

# Metodología para el estudio de las desviaciones laterales admisibles en el emplazamiento de Eurobalizas en vías de tres carriles.

## Methodology to Study the Permitted Lateral Deviations in Eurobalises Installation in Tracks with Three Rails

José Bueno<sup>1\*</sup>, Susana Herranz<sup>1</sup>, Pedro Agudo<sup>1</sup>, Alfredo Arroyo<sup>1</sup>, Jorge Iglesias<sup>1</sup>, Jaime Tamarit<sup>1</sup>

### Palabras clave

Eurobaliza; interoperabilidad; vías de tres carriles; tráfico mixto;

### Resumen

El desplazamiento lateral admisible para el emplazamiento de Eurobalizas en vías de tres carriles es un aspecto fundamental para el diseño de los sistemas de protección de trenes en vías de tráfico mixto con anchos diferentes sobre una plataforma común para la circulación de pasajeros (ancho UIC; 1.435 mm) y de mercancías (ancho Ibérico; 1.668 mm).

En esta comunicación se aborda la metodología utilizada para el análisis de la viabilidad de la utilización de grupos de Eurobalizas desplazadas de manera que sea viable el control de los movimientos de trenes para ambos anchos con grupos comunes de Eurobalizas emplazadas en el punto intermedio de los ejes longitudinales de ambos anchos. Esto es, desplazadas 58,25 mm en sentido lateral.

### Keywords

Eurobalise; interoperability; three rail track; mix traffic;

### Abstract

The lateral displacement in the placement of Eurobalise groups on three-rail tracks is a key aspect for the design of the protection systems for mix-traffic lines having different gauges on a common platform, allowing both the passenger (UIC gauge; 1.425 mm) and the freight traffic (Iberian gauge; 1.668 mm).

This communication deals with the methodology used for the feasibility analysis of installing groups of Eurobalises displaced laterally to allow the control of both kinds of traffic using single groups of Eurobalises placed in the middle axis between the two central axis of both tracks. That means, displaced 58,25 mm.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: CURVAS CARACTERÍSTICAS

El presente estudio se basa en los siguientes datos de partida para el estudio de los desplazamientos laterales de la antena embarcada en el caso más desfavorable y la compatibilidad de estos desplazamientos para la captación de un mínimo de dos mensajes:

1. Peor caso de tren, curvas sin peralte. Tren tipo C, con velocidad máxima en curva que admite una aceleración transversal no compensada de 1.5 m/s<sup>2</sup>.
2. Peor caso de tren, curvas con un peralte máximo para la vía en curva de 160 mm. Ancho de la vía de 1.435mm. Tren tipo C, con velocidad máxima en curva que admite una aceleración transversal no compensada de 1.5 m/s<sup>2</sup>.
3. Montaje de la antena en el centro del vagón. Considerando una distancia entre ejes de los bogíes de 20 m, la antena estaría situada a 10 m de cualquiera de los ejes.
4. Límites de funcionamiento del equipo antena-BTM embarcado, obtenidos de los ensayos de laboratorio

con respecto a las especificaciones de ensayo de Eurobaliza. Curva de los desplazamientos laterales admisible versus velocidad. Curva más restrictiva de los 3 tipos de baliza y todos los debrís, considerando la característica de la baliza más débil.

Analizamos seguidamente cada uno de estos aspectos:

### 1.1. Caso más desfavorable de tren, curvas sin peralte

Dado que la aceleración centrífuga en curva es igual a  $V^2/R$ , para una aceleración lateral máxima en curva de 1.5 m/s<sup>2</sup> las velocidades máximas en curvas sin peralte, nos vienen dadas en función del radio de la curva (R) por la expresión:

$$V_{\text{máxsp}} = 3,6 * \sqrt{1,5 * R} = (\text{Km/h})$$

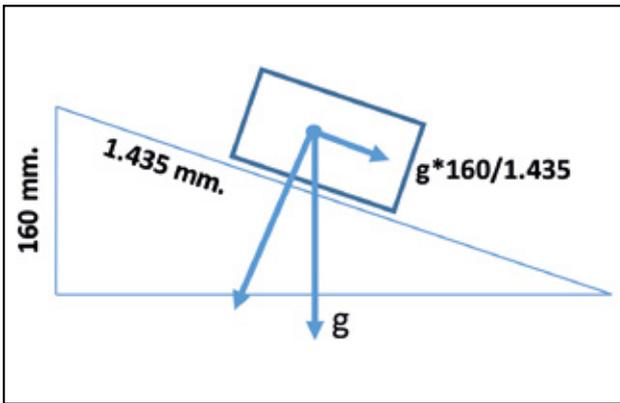
### 1.2. Caso más desfavorable de tren, curvas con peralte

Dado que la aceleración de la gravedad tiene un componente centrípeto debido al peralte, la aceleración centrífuga no compensada será ahora la anterior menos la componente radial gravitatoria:

$$Gt = \frac{V^2}{R} - g * \frac{160}{1.435} \quad (= 1,5 \frac{m}{s^2})$$

\* Autor de contacto: jose.bueno@cedex.es

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



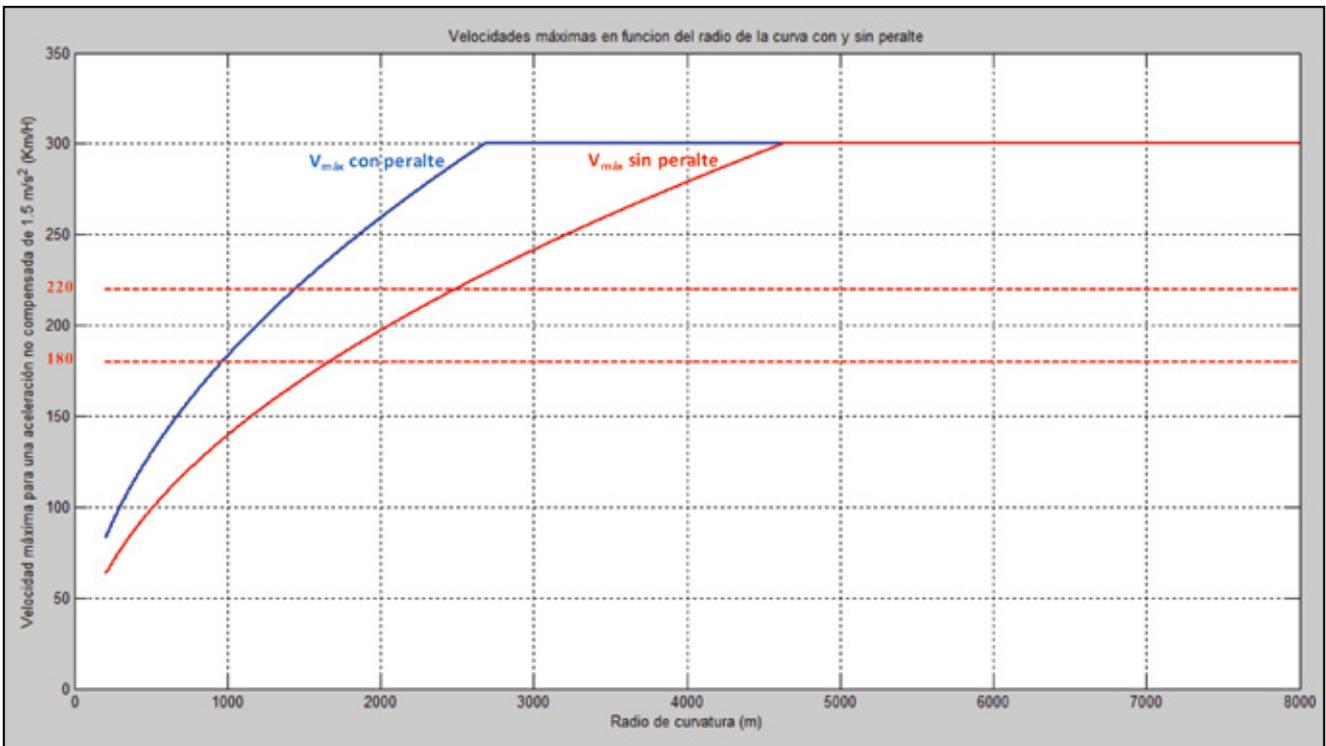
**Figura 1.** Curva con peralte: Componente radial de la aceleración de la gravedad.

Para que la aceleración no compensada sea de  $1,5 \text{ m/s}^2$ , la velocidad máxima en curva peraltada para este tipo de tren con esta aceleración será:

$$V_{\text{máxcp}} = 3,6 * \sqrt{R * (1,5 + 9,8 * 160/1.435)} \text{ (Km/h)} \quad [1]$$

Estas curvas de velocidades máximas sin peralte (rojo) y con peralte (azul) en función del radio de curvatura, se representan en la figura 2. Ambas curvas se han limitado para velocidades superiores a los 300 Km/h, velocidad límite para el Nivel 1 en España.

Se indican en esta figura por líneas rojas discontinuas la velocidad de 220 Km/h. establecida para las vías de tres carriles y la velocidad de 180 Km/h. mencionada en las especificaciones como límite para radios de curvatura de 1.000 m, baliza elevada en 40mm y desplazada 80mm, tal como se verá más adelante.

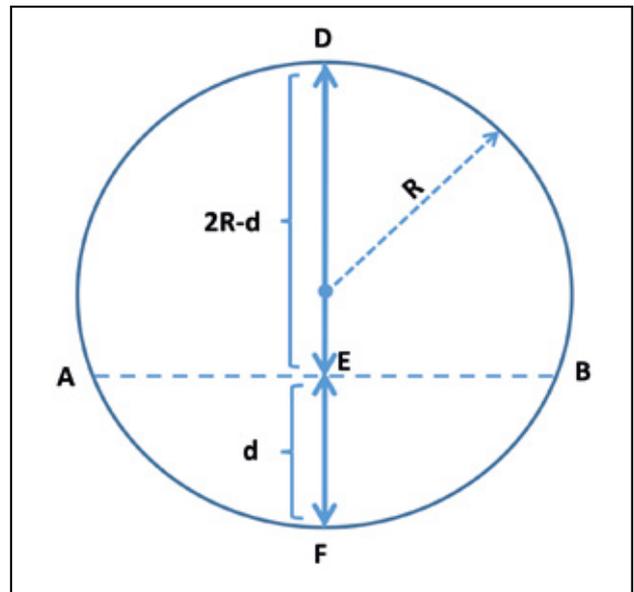


**Figura 2.** Velocidades máximas en curva para una aceleración centrífuga no compensada de  $1,5 \text{ m/s}^2$ .

### 1.3. Caso más desfavorable para el montaje de la antena: punto medio entre bogies

En el caso más desfavorable del montaje de la antena en el punto medio entre dos bogies el desplazamiento de la antena en curva será la distancia de la cuerda a la circunferencia para una cuerda de 20 m, que es la distancia entre bogies. Tal como se indica en la figura 3, la semejanza de los triángulos AEF y DEB, nos permite escribir la relación:

$$\frac{AE}{DE} = \frac{EF}{EB} \text{ con: } AE = EB = 10\text{m}$$



**Figura 3.** Cálculo de la desviación en curva para el emplazamiento más desfavorable de la antena.

$$\text{Esto es: } \frac{10}{2 * R - d} = \frac{d}{10}$$

El desplazamiento de la antena (d) en curva debido a la colocación en el caso más desfavorable, nos vendrá dado en función del radio de la curva por la expresión:

$$d^2 - 2 * R * d + 100 = 0; (R > 300 \text{ m.})$$

Que, despreciando el término en  $d^2$ , podemos aproximar por:

$$d = \frac{100}{2 * R} \text{ (m)} = \frac{50000}{R} \text{ (mm)}$$

A este desplazamiento debido al radio de curvatura habrá que sumar otros desplazamientos laterales debidos a:

- desgaste de la rueda y deformación de los raíles respecto ancho de vía
- al movimiento de la rueda relativo a los raíles
- a la desviación en la suspensión del bogie, ejes de la rueda, bogie y car

Podemos estimar para  $d_a = 15$  mm constante, y  $d_b$  &  $d_c$  variables linealmente entre 15mm y 20mm respectivamente en radios de 300m hasta decrecer a cero para radios  $R \geq 3300$ m.

Esto es, sumando las cuatro contribuciones al desplazamiento lateral de la antena en el caso más desfavorable:

$$dt = \frac{50.000}{R} + 15 + 35 - \frac{35 * (R - 300)}{3.000} \text{ (mm)} \quad (R < 3.300 \text{ m.}) \quad [2]$$

$$dt = \frac{50.000}{R} + 15 \text{ (mm)} \quad (R \geq 3.300 \text{ m.}) \quad [3]$$

La figura 4 representa los desplazamientos máximos de la antena en función del radio de curvatura teniendo en cuenta las circunstancias más desfavorables:

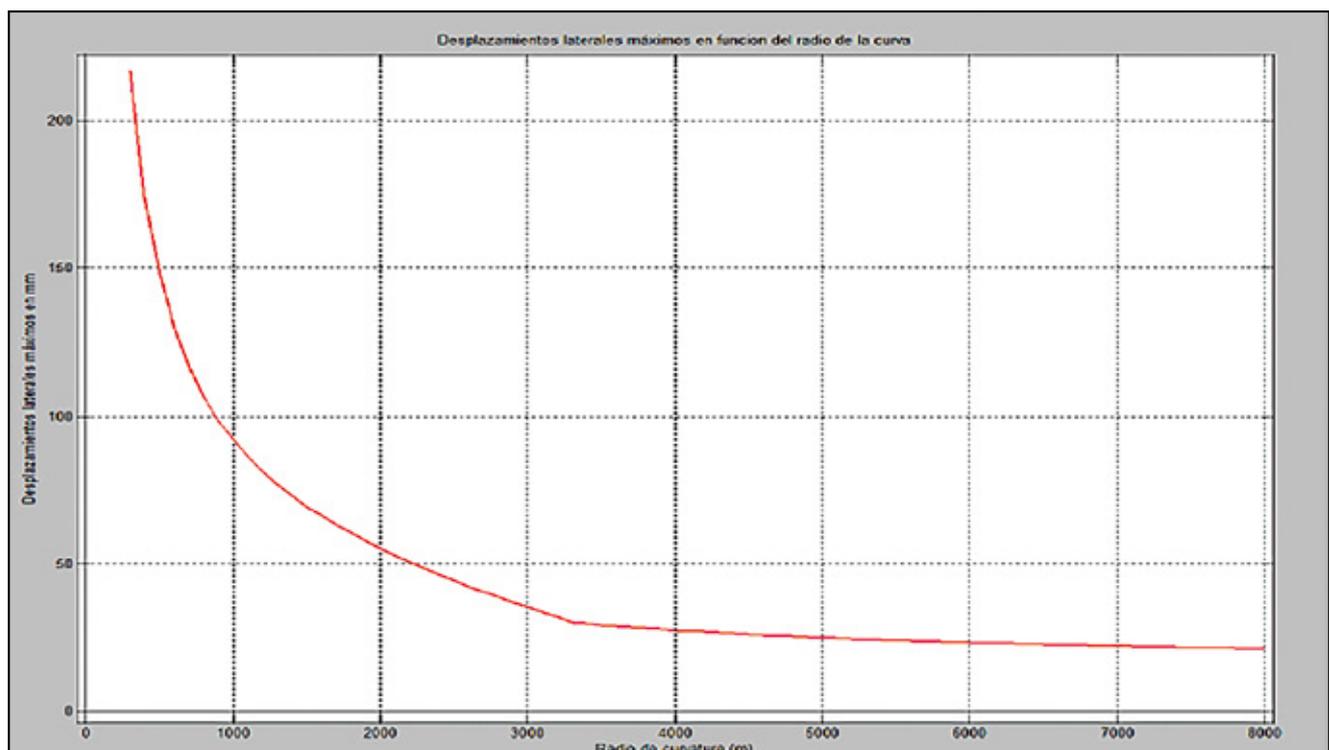


Figura 4. Desplazamientos máximos de la antena en función del radio de curvatura.

#### 1.4. Límites de funcionamiento del equipo antena-BTM embarcado

Los ensayos de verificación de la interoperabilidad del subsistema Eurobaliza, tal como se especifican en el Subset-085 "Test Specification for Eurobalise FFFIS" permiten delimitar el área de funcionamiento de un conjunto Eurobaliza / Antena/BTM asegurando una longitud de contacto en la que la antena es capaz de recibir dos telegramas completos en función del desplazamiento lateral y velocidad. Esta gráfica obtenida en el laboratorio para el caso más desfavorable se muestra en la figura 5. La zona de contacto antena/baliza está destacada en esta figura por la zona sombreada en azul claro.

Se entiende aquí por caso más desfavorable la baliza reducida de emisión más débil, la más restrictiva de las balizas, colocadas en sentido longitudinal y transversal, sobre masas metálicas, con sedimentos férricos sobre su superficie, etc.

Con objeto de poder relacionar las gráficas de las figuras 4 y 5, Se han transformado los ejes de coordenadas utilizado como eje de ordenadas (eje y) el valor del radio de curvatura. Para tener el mismo eje de abscisas (eje x) de la figura 4, transformamos los valores del eje de ordenadas de la figura 5 en los valores correspondientes del radio de curvatura para los que un tren del tipo 'C' tiene esa velocidad máxima en una curva con peralte. Esta relación está representada en la curva azul de la figura 2. La transformación entre velocidades y radios de curvatura para los que se tiene esa velocidad máxima se obtienen fácilmente invirtiendo la expresión (1) y nos vienen dados por:

$$R = \frac{v_{maxcp}^2}{3,6^2 * (1,5 + \frac{9,8 * 160}{1,435})} = \frac{v_{maxcp}^2}{33,601} \quad [4]$$

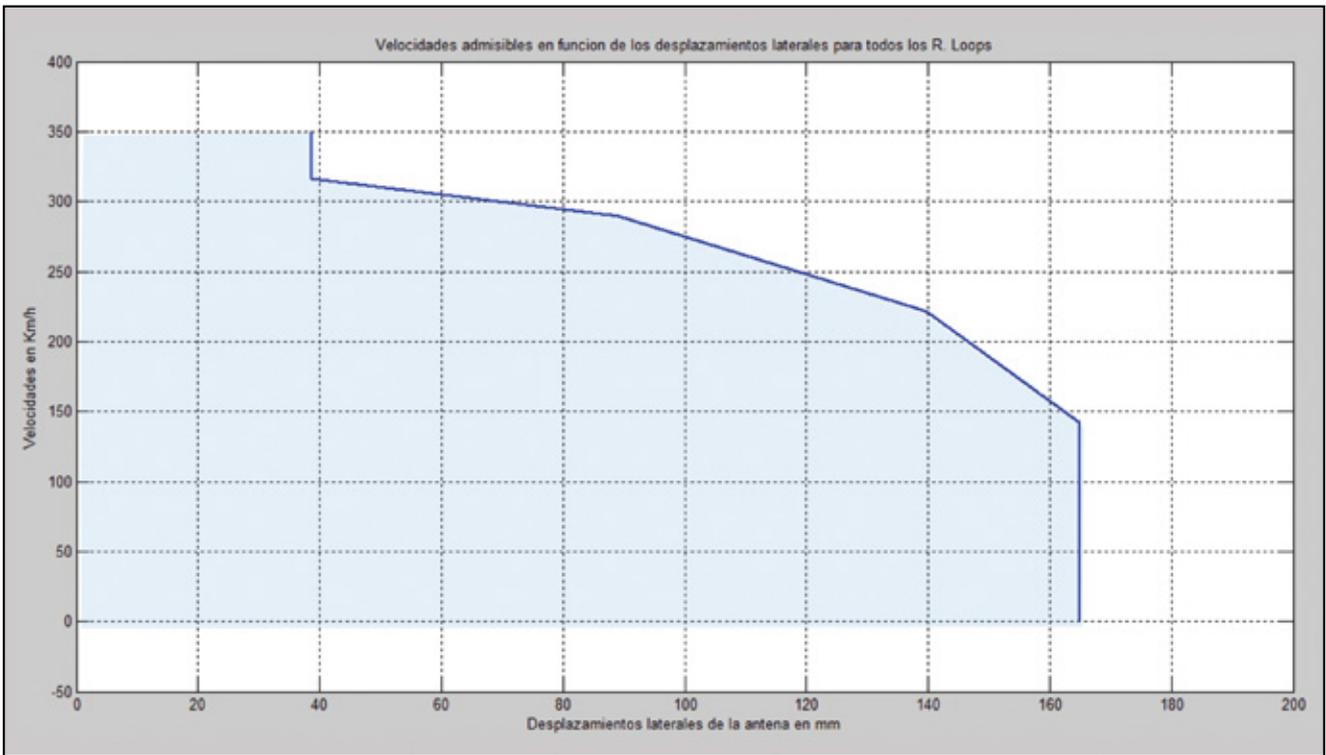


Figura 5. Desplazamientos laterales admisibles de la Antena en función de la velocidad.

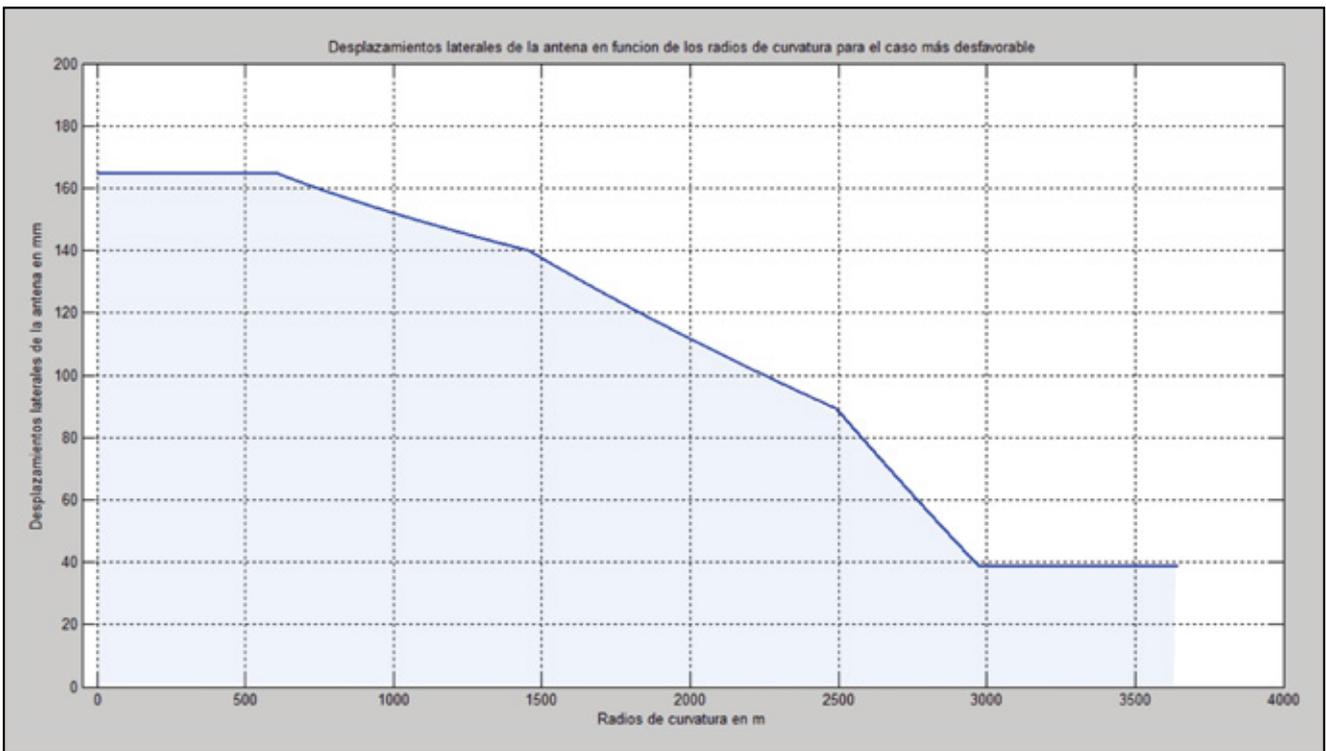


Figura 6. Identificación del área de contacto Eurobaliza/Antena en el plano Radio de Curvatura vs. Desplazamiento lateral.

Se obtiene de esta manera identificada la zona de contacto Antena/Eurobaliza en el mismo plano de coordenadas utilizado para la figura 4, tal como se representa en la figura 6.

Si representamos en este mismo plano la curva de la figura 4, que nos relaciona los desplazamientos máximos de la antena en función del radio de curvatura, tenemos las curvas que se representan en la figura 7. Para ello se utilizan las mismas unidades en el eje de ordenadas pero expresando Km/h para la curva de velocidad  $V_{maxcp}$ .

A la vista de esta figura caben los comentarios siguientes para una colocación centrada de la Eurobaliza:

- A partir de un radio de 400 m la curva de velocidades máximas en curva es compatible con la zona de contacto Antena / Eurobaliza para el caso más desfavorable, incluyendo la de colocación de la antena en el punto intermedio entre dos bogies.
- La estimación realizada sobre los desplazamientos laterales ( $d_a$  en las ecuaciones 2 y 3), puede incre-

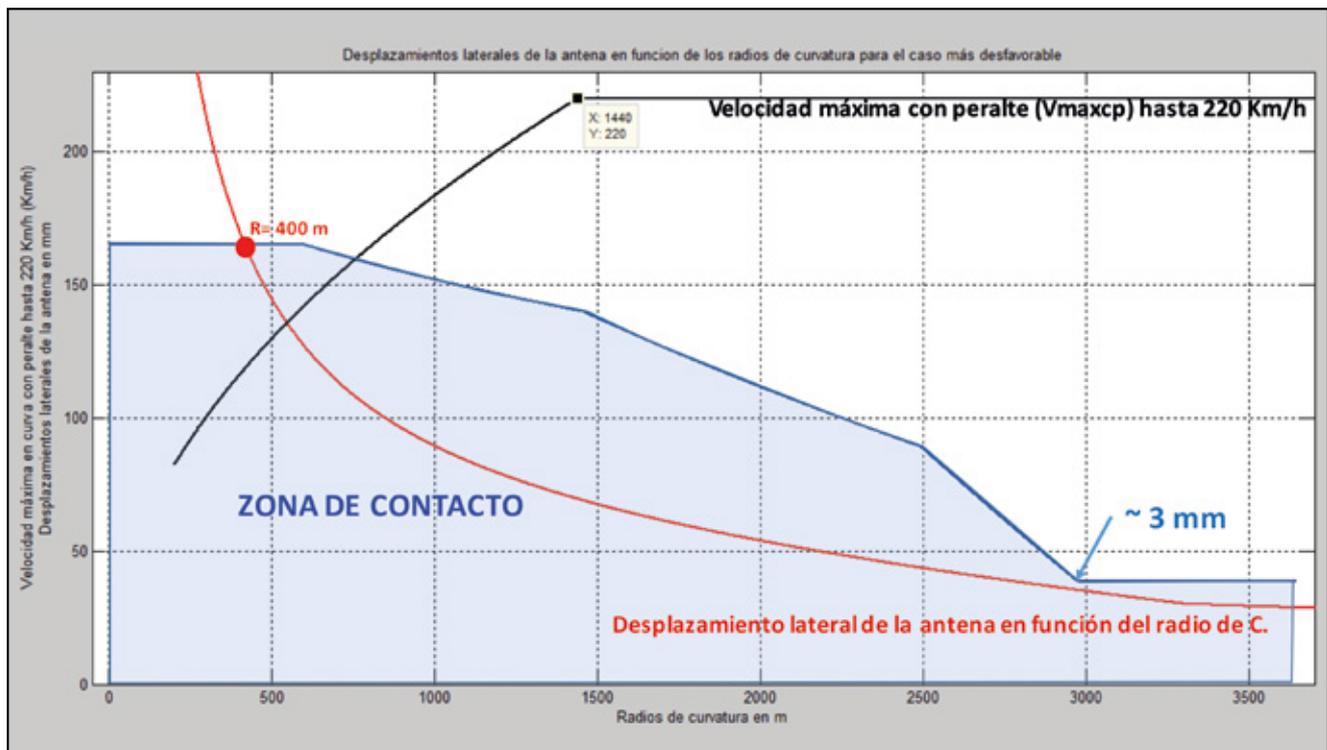


Figura 7. Verificación de la compatibilidad de la curva de velocidades máximas.

mentarse en aproximadamente 3 mm manteniendo la compatibilidad Antena / Eurobaliza.

- A partir de 1.440 m de radio, la velocidad no seguirá la evolución de la velocidad máxima en curva ya que la velocidad de la línea está limitada a 220 Km/h.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL CASO ESPECÍFICO PARA UNA VÍA DE TRES CARRILES

Las curvas características obtenidas en el apartado anterior corresponden a un caso genérico que asegura la compatibilidad Antena / Eurobaliza en todos los casos y condiciones posibles. En este apartado analizaremos el impacto de unas condiciones específicas de instalación de las Eurobalizas.

Analizaremos concretamente el impacto de una instalación de las Eurobalizas con las siguientes condiciones:

1. Elevación del margen inferior de instalación en 40 mm (Márgenes de instalación entre -93 a -153 mm) respecto al tope del rail.
2. Instalación de las Eurobalizas en sentido transversal en vez de longitudinal.
3. Consideración de un comportamiento conforme a los productos instalados y no el correspondiente a la Eurobaliza de respuesta más débil.
4. Limitación de la velocidad máxima a 220 Km/h.

Consideramos seguidamente el impacto de cada una de estas alternativas en el área de contacto Eurobaliza / Antena:

### 2.1. Elevación del margen inferior de instalación

Dentro de las especificaciones técnicas de la Directiva Europea de Interoperabilidad Ferroviaria, el Subset-036: "FFFIS for Eurobalise", en su apartado 5.6 sobre

los requisitos de instalación de Eurobalizas indica las siguientes tolerancias:

The maximum lateral deviation between the Z reference marks of the Balise and the centre axis of the track:	±15 mm	Tolerance for general applications.
Provided that the track curve radius is $\geq 1000$ m and the Maximum Permitted Speed is $\leq 180$ km/h the lateral deviation from the centre axis of the track may be:	±40 mm	Tolerance to be used only when the layout of the track does not allow for the general application tolerance.
Provided that the track curve radius is $\geq 1000$ m, the Maximum Permitted Speed is $\leq 180$ km/h and the Balise is installed 40 mm higher than otherwise allowed, the lateral deviation from the centre axis of the track may be:	±80 mm	Tolerance to be used only when the layout of the track does not allow for the general application tolerance.

El último de estos requisitos indica que si se eleva el límite inferior de instalación en 40 mm son aceptables desplazamientos laterales de 80 mm para radios de curvatura superiores a 1.000 m y velocidades inferiores a 180 Km/h.

Este requisito de instalación en altura se cumple siempre en la instalación de Eurobalizas en las vías Españolas ya que estas siempre se instalan sobre las traviesas.

### 2.2. Instalación transversal de las Eurobalizas

Las Eurobalizas estándar tienen dimensiones rectangulares. Tal como veremos más adelante, el campo magnético emitido tiene una distribución de forma elíptica con el eje mayor de la elipse orientado en la dirección del eje mayor de la Eurobaliza.

Esto supone una mayor difusión del campo magnético en la dirección transversal, lo que aumenta la tolerancia a desplazamientos transversales en el caso de instalación transversal.

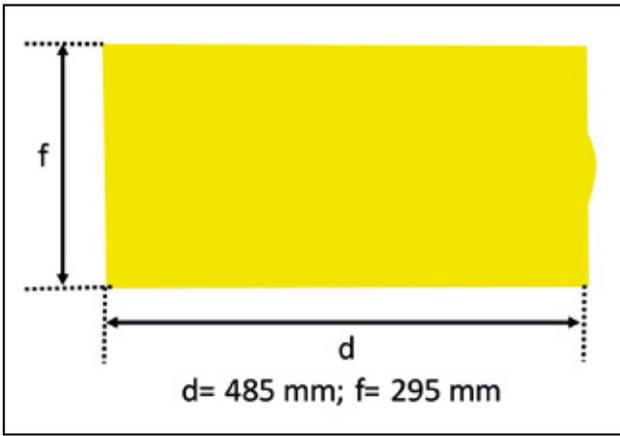


Figura 8. Dimensiones de una Eurobaliza tamaño reducido.

### 2.3. Comportamiento de los productos industriales

El Subset-085: “Test Specification for Eurobalise FFFIS”, en su apartado 4.2.4 sobre medidas de verificación de las características de entrada salida incluye la figura 9. En esta figura se indica que una Eurobaliza interoperable debe despertarse al recibir un flujo de activación inferior a  $\Phi_{d1}$  y debe responder con intensidades en su lazo de emisión comprendidas entre  $I_{u2}$  e  $I_{u3}$  a partir de un flujo  $\Phi_{d2}$ . Un producto comercial no responderá según los valores inferiores de la franja especificada sino que su respuesta se mueve siguiendo la línea intermedia de la franja especificada. Esto se ha comprobado con todos los productos comerciales de Eurobaliza ensayados en los laboratorios del CEDEX.

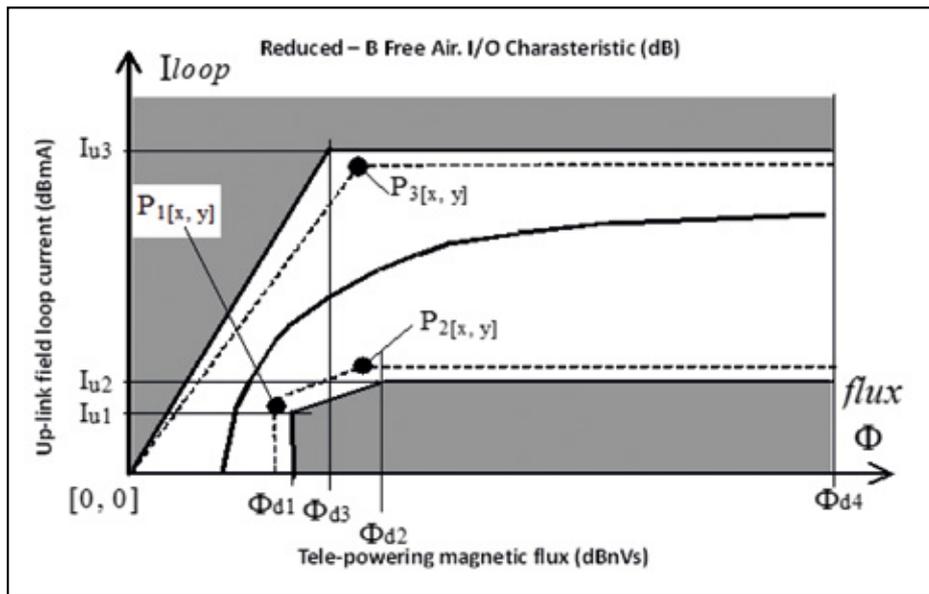


Figura 9. Definición de las características de Entrada / Salida según el Subset-085 de UNISIG.

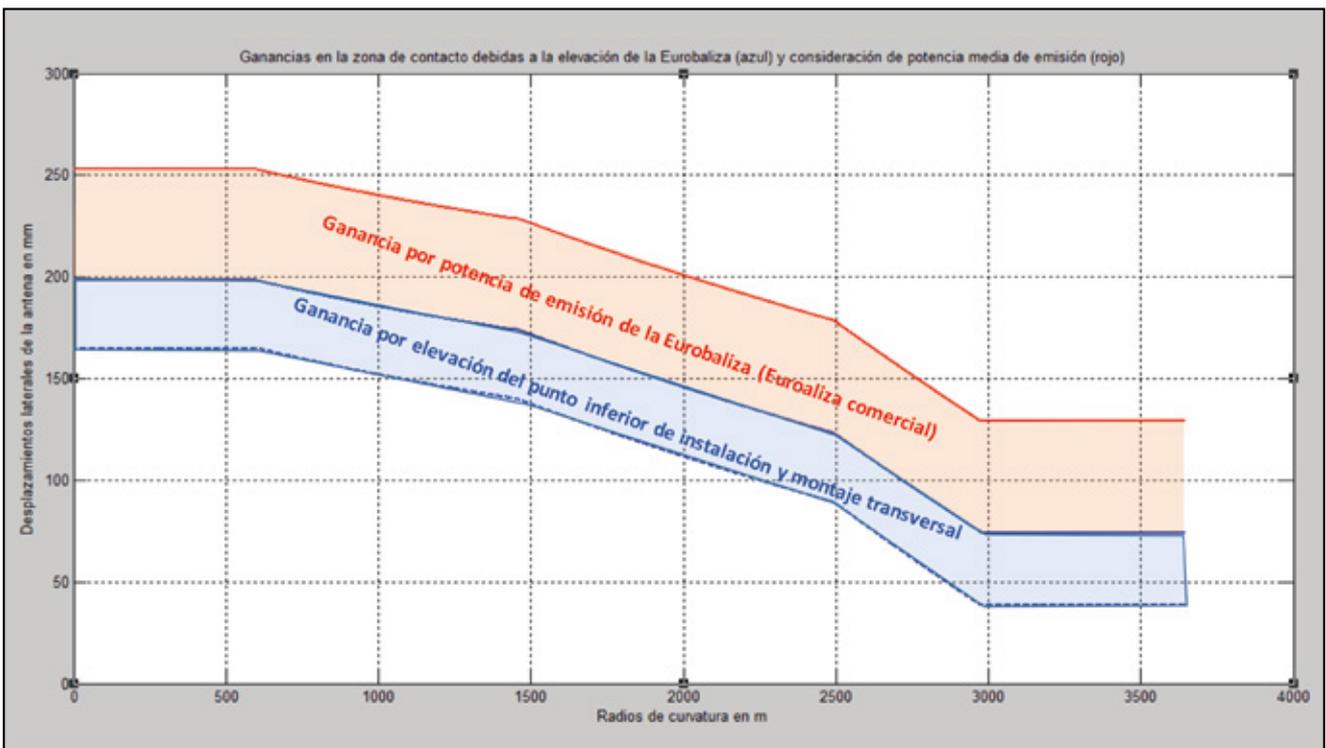


Figura 10. Resultados de los ensayos en laboratorio para la determinación del impacto en la zona de contacto.

Sin embargo, por atenernos al caso más desfavorable se ha utilizado la respuesta más débil indicada por la línea continua del límite inferior (Weakest Balise). Es pues conveniente analizar la zona de contacto para una Eurobaliza de comportamiento medio.

Los resultados de los ensayos de laboratorio sobre el impacto en la zona de contacto cuando se analiza el comportamiento de una Eurobaliza instalada a una altura con un umbral mínimo elevado en 40 mm [entre -93mm (límite superior) y -153mm (límite inferior) respecto al tope del rail, colocada en posición transversal y con una respuesta de potencia media, se exponen en la figura 10. En esta figura se han utilizado los mismos ejes de la figura 6 con objeto de poder incluir posteriormente las curvas de desplazamientos y velocidades.

En esta figura se ha sombreado en color azul el incremento del área de contacto debido a la elevación de la baliza y su colocación transversal. Se ha sombreado en fondo rojo el incremento del área de contacto debido a una baliza con una potencia media de emisión.

#### 2.4. Limitación de la velocidad máxima a 220 Km/h

Dado que la velocidad de la línea está limitada a 220 Km/h. a partir de esta velocidad las curvas de compatibilidad mantendrán un valor constante correspondiente al radio de curvatura para el que la velocidad máxima con peralte corresponde a esta velocidad. A partir de esta velocidad ya no se necesitará representar el desplazamiento correspondiente a la velocidad máxima con peralte, ya que el equipo embarcado no superará la velocidad de la línea.

Si sobre el área de contacto ampliada por las consideraciones anteriores representamos la velocidad máxima en curva y curvas de desplazamiento, obtenemos la figura 11

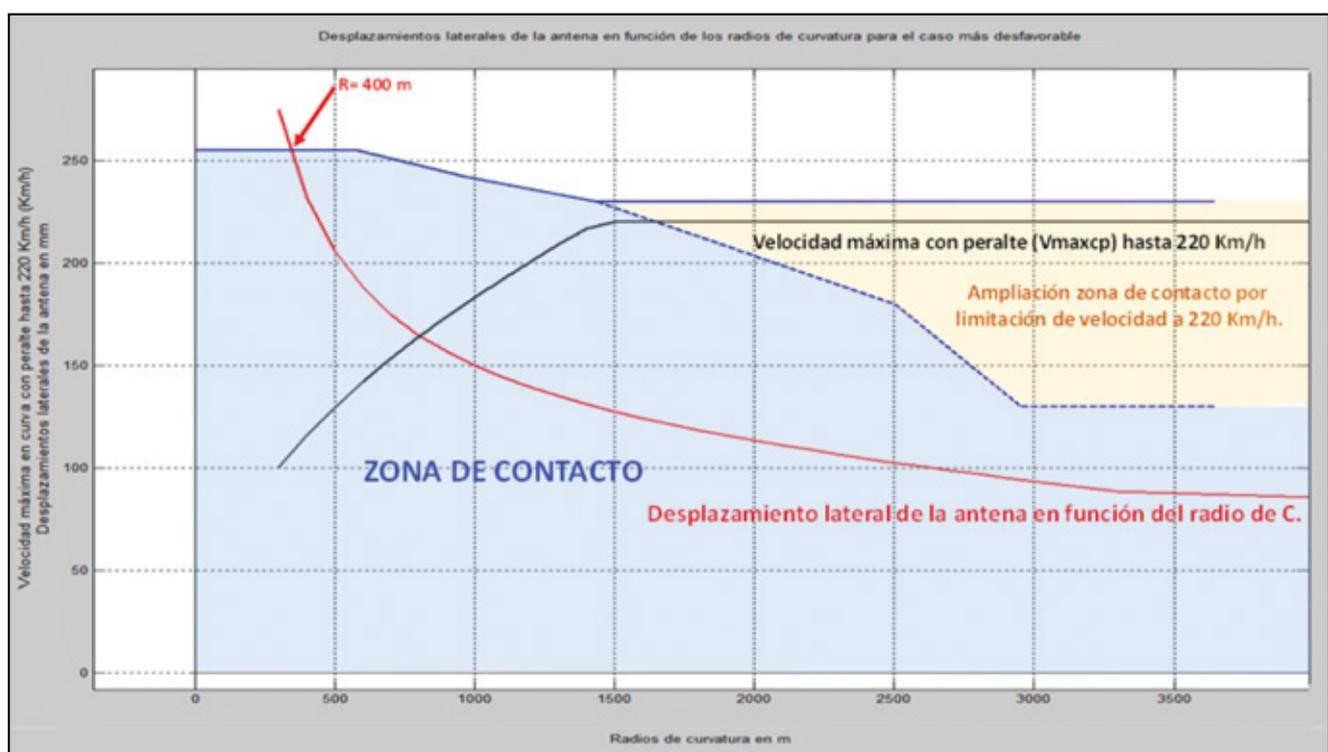
en la que los desplazamientos en función del radio de curvatura se han incrementado en 58 mm (curva roja) añadiendo un término fijo a las ecuaciones 2 y 3:

$$dt = \frac{50.000}{R} + 15 + 35 - \frac{35 \cdot (R-300)}{3.000} + 58,25 \text{ (mm)} \quad (R < 3.300 \text{ m})$$

$$dt = \frac{50.000}{R} + 15 + 58,25 \text{ (mm)} \quad (R < 3.300 \text{ m})$$

A la vista de la familia de curvas de la figura 11 se observa lo siguiente:

- La elevación de la baliza y la consideración de una baliza de potencia media amplía la zona de contacto.
- El desplazamiento de la baliza en 58 mm eleva como es lógico la curva de desplazamientos laterales en función del radio de curvatura.
- A partir de un radio de 1.440 m la velocidad máxima en curva es superior a 220 Km/h. Se mantiene consecuentemente la velocidad a un valor igual al de la velocidad de la línea a partir de este radio.
- La velocidad constante a partir de un radio de 1.440 m, amplía más la zona de contacto Eurobaliza / Antena.
- La curva de desplazamientos máximos, aun con la antena colocada en el punto más desfavorable, entra en la zona de contacto a partir de un radio aproximado de 400 m (350 m) para velocidades máximas en curvas con peralte.
- La conclusión de este análisis es que el desplazamiento de las Balizas en 58 mm en sentido transversal es interoperable para radios de curvatura superiores a 400 m y velocidades máximas en curva inferiores a 220 Km/h si se instalan las balizas con el rango inferior elevado en 40 mm y se consideran potencias medias de emisión.



**Figura 11.** Verificación de la compatibilidad de la curva de velocidades máximas para una baliza comercial reducida, elevada, en posición transversal y desplazada transversalmente en 58 mm.

### 3. VALIDACIÓN DEL ESTUDIO EN EL LABORATORIO

Para la validación del análisis del apartado anterior se ha procedido en el laboratorio del CEDEX al estudio experimental de las longitudes de contacto Baliza / Antena para diferentes desviaciones transversales relativas entre ambas.

Para obtener una longitud de contacto de 2 telegramas largos a 220km/h. Se considera el número de bits de un telegrama largo como la suma de los 1.023 bits + 77 extra bits necesarios para la decodificación, y se considera el valor de 2 telegramas como margen suficiente que tengan en cuenta otros efectos dinámicos. Como el tiempo de transmisión de un bit es de 1.77µs, el tiempo necesario para la transmisión de dos telegramas con los bits extra es de:

$$1,77 * 10^{-6} * 2 * (1.023 + 77) = 3,894 * 10^{-3} \text{ seg.}$$

Para que una antena y una baliza estén en contacto a una velocidad determinada, la longitud de contacto expresada en metros debe ser igual a este tiempo multiplicado por la velocidad expresada en m/s. Esto es, la longitud de contacto requerida a una velocidad de 220 Km/h. es de:

$$3,894 * 10^{-3} * \frac{220}{3,6} = 0,238 \text{ m}$$

#### 3.1. Método utilizado

Para medir la longitud de contacto en el laboratorio con las herramientas de referencia mencionadas en el Sub-set-085 de la directiva de Interoperabilidad, se utiliza un lazo de referencia que reproduce el campo magnético de la Eurobaliza y se coloca la antena a la altura y desplazamiento lateral deseado. La figura 12 muestra la configuración de las herramientas para la medida de la longitud de contacto

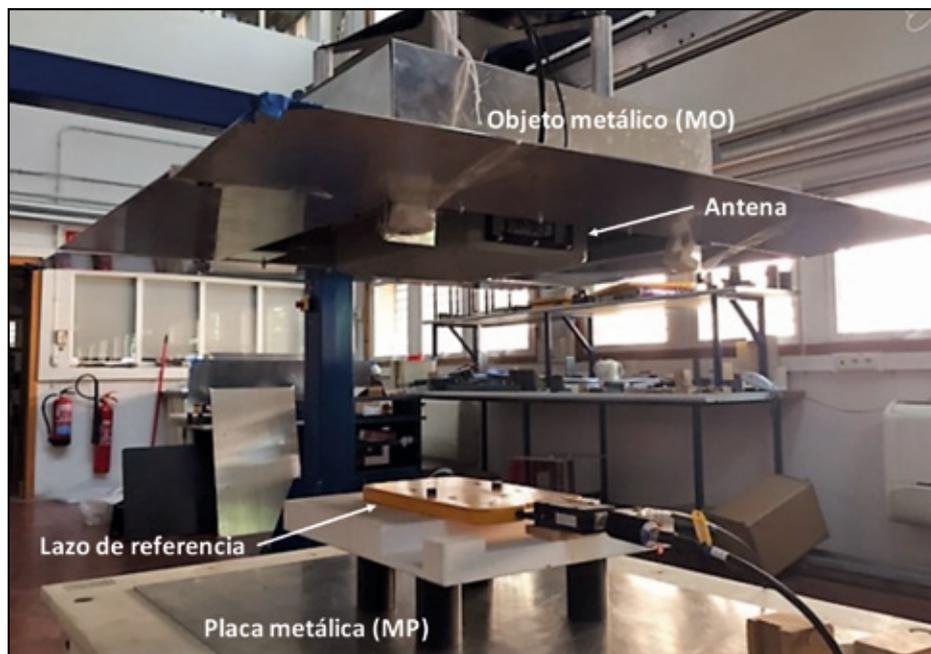


Figura 12. Configuración del laboratorio para la medida de longitudes de contacto.

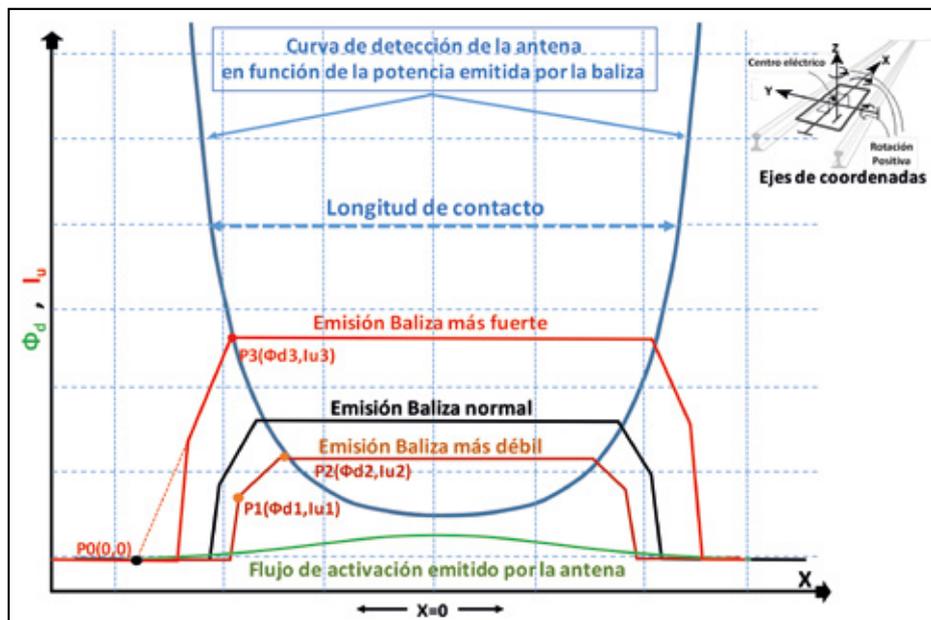
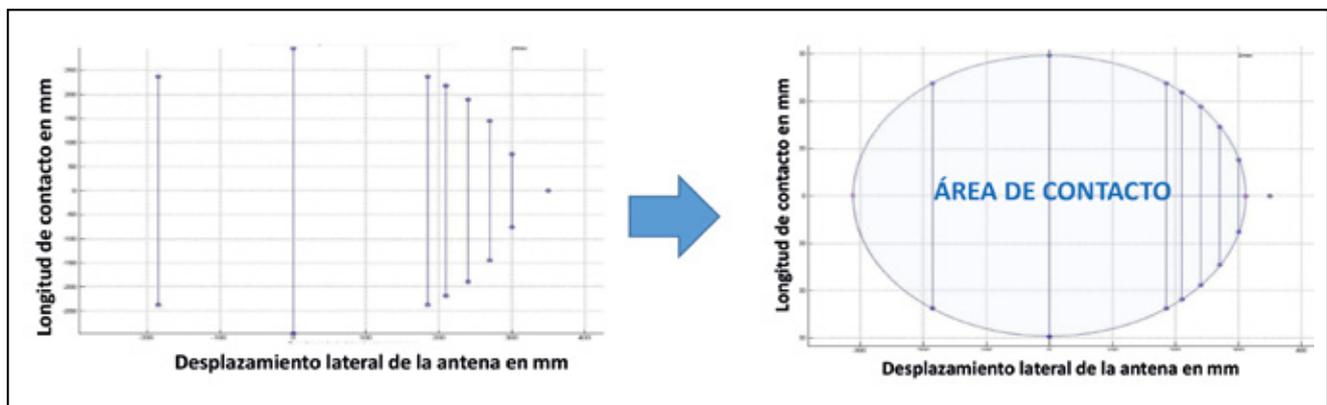


Figura 13. Concepto para la medida de longitudes de contacto.



**Figura 14.** Identificación del área de contacto Antena / Eurobaliza.

con objeto metálico (MO) envolviendo la antena y placa metálica (MP) bajo el lazo de referencia para la medida de condiciones más desfavorables.

Una vez fijada la altura y el desplazamiento lateral, se obtienen los patrones de radiación correspondientes al flujo de activación emitido por la antena que recibe la baliza y el nivel de detección de la antena para una corriente emitida por la baliza, a partir de aquí se calcula el número de telegramas recibidos por la antena en su desplazamiento longitudinal a la velocidad deseada, procedimiento verificado en los ensayos de transmisión donde se mide los telegramas decodificados por el BTM a diferentes velocidades.

Con objeto de aclarar el concepto de longitud de contacto, en la figura 13 hacemos referencia al esquema de la figura 9, que define la activación interoperable de una baliza por la emisión de la frecuencia de 27 MHz por la antena:

En esta figura, se identifican los siguientes aspectos:

1. Intensidad del flujo de activación de 27 MHz captado por el lazo de la baliza durante el desplazamiento de la antena a lo largo del eje longitudinal (Curva inferior en verde).
2. Despertar de la Eurobaliza más débil definida en la directiva. Punto P1 de la figura 9 que indica que la baliza más débil se despierta cuando abraza un flujo de activación igual a  $\Phi_{d1}$  produciendo el campo magnético de transmisión del mensaje mediante una intensidad igual a  $I_{u1}$  en su lazo (línea poligonal marrón).
3. Emisión a potencia constante de la Eurobaliza más débil. Punto P2 de la figura 9 que indica que para flujos de activación mayores a  $\Phi_{d2}$ , la Eurobaliza más débil responde con una potencia constante mediante una intensidad igual a  $I_{u2}$  en su lazo (línea poligonal marrón).
4. Nivel de emisión constante de la Eurobaliza más potente. Punto P3 de la figura 9 que indica que para flujos de activación mayores a  $\Phi_{d3}$ , la Eurobaliza más potente responde con una potencia constante mediante una intensidad igual a  $I_{u3}$  en su lazo (línea poligonal roja).
5. Comportamiento de una Eurobaliza comercial normal. Línea poligonal negra comprendida entre las dos anteriores.
6. Curva de detección de la antena. Curva azul que indica las potencias de emisión para las que la antena

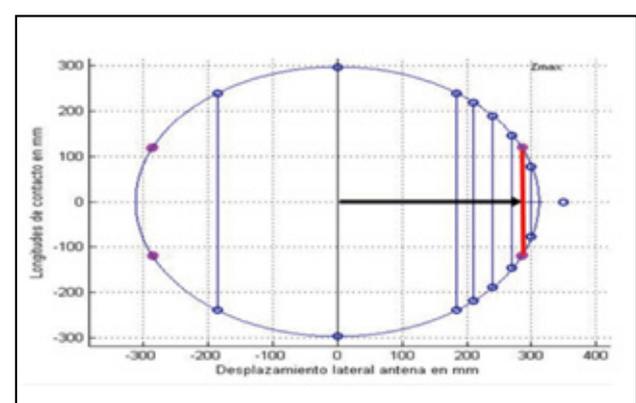
recibe correctamente los telegramas emitidos por la Eurobaliza. La distancia interior entre dos abscisas con la misma coordenada define la longitud de contacto para una emisión con la intensidad  $I_u$  en el lazo de la Eurobaliza.

Intuitivamente se pensó que el campo magnético emitido por la espira rectangular de una Eurobaliza se iría aproximando a una distribución de forma elíptica según nos alejamos en altura de la espira. Con objeto de verificar esta distribución del campo magnético, se midieron para una altura determinada las longitudes de contacto entre una antena y una Eurobaliza para diferentes desviaciones laterales y se ajustó el lugar geométrico de los extremos de dichas longitudes de contacto a una elipse utilizando un método de mínimos cuadrados. El resultado sorprendentemente exacto se muestra en la figura 14:

La identificación de este lugar geométrico es de una importancia primordial para los estudios de viabilidad de una aplicación ya que nos proporciona una información genérica para una configuración y no es necesario el estudio puntual para cada desviación.

Los extremos de los semiejes horizontales de esta elipse son los límites de contacto antena/baliza. En estos puntos la antena solo recibe mensajes a velocidad nula (tren parado). Más allá no hay contacto antena / baliza.

Si se desea determinar la desviación lateral máxima que garantice una longitud de contacto a una velocidad determinada, basta con localizar la cuerda de la elipse con esa longitud (ver figura 15).



**Figura 15.** Determinación de la desviación lateral para una velocidad determinada (220 Km/h).

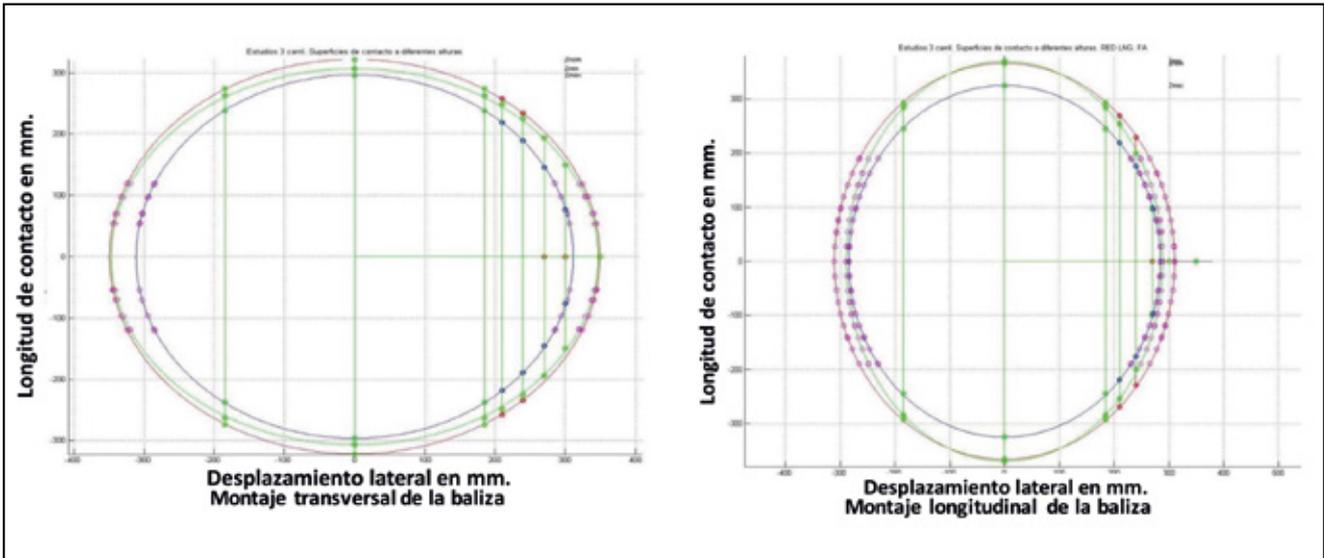
### 3.2. Casos de estudio

Se han realizado en el laboratorio estudios exhaustivos de la longitud de contacto con la baliza colocada en dirección longitudinal y en dirección transversal. En cada orientación para tres alturas (Máxima, Nominal y Mínima) y nueve velocidades (0, 50, 100, 140, 180, 220, 260 y 300 Km/h). El ajuste de las elipses que limitan las longitudes de contacto, se ofrece en la figura 16.

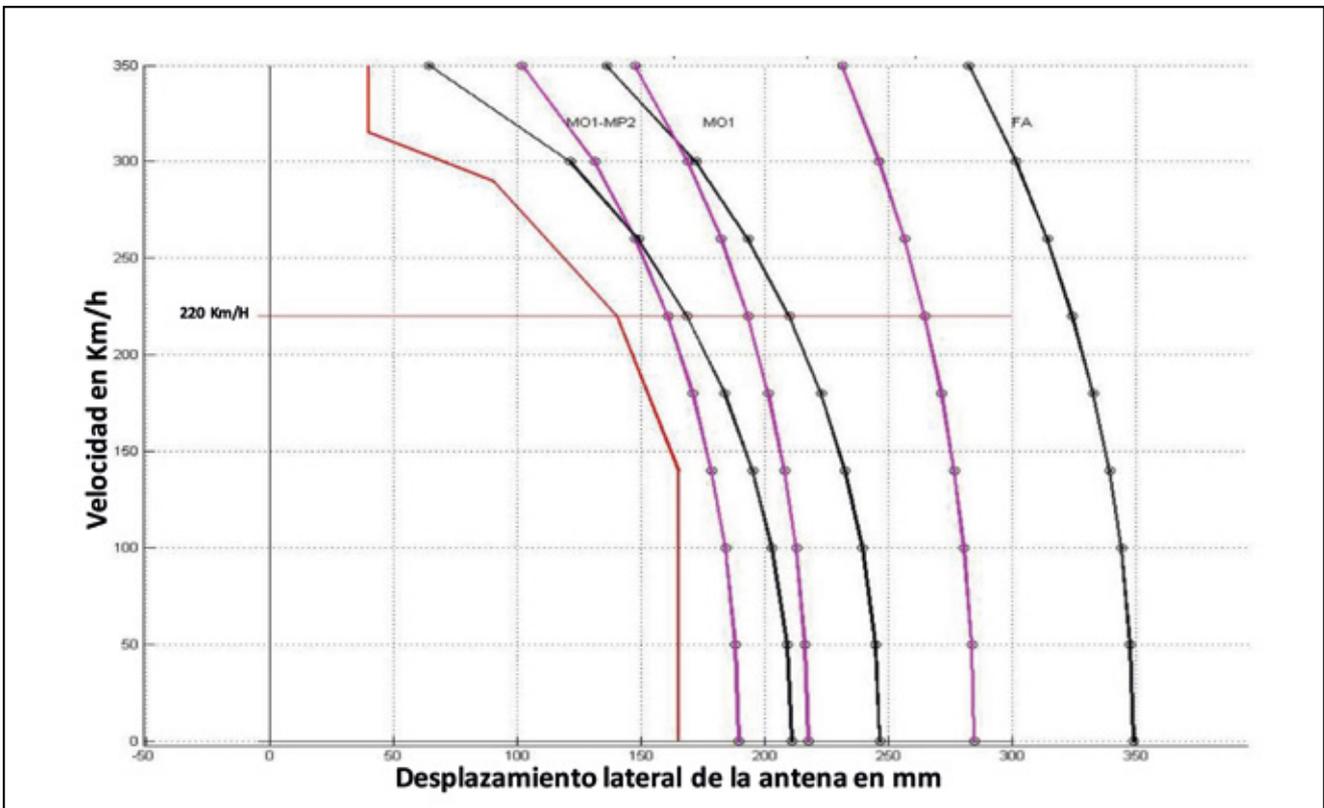
La figura 16 parece evidenciar las ventajas de un montaje transversal de la baliza con vistas a la compatibilidad con desviaciones laterales. Conociendo que

el tiempo necesario para una transmisión segura es de 3,894 ms resulta sencillo trazar las curvas que relacionan desviaciones laterales de la antena con velocidades compatibles sin más que dividir las longitudes de contacto correspondientes por este tiempo y expresarlo en Km/h.

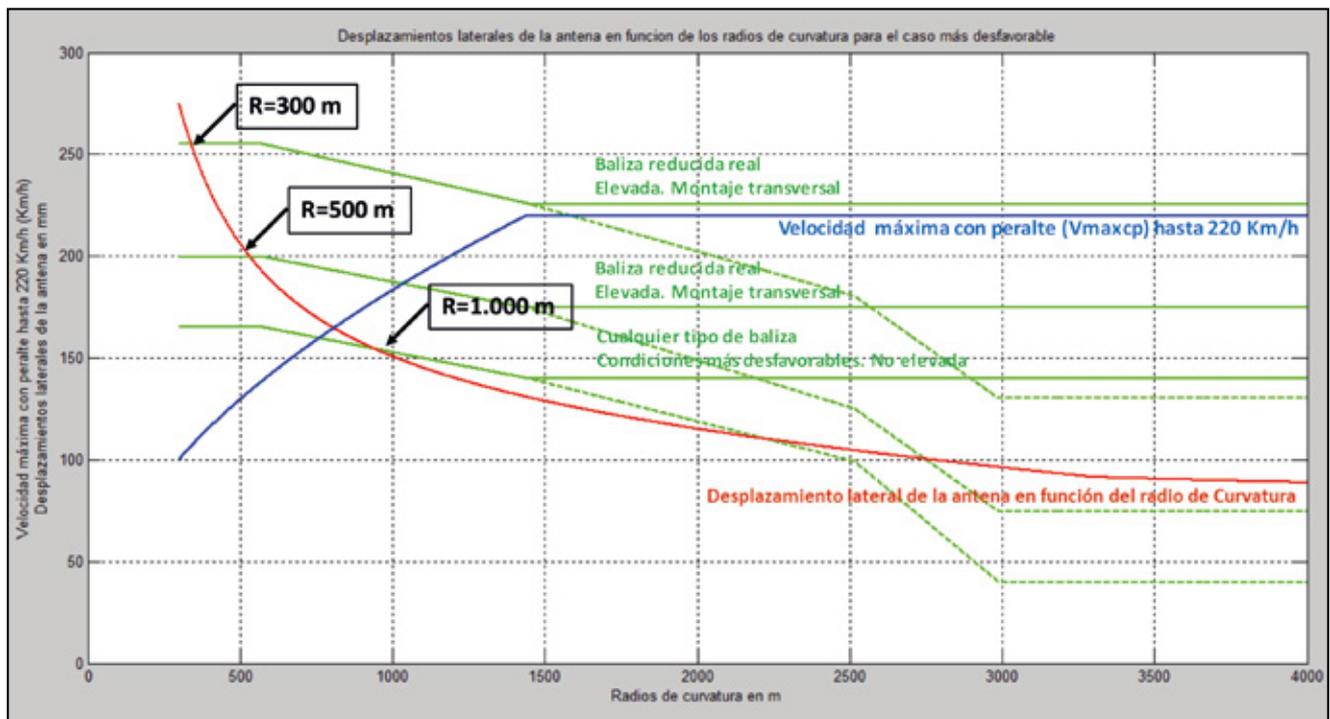
Con objeto de tener una visión completa del impacto de las diferentes alternativas de montaje de la antena y la baliza (transversal y longitudinal), se completó el estudio anterior con el análisis adicional de tres alternativas de montaje relacionadas con la presencia de masas metálicas que afectan a la transmisión:



**Figura 16.** Lugares geométricos de las longitudes de contacto en montaje transversal (Izda.) y en montaje longitudinal (dcha.) Estudio para tres alturas y nueve velocidades.



**Figura 17.** Estudio de las velocidades de contacto en función de las desviaciones laterales para tres configuraciones de masas metálicas en montaje transversal y longitudinal de la baliza.



**Figura 18.** Estudio de la compatibilidad de las desviaciones laterales para tres configuraciones de montaje de la baliza.

1. Montaje en aire libre (FA).
2. Antena rodeada de objetos metálicos (MO).
3. Baliza instalada sobre placas metálicas y antena rodeada de objetos metálicos (MO+MP). (Ver figura 12).

Los resultados de este estudio se muestran en la figura 17. Para cada alternativa de montaje, la colocación transversal de la baliza corresponde a la curva en negro y la colocación longitudinal corresponde a la curva magenta.

Este estudio evidencia el fuerte impacto que tienen las masas metálicas en la transmisión. Si bien no se puede evitar que la antena vaya montada en los bajos del tren rodeada de masas metálicas, debe evitarse en lo posible el montaje de las balizas sobre estructuras metálicas. En lo referente al emplazamiento longitudinal o transversal de la baliza son evidentes las ganancias en tolerancia a las desviaciones laterales que aporta el montaje transversal en aire libre. En presencia de masas metálicas esta ganancia se mantiene hasta ciertos límites de la velocidad. Límites que sobrepasan siempre la velocidad de la línea, que es de 220 km/h. Esto aconseja el montaje transversal de la baliza.

Con objeto de poder relacionar las conclusiones de este estudio con los radios de curvatura, se aplicó a las curvas Desplazamiento-Velocidad el cambio de coordenadas expuesto en el apartado 1.4 y ecuación (4) para poder relacionar radios de curvatura con desplazamientos laterales admisibles.

El estudio final, que se expone en la figura 18, se centró en los aspectos más significativos con mayor impacto en la transmisión, a saber: Conjunto Antena/BTM más restrictivo en los casos más desfavorables de masas metálicas y:

1. Baliza real reducida y elevada en montaje transversal.
2. Baliza más débil reducida y elevada en montaje transversal.
3. Baliza más débil sin elevar.

Como se observa, los puntos de corte de las curvas de desplazamiento lateral (antena-baliza) admisible con la curva de

desplazamiento lateral de la antena del tren con la baliza desplazada se van desplazando hacia Radios de curvatura menores a medida que imponemos las condiciones de vía del Tercer Carril.

### 3.3. Conclusiones derivadas de los ensayos de laboratorio

De este estudio podemos extraer ya ciertas reglas de ingeniería para el Tercer Carril, considerando que la línea tiene que ser interoperable para cualquier tren:

1. Considerando las siguientes condiciones de instalación del Tercer Carril:
  - Velocidad máxima permitida 220km/h.
  - Baliza desplazada lateralmente 58mm respecto al centro geométrico de ambos anchos.
  - Weakest balise. Baliza más débil.

Se obtienen los siguientes requisitos de interoperabilidad válidos para cualquier tipo de baliza (longitudinal o transversal) y debris. La vía es interoperable siempre que se instalen en Radios de curvatura  $\geq 1000\text{m}$ , y la velocidad sea limitada a:

- $1000\text{ m} \leq R \leq 1500\text{m}$ . La velocidad  $V \leq 5.79\sqrt{R}$  km/h ( $R=1000\text{m} \Rightarrow 180\text{km/h}$ ).
  - Para  $R \geq 1500\text{m}$ , la velocidad  $V \leq 220\text{km/h}$
  - Para  $300\text{ m} \leq R \leq 1000\text{m}$ . Se requiere duplicar las balizas.
2. Si además se impone como condición de instalación en el Tercer Carril las siguientes:
    - Baliza Reducida en montaje Transversal.
    - Baliza elevada 40mm, esto es, rango de instalación en condiciones nominales (-153,-93)mm, respecto al tope del rail.

La vía es interoperable para cualquier tipo de debris siempre que se instalen en radios de curvatura  $\geq 500\text{m}$ , y la velocidad sea limitada a:

- $500\text{ m} \leq R \leq 1500\text{m}$ . La velocidad límite en km/h es función del radio  $V \leq 5.79\sqrt{R}$  km/h.
  - Para  $R \geq 1500\text{m}$ , la velocidad límite es  $V \leq 220\text{km/h}$ .
- Si se considera la condición adicional de que no se instalarán balizas en los tramos en los que existan objetos metálicos en vía, la vía es interoperable para todo Radio de Curvatura  $R \geq 300\text{m}$ .
  - Solo en el caso de la existencia de objetos metálicos en vía y en radios  $300\text{ m} \leq R \leq 500\text{m}$  se requerirá duplicar las balizas.
3. Si además se reconoce que la baliza instalada no es la "weakest balise" sino que es más fuerte.
- Baliza Real en lugar de Weakest balise.

La vía es interoperable para todo Radio de Curvatura  $\geq 300\text{m}$ , y la velocidad sea limitada a:

- $R \geq 300\text{m}$  la velocidad límite en km/h es función del radio  $V \leq 5.79\sqrt{R}$  km/h.
- Para  $R \geq 1500\text{m}$ , la velocidad límite es  $V \leq 220\text{km/h}$ .

#### 4. VERIFICACIÓN DE LAS CONCLUSIONES CON LAS PRUEBAS EN LÍNEA

##### 4.1. Criterios de instalación

Las características de la instalación de balizas para las pruebas en vía fueron las siguientes:

- En primer lugar el diseño de grupos de 3 balizas con la primera y tercera centrada, la segunda con el desplazamiento lateral, con la programación de telegramas realizada.
- Esta configuración permite instalar estos grupos de balizas en cualquier tramo de vía con cualquier radio de curvatura y velocidad en la que se desee buscar el límite de funcionalidad en desplazamiento lateral.
- La elección del tramo de vía para la experimentación fue debida a la velocidad de  $220\text{km/h}$  máxima en el tramo, que es la del tercer carril y por pasar mayor nº de trenes distintos.
- El hecho de ser un tramo en curva con radio de curvatura  $2400\text{m}/140\text{mm}$  y que el desplazamiento lateral de las antenas de los trenes hacia el interior o exterior de la curva dependen de su instalación abordo ha obligado a instalar las balizas con desplazamientos laterales hacia el exterior y hacia el interior para verificar en cualquier caso el máximo desplazamiento lateral detectado por cada tren.
- Los desplazamientos laterales de las balizas de prueba han sido  $150, 180, 210$  y  $240\text{ mm}$  tanto hacia el interior de la curva como hacia el exterior de la curva.

- Desde el 25 de Febrero de 2016 hasta el 3 de Mayo de 2016 quedaron las balizas de prueba instaladas con desplazamientos laterales hacia el interior de la curva. Desde el 4 de Mayo de 2016 hasta el 8 de Junio de 2016 se instalaron con desplazamientos laterales hacia el exterior de la curva.
- Los trenes que circulan por dicho tramo clasificados por fabricante de la eurocabina son :
  - ALSTOM.....: S100 - S100F
  - ANSALDO.....: S120 - S121
  - BOMBARDIER: S130
  - SIEMENS.....: S103 - S112



**Figura 19.** Grupo de tres balizas con la central desplazada hasta  $240\text{ mm}$ .

##### 4.2. Verificación de la instalación

Una instrumentación precisa permitió medir la instalación en vía de las balizas desplazadas y se obtuvo el siguiente resultado:

- Instalación nominal en altura de las balizas en torno a  $-123\text{mm}$  (de centro eléctrico a tope del rail).
- Desplazamientos laterales del centro eléctrico de las balizas respecto al centro geométrico de la vía en torno a  $150, 180, 210$  y  $240\text{mm}$ .
- Tolerancia en los desplazamientos laterales menor de  $6\text{ mm}$ .
- Tolerancia en los desplazamientos verticales menor de  $6.3\text{mm}$ .
- Tilt de la baliza respecto a la vía menor de  $1.0^\circ$ .
- Peralte de la vía de  $5^\circ$  en el tramo de ensayo.
- Con la baliza instalada a desplazamiento lateral máximo se experimenta un ligero aumento del Tilt y de la elevación en altura.

##### 4.3. Análisis de resultados

1. Balizas desplazadas hacia el interior de la curva hasta  $240\text{mm}$ , análisis desde el 26/02/2016 al 3/05/2016. Lectura de todas las balizas desplazadas de BOMBARDIER y SIEMENS. Problemas de lectura de balizas desplazadas de ALSTOM debido al soporte metálico especial que utilizaron en la prueba.

## Paso de trenes:

S103 : 2554  
 S112 : 291  
 S120 : 52  
 S121 : 1  
 S130 : 169  
 S100F: 121  
 S114 : 56

2. Balizas desplazadas hacia el exterior de la curva hasta 240mm, análisis desde el 3/05/2016 al 8/06/2016. Lectura de todas las balizas desplazadas ALSTOM, BOMBARDIER y SIEMENS. Se indica que ALSTOM al pasar las balizas desplazadas hacia el exterior de la curva sustituyó el soporte metálico especial que había dado problemas por el usual que utilizan en vía.

## Paso de trenes:

S103 : 1123  
 S112 : 86  
 S120 : 42  
 S121 : 0  
 S130 : 75  
 S100F: 57  
 S114 : 42

Teniendo en cuenta que no ha habido ninguna pérdida de baliza en las balizas desplazadas hacia el exterior de la curva, y que los errores de lectura de la baliza hacia el interior de la curva se deben exclusivamente al soporte metálico que utilizó ALSTOM en la prueba, se puede establecer el siguiente resumen final y la siguiente conclusión:

Tipo de tren	Paso de trenes totales	Velocidad máxima (Km/h)
S103	3.677	225
S112	377	225
S120	94	220
S121	1	220
S130	244	220
S100F	178	215
S114	98	215
<b>Nº total de lecturas:</b>	<b>4.669</b>	

Se han instalado en vía balizas Reducidas en montaje transversal de las compañías ALSTOM, BOMBARDIER y SIEMENS, en un tramo en curva de Radio 2400m y peralte 140mm, con desplazamientos laterales de 150-180-210 y 240mm, tanto hacia el interior de la curva como hacia el exterior de la curva, velocidad máxima limitada a 220km/h.

Han circulado por el tramo de pruebas diferentes tipos de trenes con Eurocabinas de las compañías SIEMENS (S103-1112), ANSALDO (S120-S121), BOMBARDIER (S130) y ALSTOM (S100F-S114). La velocidad máxima registrada ha sido de 225km/h. En total por cada grupo de balizas han pasado 4.669 antenas de tren.

## 4.4. Conclusiones

Se puede concluir:

Las balizas reducidas en montaje transversal de las compañías ALSTOM, BOMBARDIER y SIEMENS desplazadas lateralmente hasta 240mm, se han leído abordo por 7 series de trenes diferentes con Eurocabinas de ALSTOM, ANSALDO, BOMBARDIER y SIEMENS a velocidad máxima de 225km/h.

Los estudios teóricos realizados, los ensayos de laboratorio y las pruebas realizadas en campo corroboran la viabilidad del uso de balizas reducidas, elevadas, en montaje transversal y desplazadas en 58,25 mm, para el control de los dos anchos de vía para radios superiores a los 500 m.

Unas sencillas reglas de ingeniería acerca de la instalación de Eurobalizas sobre estructuras metálicas permitiría la instalación de grupos de Eurobalizas desplazados para el control del tráfico en los dos anchos para radios de curvatura superiores a 300 m. En caso de que no pudiera evitarse instalación de algún grupo sobre una estructura metálica, ese grupo debería duplicarse para radios menores de 500 m. Para radios inferiores a 300 m se deben duplicar los grupos de Eurobalizas, aún en ausencia de masas metálicas.

Resumiendo:

- Los ensayos en vía con balizas desplazadas se leen con desplazamientos de hasta 240mm con velocidades de paso de tren de hasta 225km/h.
- Los ensayos de laboratorio demuestran que las balizas se pueden instalar con un desplazamiento lateral de la baliza de 58.25mm y ser leídas a 220km/h.
- Condiciones de instalación del Tercer Carril:
  - Velocidad máxima permitida 220km/h.
  - Baliza desplazada lateralmente 58mm respecto al centro geométrico de ambos anchos.
  - Baliza Reducida en montaje Transversal.
  - Baliza elevada 40mm, esto es, rango de instalación en condiciones nominales (-93, -153) mm, profundidad nominal respecto a tope del rail a -123mm.
  - En esta experimentación no se ha estudiado la baliza tamaño estándar (ANSALDO).

## 5. REFERENCIAS

Proyecto Estudios CEDEX Tercer Carril para Adif 2015-2016  
 UNISIG Subset-036 “FFFIS for Eurobalise”, versión 2.4.1  
 UNISIG Subset-085 “Test Specification for Eurobalise FFFIS”, versión 2.2.2  
 UNISIG Subset-026. System Requirements Specification. V 2.3.0.D

## 6. AGRADECIMIENTOS

Al Adif por la confianza depositada en el Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria y por facilitar los medios y el acceso necesario para la realización de las pruebas en vía.

A las compañías ferroviarias ALSTOM, BOMBARDIER y SIEMENS por su valiosa contribución en los ensayos experimentales en vía.

# Edificación y Urbanismo

Líneas de actividad

Estructuras y  
cimentaciones

Zonificación del territorio

Abastecimiento,  
saneamiento y desalación

Medio ambiente

.....

*Fields of Activity*

*Structures and  
Foundations*

*Territory Zoning*

*Water Supply, Wastewater  
Treatment and  
Desalination*

*Environment*

Más información en

<http://www.cedex.es>

**CEDEX**

Centro de Estudios y Experimentación  
de Obras Públicas