Máxima Desviación Frecuencia
Case 3	Máximo Mean Date Rate
Case 4	MTIE2 extremo
Case 5	Máximo Amplitude Jitter
Case 6	Mínima Frecuencia Central
Case 7	Mínima Desviación Frecuencia
Case 8	Mínimo Mean Date Rate
Case 9	MTIE1 extremo

TABLA 2.

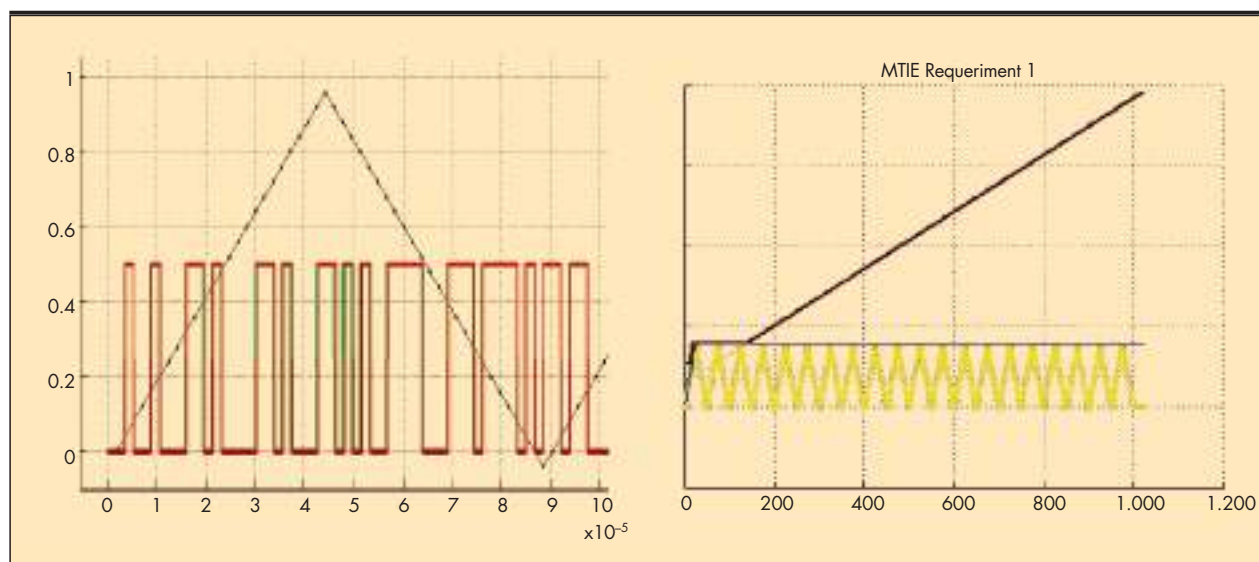


FIGURA 21. Generación de señales con valores de MTIE extremos.

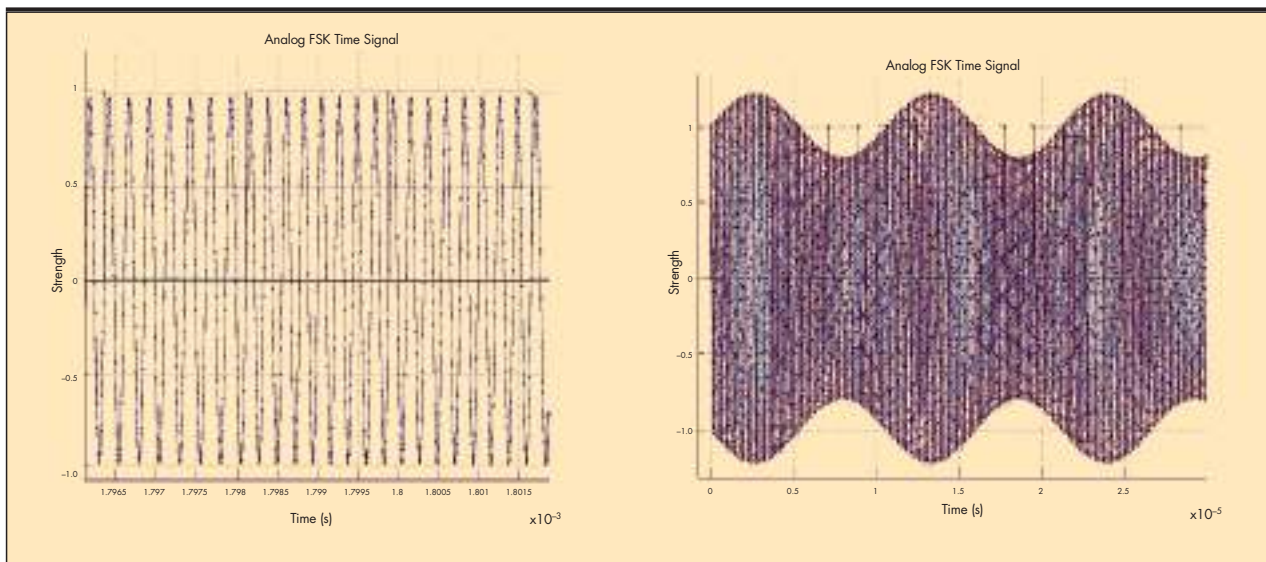


FIGURA 22. Señales de up-link con valores de amplitud jitter extremos.

4.6. INMUNIDAD DE CROSS-TALK

El objetivo de este ensayo es verificar que estando la antena posicionada en la zona de cross-talk (en rojo en el siguiente esquema) no sea capaz de despertar y leer una baliza situada en el origen de coordenadas, para ello se verificará que la antena BTM no detecta la señal de la baliza más fuerte correspondiente al flujo emitido por la antena en esas coordenadas.

Además se medirá el margen requerido para que exista cross-talk, esto es se irá incrementando la corriente de up-link desde el valor correspondiente a la baliza más fuerte para dicho flujo hasta que el BTM detecte o se llegue al máximo de $I_{u3}+20\text{dB}$. El ajuste se realiza simulando una velocidad de paso de baliza de 100km/h (forma trapezoidal).

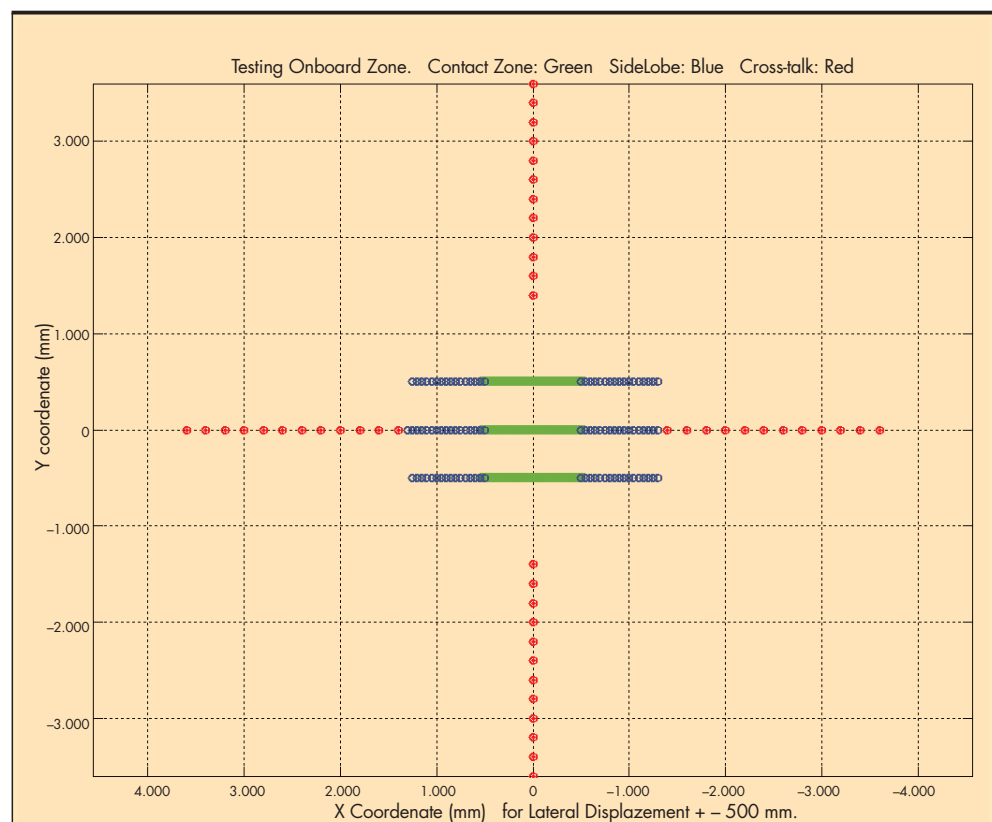


FIGURA 23. Coordenadas para el ensayo de cross-talk.

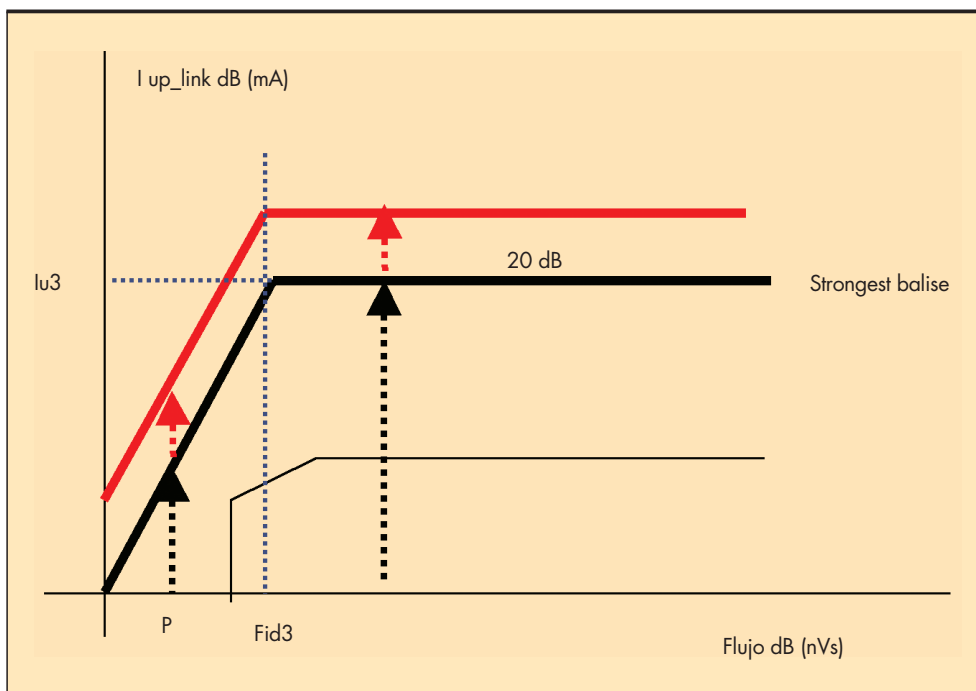


FIGURA 24. Margen de cross-talk.

Se verifica para todos los puntos indicados en la zona en rojo, en alturas Máxima y Mínima, con los References Loop estándar, reducido longitudinal y reducido transversal en las condiciones de debris Nominal, Tilt, Iron Bars, Guard Rails y Loop Cable.

Para evaluar el resultado, se comprueba que no exista cross-talk para la baliza más fuerte y como información adicional, se puede dar el margen que tendría la antena hasta que el cross-talk se produjera.

4.7. INMUNIDAD DE CROSS-TALK CON CABLES

El objetivo de este ensayo es verificar la no existencia de cross-talk ante posibles configuraciones de cables existentes en vía. Los ensayos se dividen en dos partes:

- **Up-link cross talk desde el cable a la antena.** Ensayar que ante inducciones en los cables cercanos de la señal de up-link de una baliza excitada no es detectada por la antena de abordó.
- **Tele-powering cross talk desde la antena al cable.** Ensayar que inducciones de la señal de telepowering generada por la antena en cables cercanos no hacen despertar una baliza cercana.

Existen dos tipos de configuraciones de cables para los ensayos:

- **Bar Profiles.** Para simular cables genéricos.
- **LZB cables.** Herramienta vertical para el ensayo de 27 Mhz y herramienta horizontal para el ensayo de 4.2 Mhz, especiales para simular cables LZB.

4.8. SUPERVISIÓN DE LA FUNCIÓN DE DETECCIÓN DE BALIZAS

El objetivo de este ensayo es verificar que el BTM dispara una alarma cuando la función de detección de balizas se ve perturbada por la presencia de masas metálicas. Con la antena a la altura mínima, se verificará para tres casos indicados de masas metálicas.

En estas condiciones de masas metálicas y posición relativa de la antena respecto a tope de rail la altura mínima indicada por el fabricante se obtendrá los valores de la distancia d que hacen disparar la alarma.

4.9. GESTIÓN DE DISTINTOS TIPOS DE TELEGRAMAS

El objetivo es evaluar de forma sistemática que el BTM puede manejar los diferentes tipos de telegramas incluida la situación en la que se produce una conmutación del telegrama durante el paso de baliza (telegram switching).

El procedimiento es similar al del ensayo de transmisión, pero simulando con todos los diferentes tipos de telegramas que se definen en el Subset-085. La verificación del telegram switching se realizará a máxima velocidad y a muy baja velocidad. El objetivo es simular que al paso del tren por la baliza esta se despierte y comience a emitir de forma cíclica el telegrama T1, y en el entorno del mitad de recorrido (cuando la antena está encima de la baliza) introducir la secuencia de cerros o unos y conmutar al telegrama T2 que se emitirá de forma cíclica hasta que la baliza se desactive otra vez.

4.10. GESTIÓN DE SECUENCIAS DE BALIZAS

El objetivo es verificar que el BTM reporta correctamente una secuencia de balizas dentro de un mismo grupo de balizas. Para ello se elige la condición más desfavorable que es un grupo de 8 balizas situadas a la distancia mínima para cada velocidad.

Se comprueba para todas las balizas del grupo que el BTM reporta correctamente los mismos parámetros que se exigían en el ensayo de transmisión:

- Telegrama.
- Localización.
- Numero de telegramas válidos.
- Tiempo en el que llega el report.

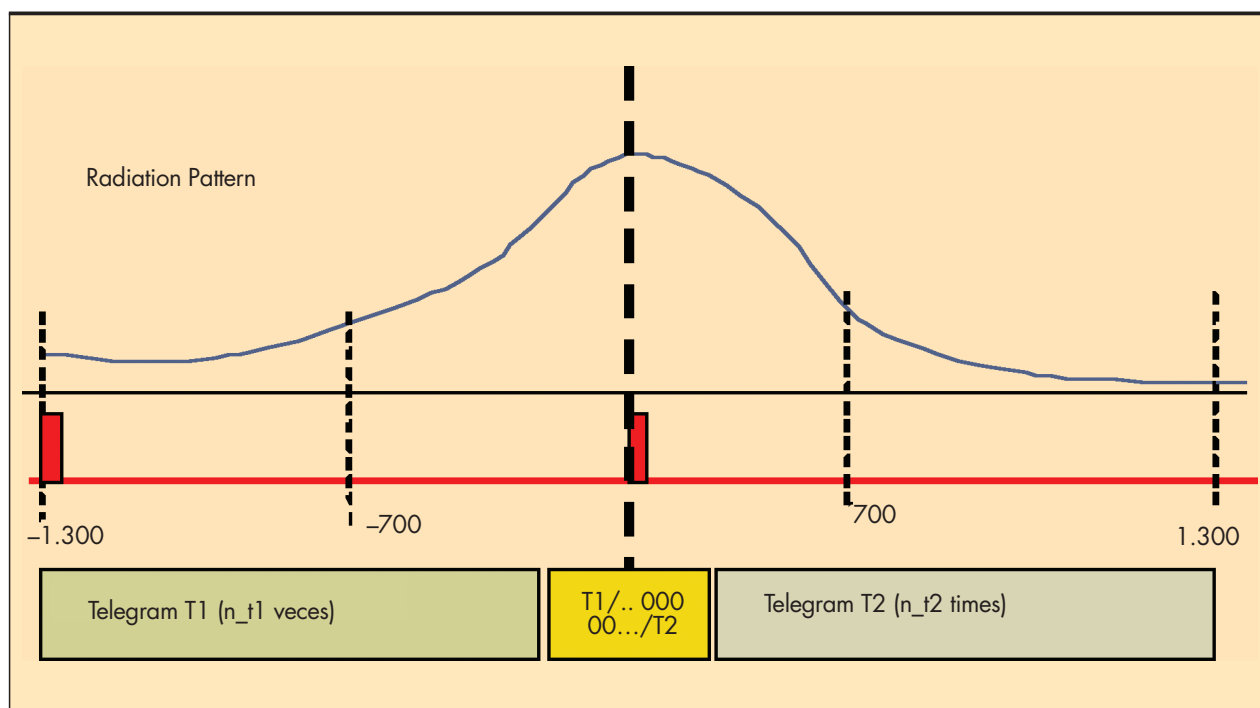


FIGURA 25. Ejemplo de conmutación de telegrama en la mitad del paso de baliza.

4.11. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL RECEPTOR

Este ensayo se centra en verificar los conceptos fundamentales del receptor básico, para ello se han seleccionado un conjunto de telegramas de prueba que permiten detectar la violación de las propiedades más obvias y críticas tales como inversión de telegramas, así como verificar el correcto control sobre la sincronización de bits, los bits de chequeos y los bits extras. En algunos casos se exige al BTM que sea capaz de decodificar estos telegramas especiales (por ejemplo, en el caso de la inversión de bits), mientras que en otros casos el BTM debe rechazar el telegrama.

5. CONCLUSIONES

- La antena-BTM es un constituyente ERTMS que forma parte del sistema de transmisión puntual de información entre el tren y la vía, capaz de captar y decodificar las señales de las Eurobalizas.
- La antena-BTM del subsistema de Eurobaliza debe cumplir las especificaciones incluidas en las ETI para ser interoperable, que incluyen especificación de requisitos (Subset-036, FFFIS for Eurobalise) y especificaciones de ensayo (Subset-085, Test Specification for Eurobalise FFFIS).
- Todos los ensayos de Antena-BTM definidos en el Subset-085 se realizan en el Laboratorio de Eurobaliza del LIF, que es laboratorio de referencia para dichos ensayos.

6. AGRADECIMIENTOS

- La actualización del laboratorio a las últimas plataformas de HW se ha llevado a cabo gracias al apoyo y la colaboración de RINA.

7. REFERENCIAS

Referencias Europeas:

- Directiva Europea 96/48/CE.
- UNISIG SUBSET-023; Glossary of UNISIG Terms and Abbreviations.
- UNISIG SUBSET-026; System Requirement Specification.
- UNISIG SUBSET-036: FFFIS for Eurobalise.
- UNISIG SUBSET-085: Test Specification for Eurobalise FFFIS.

Especificaciones de ensayo y notas técnicas del LIF

- "Testing of the BTM on-board equipment", (Tests of BTM_cedex_03).
- "Generation of Signal Pattern", (Signal_pattern_cedex_v02).
- "Generación de señales FSK con MTIE extremas", (mtie_generation_fsk_01).
- "Notas con respecto a generación de señales con MTIE extremas", (mtie_generation_05).
- "Notas respecto a ensayos de flujo máximo", (Flujo_maximo_cedex_03).
- "Generación de señales FSK con amplitud Jitter extremas", (ajitter_generation_fsk_01).
- "Generación de señales para el ensayo BTM de up-link signal characteristic", (BTM Tests_ Up-link signal characteristics_ Señales_01).
- "Notas sobre el ensayo electrical characteristic telepowering", (526_ensayo btm).