

Máster Universitario en Sistemas Ferroviarios
Trabajo de Fin de Máster

Planificación de distribución y ocupación de Eurobalizas en la línea ferroviaria entre Las Palmas de Gran Canaria y Maspalomas

Iñigo Urizar Lanz



ICAI
Universidad Pontificia de Comillas
Madrid
Julio de 2015

FICHA TÉCNICA

Autor: Urizar Lanz, Iñigo

Directora: Sierra Barba, Beatriz

Máster Universitario en Sistemas Ferroviarios (Universidad Pontificia de Comillas)

Curso académico 2014 / 2015

Planificación de distribución y ocupación de Eurobalizas en la línea ferroviaria entre Las Palmas de Gran Canaria y Maspalomas

La herramienta software ELARA proporciona la ubicación y el contenido de las Eurobalizas fijas una vez conocida la topología de una línea ferroviaria. En este trabajo se propone probar ELARA por primera vez en una línea ferroviaria completa. La línea sobre la que se probará será el proyecto de línea ferroviaria entre Las Palmas de Gran Canaria y Maspalomas. Se propone comparar el resultado proporcionado por ELARA con el resultado obtenido por los métodos tradicionales (basado en un conteo del número de señales), tanto en cuanto a número de balizas a instalar como en cuanto a contenido de las balizas.

Al tener en cuenta criterios de ocupación de balizas, es posible determinar qué balizas necesitan transmitir más información de la que son capaces de albergar, y cuántas balizas adicionales será necesario instalar. De esta manera se pretenden minimizar las diferencias entre el número de balizas previsto en la fase de proyecto, y el número de balizas instalado en la fase de obra.

Por último, se discutirán nuevas funcionalidades del software ELARA y se discute brevemente su implementación, su utilidad y su posible alcance.

Firmado:



Iñigo Urizar Lanz



Beatriz Sierra Barba

Índice

1. Introducción	3
2. Objetivos	4
3. ERTMS	5
4. ELARA	7
4.1. Criterios de ubicación de Eurobalizas	8
4.2. Ocupación de Eurobalizas	12
5. Línea Ferroviaria entre Las Palmas de Gran Canaria y Maspalomas	21
6. Estudio del número de Eurobalizas en la línea	22
7. Nuevas funcionalidades	27
8. Aportaciones	33
9. Conclusiones	35
Referencias	36

1. Introducción

En este trabajo se pretende utilizar por primera vez un software que determina la ubicación de Eurobalizas, y la ocupación de Eurobalizas fijas en una línea ferroviaria. Con ayuda de este software, se estudia la ubicación y el contenido de Eurobalizas fijas en una línea equipada con ERTMS, tanto para Nivel 1 como para Nivel 2. Posteriormente se discuten nuevas funcionalidades para dicho software, así como un estudio de cómo se podrían implementar.

Se considera el proyecto de línea ferroviaria entre Las Palmas de Gran Canaria y Maspalomas, de aproximadamente 56 kilómetros y a equipar con ERTMS Nivel 1, Nivel 2 y ASFA. Se hace un análisis de la cantidad de balizas ERTMS a instalar, su ubicación y el contenido de las Eurobalizas fijas. En fase de proyecto constructivo, normalmente se hace un primer cálculo del número de balizas necesarias mediante un conteo del número de señales de acuerdo a las reglas de ingeniería descritas en el documento [1], sin tener en cuenta su contenido. Como resultado, en ocasiones este número no coincide con el número de balizas instaladas en fase de obra, siendo necesario instalar más balizas de las inicialmente proyectadas para dar cabida a toda la información que es necesario enviar. Esto ocurre en las líneas de Nivel 1, y es especialmente acusado en el caso de que la línea tenga gran cantidad de túneles y viaductos, es decir, si la línea discurre por zonas montañosas. Esto es así porque una parte importante de los paquetes que envían las balizas en Nivel 1 contienen información acerca de los túneles y viaductos que hay en la línea. En Nivel 2 no se tiene este problema porque la información referente a túneles y viaductos se envía vía radio, como se explicará más adelante. Por este motivo se ha elegido para la realización de este trabajo una línea que discurre por una zona muy montañosa y que tiene gran cantidad de túneles y viaductos, como es la línea entre Las Palmas de Gran Canaria y Maspalomas.

Por este motivo, la empresa INECO ha desarrollado un software, llamado ELARA, que determina la ocupación de las Eurobalizas, permitiendo determinar con antelación qué balizas necesitan albergar más información de la disponible, y por lo tanto en qué puntos será necesario instalar más balizas de las inicialmente proyectadas. Este software aún no ha sido probado en una línea completa, sino que únicamente se ha testado en disposiciones sencillas como estaciones y PAETs.

Utilizando por primera vez este software, en este trabajo se estudia y se predice la diferencia entre el número de balizas inicialmente proyectadas (sin tener en cuenta criterios de contenido de las Eurobalizas) y las necesarias en fase de obra (haciendo el conteo con criterios de ocupación). Se hace este análisis tanto para la instalación de Nivel 1 como para la de Nivel 2, con el objetivo de analizar las diferencias. Para ello se compara el número de balizas predicho mediante el conteo de balizas con la información proporcionada por ELARA, cuyas funcionalidades se describirán en la sección 4. Por último, se definen nuevas funcionalidades para el software ELARA y se estudia su implantación.

2. Objetivos

Este trabajo tiene como principales objetivos los siguientes:

- Probar el software ELARA, y utilizarlo por primera vez en una línea completa. Hasta ahora este software sólo se había utilizado en dependencias sencillas como estaciones o PAETs, de a lo sumo 4 vías. En este trabajo se utiliza este software para una línea completa.
- Para una línea determinada, comparar el número de Eurobalizas calculado sin tener en cuenta criterios de ocupación, con el obtenido teniendo en cuenta dichos criterios. Esto permite determinar con mayor exactitud, en fase de proyecto, el número de balizas que serán instaladas.

En fase de proyecto, se estima el número de balizas a instalar multiplicando el número de señales por el número de balizas a instalar en cada señal (documento [1]). Debido a que la capacidad de las balizas (el número de bits que pueden transmitir) es limitada, en ocasiones es necesario instalar un mayor número de balizas para transmitir toda la información necesaria.

En este trabajo, se dará una estimación del número de balizas a instalar teniendo en cuenta su ocupación.

- Discutir posibles nuevas funcionalidades de ELARA, estudiando su implementación.

3. ERTMS

En este capítulo se da una breve introducción al sistema ERTMS. ERTMS son las siglas de “European Railway Traffic Management System”, en castellano “Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario”. Es un sistema de protección de tren que nació con el objetivo de contribuir a eliminar las fronteras ferroviarias existentes en la Unión Europea. A principios de los años 90 cada país europeo tenía su sistema de protección de tren, lo que, junto a otras restricciones técnicas (ancho de vía, electrificación, gálibo o señalización, por poner algunos ejemplos) hacía imposible la circulación de trenes a través de las fronteras entre estados de la Unión Europea. En ese momento la Unión Europea se plantea como objetivo eliminar las fronteras (ferroviarias) entre países para permitir la circulación de trenes con origen y destino en cualquier país de la Unión y de esta manera lograr que el ferrocarril gane competitividad frente a otros medios de transporte. A esta capacidad de un subsistema de intercambiar información y funcionar en cooperación con otros subsistemas diferentes se le llama interoperabilidad. El ERTMS busca la interoperabilidad del sistema ferroviario europeo. En este contexto se creó un “Grupo de Usuarios” (EEIG), que junto con los suministradores de señalización, definieron las especificaciones de un sistema interoperable. Dicho sistema se llama ERTMS, y desde el año 1.993 se ha desarrollado una estrategia de implantación en la Red Ferroviaria Europea. Actualmente el ERTMS es un estándar interoperable que está en servicio en miles de kilómetros de la red europea y existen planes de implantación en los principales corredores ferroviarios. El ERTMS está compuesto por un equipamiento de vía y un equipamiento embarcado. El equipamiento de vía tiene como función interpretar el estado de las señales (información que obtiene a través de un interfaz con el enclavamiento) y transmitirle esa información al equipamiento embarcado. Debe transmitir, entre otras cosas, información referente a la velocidad máxima en cada tramo, el límite de la autoridad de movimiento o el gradiente que tiene la vía en cada punto. El equipo embarcado supervisa de manera continua la velocidad del tren. Para ello, recibe la información enviada por la vía y la utiliza para calcular límites de autoridad de movimiento, curvas de frenado, velocidades máximas, y otras magnitudes importantes. En cuanto al medio de transmisión de la información, se distinguen varios niveles.

Nivel 1: En líneas equipadas con ERTMS Nivel 1 la información se transmite a través de balizas instaladas en la vía. La transmisión es puntual (el tren sólo puede recibir información al paso por una baliza) pero la supervisión es continua, es decir, el equipo embarcado supervisa continuamente magnitudes como la velocidad del tren o la distancia hasta el fin de la autoridad de movimiento.

Nivel 2: En líneas equipadas con ERTMS Nivel 2 la información se transmite vía radio, a través de un elemento llamado RBC (Radio Block Center). El RBC recoge información del enclavamiento y la envía al tren vía radio. El protocolo radio que se utiliza para la transmisión es una variante del GSM llamado GSM-R. En Nivel 2, la comunicación entre el tren y el RBC es continua y la supervisión que realiza el equipo embarcado también lo es.

Adicionalmente, se prevé la futura existencia de un Nivel 3, basado en el concepto de cantón

móvil, pero todavía no está implementado en ninguna línea y por ese motivo no lo discutiremos a lo largo de este trabajo.

Es importante mencionar que en Nivel 2, a pesar de que la mayoría de la información es enviada a través del RBC, sigue siendo necesario instalar balizas en la vía por dos motivos principales. En primer lugar, el equipo de odometría de a bordo del tren necesita resetearse cada cierta distancia. La medida que proporciona este equipo tiene un determinado error, proporcional a la distancia recorrida. De acuerdo con la norma [4], este error tiene que ser menor a $5 \text{ m} \pm 5\%$ de la distancia recorrida. El error se resetea al paso por un grupo de balizas, donde el tren puede reposicionarse. Para evitar que este error tome un valor demasiado alto, es preciso que en Nivel 2 haya balizas de relocalización cada cierta distancia. El otro de los motivos es que hay cierta información de Nivel 2 que no puede ser enviada por RBC y tiene que ser enviada por baliza.

Otra característica del ERTMS es que utiliza dos tipos de balizas: balizas fijas y balizas conmutables. Las balizas fijas envían siempre la misma información, la cual tienen programada. La información que envían no depende del estado de la señalización, suele ser información fija referente a la infraestructura como por ejemplo los gradientes o las velocidades máximas de cada tramo. Por otra parte, las balizas conmutables permiten enviar información diferente en función del estado de la señalización. En ese tipo de balizas se suele enviar información como la longitud de la autoridad de movimiento o limitaciones temporales de velocidad. No obstante, en vías equipadas con Nivel 2 la mayor parte de esta información se envía por RBC, por lo que la información que va en balizas es muy diferente, y mucho más reducida. Típicamente, en Nivel 2 se envía por baliza información para proteger movimientos que el tren puede efectuar en situaciones en las que no está conectado por radio con el RBC, como movimientos de maniobras o movimientos en situaciones degradadas (modo Staff Responsible).

4. ELARA

ELARA es una herramienta software desarrollada por INECO para la planificación de distribución y ocupación de Eurobalizas fijas en una línea equipada con el sistema ERTMS, tanto en Nivel 1 como en Nivel 2. Permite determinar el número de Eurobalizas fijas necesarias en la línea con mayor precisión. El principal objetivo de esta herramienta es minimizar las diferencias de equipamiento en fase proyecto y en fase de obra, es decir, estimar con mayor precisión, en fase de proyecto, el número de Eurobalizas fijas necesarias. ELARA permite determinar la ocupación de las Eurobalizas fijas, es decir, proporciona información acerca de qué paquetes deben ir en cada baliza y cuántos bits ocupan dichos paquetes. En caso de que ELARA prevea una ocupación de la baliza superior al 100 %, será necesario instalar más balizas para transmitir toda la información.

Otros objetivos de ELARA son mejorar el contenido de los proyectos, indicando la ocupación y el contenido previsto de cada Eurobaliza, y el contrastar las previsiones con las ofertas presentadas por los contratistas. Una de sus características principales es que ha sido desarrollado para los proyectos de Alta Velocidad de ADIF, por lo que está adaptada a las características de estos proyectos, como por ejemplo el hecho de exigir que el sistema ASFA esté instalado como sistema de respaldo a los niveles de ERTMS. ELARA toma como input una hoja Excel que describe la topología y las características de la línea. Los datos del proyecto más relevantes que se deben introducir en dicha hoja Excel son:

1. PK inicial.
2. Longitud.
3. Descripción de todas las vías con su PK inicial, su longitud, la denominación de la vía (su número), el orden en el que aparecen visualmente en pantalla las líneas que representan las vías, si es principal o apartada, su dirección (Nominal o Reverse) y su velocidad máxima.
4. Descripción de todos los desvíos con su PK absoluto, su PK de destino (que da información de su longitud), su vía de origen, su vía de destino y su velocidad de paso por directa y por desviada.
5. El sistema de protección de tren que lleva la línea. En caso de que el proyecto esté dividido en tramos, cada uno de ellos con un sistema de protección diferente, se debe introducir para cada tramo su PK de origen, su longitud, y los sistemas de protección que aplican en cada tramo con su prioridad correspondiente (por ejemplo, en caso de que la mitad de la línea esté equipada con ERTMS Nivel 1 y la otra mitad con ERTMS Nivel 2 y Nivel 1 de respaldo). Se debe introducir siempre ASFA como último sistema de respaldo para que el programa funcione correctamente.

6. Las características de la infraestructura (condiciones de vía) que afectan al sistema ERTMS. Dado que el sistema ERTMS permite informar al maquinista del paso por túneles, viaductos y zonas neutras (entre otras características de la infraestructura), en Nivel 1 dicha información debe enviarse por baliza y por lo tanto hay que introducir dicha información como input del ELARA para que el programa la distribuya entre las balizas. Para cada condición de vía hay que introducir su nombre, su tipo (túnel, viaducto o zona neutra), su PK de inicio y su longitud, así como a qué vías afecta. Si no se indica nada en el apartado de vías, por defecto la condición de vía se aplica a todas las vías que estén definidas en ese PK.
7. Un apartado correspondiente a Edificios, otro correspondiente a Telecomunicaciones y otro correspondiente a Comunicaciones Tren. Para este proyecto estos apartados no son relevantes y no se han rellenado. El programa ELARA utiliza esta información para representarla en la tira de vía de la línea.
8. Información de las señales. Se deben describir todas las señales que haya en el proyecto indicando su nombre, su tipo (Avanzada, Entrada, Salida o Bloqueo), su PK, la vía en la que están situadas y la dirección en la que aplican (Nominal o Reverse). Un ejemplo de esta pestaña se puede ver en la figura 1.
9. Información de gradientes. Para determinar las curvas de frenado, el equipo de a bordo debe disponer de información acerca de los gradientes de la línea, y en Nivel 1 esta información debe de ser enviada por baliza. Por ese motivo uno de los inputs del ELARA es la información relativa al gradiente. Se debe dividir la línea en tramos de gradiente constante y, para cada tramo se debe indicar su PK de inicio, su longitud y su pendiente en milésimas (con su correspondiente signo), así como a qué vías aplica. En caso de no rellenar el apartado correspondiente a las vías, por defecto se aplica a todas las que estén definidas en ese PK.

Tomando esta información como entrada, ELARA lleva a cabo tres tareas principales. En primer lugar, dibuja un esquema de la tira de vías donde viene reflejada toda la información que se ha introducido. Después, ubica las Eurobalizas con respecto a las señales de acuerdo a los criterios de ubicación de balizas dados en las reglas de ingeniería de ADIF [1], y que se describirán en el apartado 4.1. Ésto viene mostrado en la figura 2. Por último, determina qué paquetes deben ir en cada baliza de acuerdo también a las reglas de ingeniería de ADIF (tal y como se describirá en el apartado 4.2) y determina la ocupación de la Eurobaliza.

4.1. Criterios de ubicación de Eurobalizas

En este apartado se describen las reglas para la ubicación de Eurobalizas tanto para Nivel 1 como para Nivel 2, tal y como vienen descritas en el documento [1]. En un grupo de balizas asociado a una señal, las balizas fijas siempre se colocan en la posición más cercana a ésta. La separación mínima entre Eurobalizas debe de ser de 5 m, y la máxima de 12m. Dos Eurobalizas pertenecientes a grupos diferentes deben estar separadas como mínimo 15 metros. En Nivel 1, las balizas se colocan siguiendo los siguientes criterios:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
45	S1/4	SS	17,228	4	Reverse				
46	S2/3	SS	17,338	3	Reverse				
47	S2/1	SS	17,338	1	Nominal				
48	S2/2	SS	17,338	2	Nominal				
49	S2/4	SS	17,338	4	Nominal				
50	E1	SE	17,791	1	Reverse				
51	E3	SE	17,791	2	Reverse				
52	E'1	SA	19,291	1	Reverse				
53	E'3	SA	19,291	2	Reverse				
54	194	SB	19,291	1	Nominal				
55	192	SB	19,291	2	Nominal				
56	205	SB	20,501	1	Reverse				
57	208	SB	20,501	1	Nominal				
58	207	SB	20,501	2	Reverse				
59	206	SB	20,501	2	Nominal				
60	217	SB	21,710	1	Reverse				
61	219	SB	21,710	2	Reverse				
62	E'4	SA	21,710	1	Nominal				
63	E'2	SA	21,710	2	Nominal				
64	E4	SE	23,210	1	Nominal				
65	E2	SE	23,210	2	Nominal				
66	S1/3	SS	23,714	3	Reverse				
67	S1/1	SS	23,714	1	Reverse				
68	S1/2	SS	23,714	2	Reverse				
69	S1/4	SS	23,714	4	Reverse				
70	S2/3	SS	23,851	3	Nominal				
71	S2/1	SS	23,851	1	Nominal				
72	S2/2	SS	23,851	2	Nominal				
73	S2/4	SS	23,851	4	Nominal				
74	E1	SE	24,383	1	Reverse				
75	E3	SE	24,383	2	Reverse				
76	E'1	SA	25,883	1	Reverse				

Figura 1: Captura de pantalla de la hoja Excel donde se deben introducir todas las señales de la línea. Se deben rellenar pestañas similares para todos los demás campos.

1. Eurobalizas de pie de señal para las señales de **salida, entrada y bloqueo**:
2 conmutables (1 conmutable reservada para las Limitaciones Temporales de Velocidad)
1 fija
2. Eurobalizas **infill** asociadas a señales de entrada, salida y bloqueo:
1 conmutable
1 fija

La disposición se muestra en la figura 3 (las distancias pueden ser diferentes en función del tipo de señal).

3. Eurobalizas **infill** asociadas a señales de avanzada:
1 conmutable
1 fija

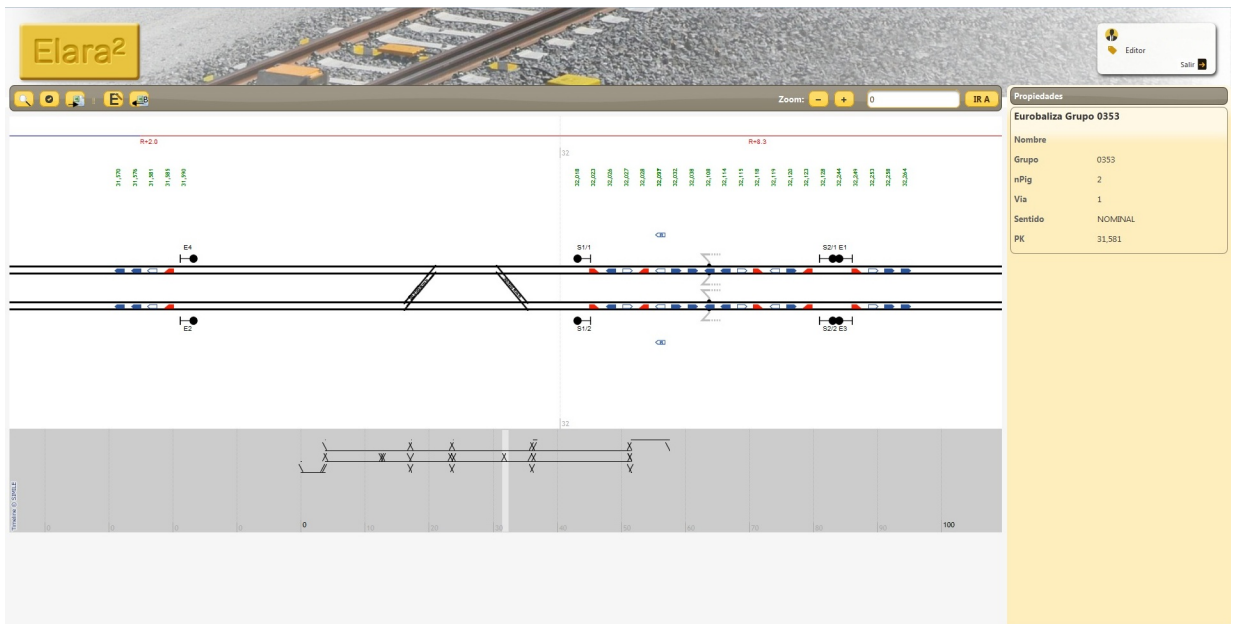


Figura 2: Captura de pantalla de la tira de vía que muestra ELARA, en la que se aprecian las vías y los desvíos, así como las señales y las balizas que ha colocado ELARA.

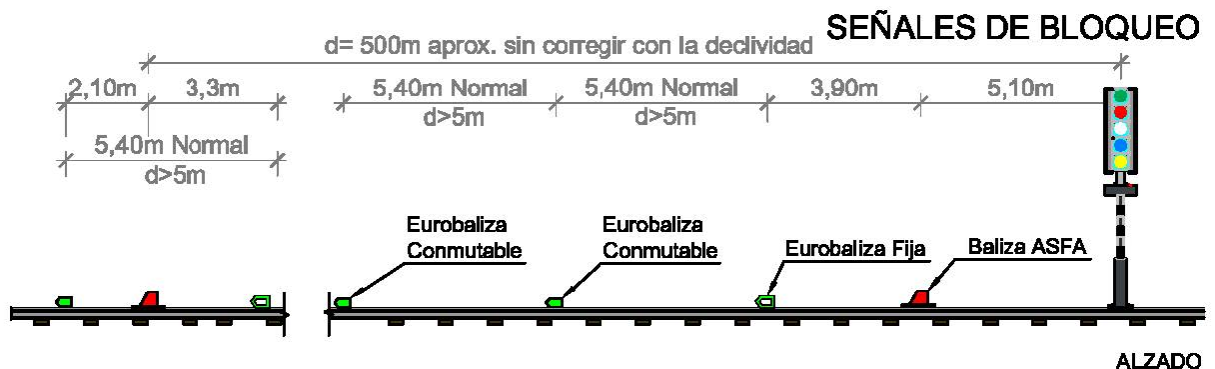


Figura 3: Balizas de pie de señal e infill de entrada, salida y bloqueo en Nivel 1. En función del tipo de señal, las distancias pueden ser diferentes.

La disposición se muestra en la figura 4.

4. Eurobalizas de **Relocalización**:

Se deben colocar Eurobalizas de relocalización donde sea necesario para asegurar que en trayecto la distancia entre dos grupos de balizas no es mayor que 1.500 metros. Esto se muestra en la figura 5.

En Nivel 2, los criterios para la ubicación de balizas son los siguientes:

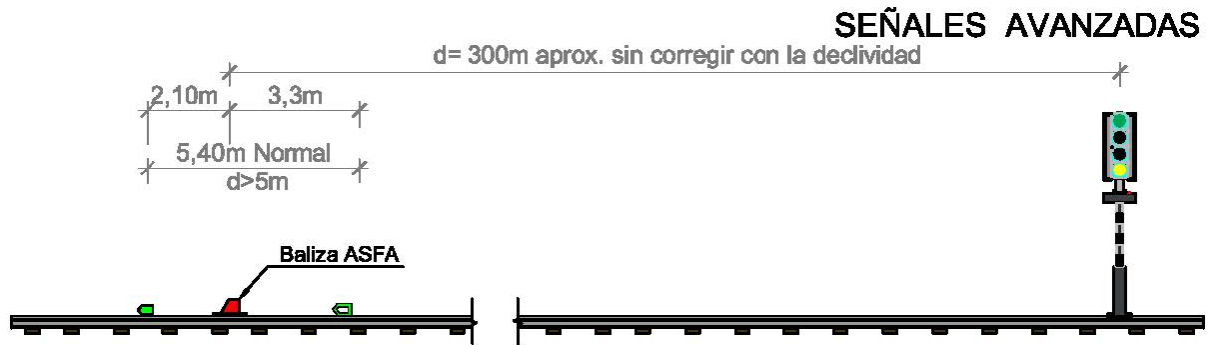


Figura 4: Balizas infill de señales de avanzada en Nivel 1.

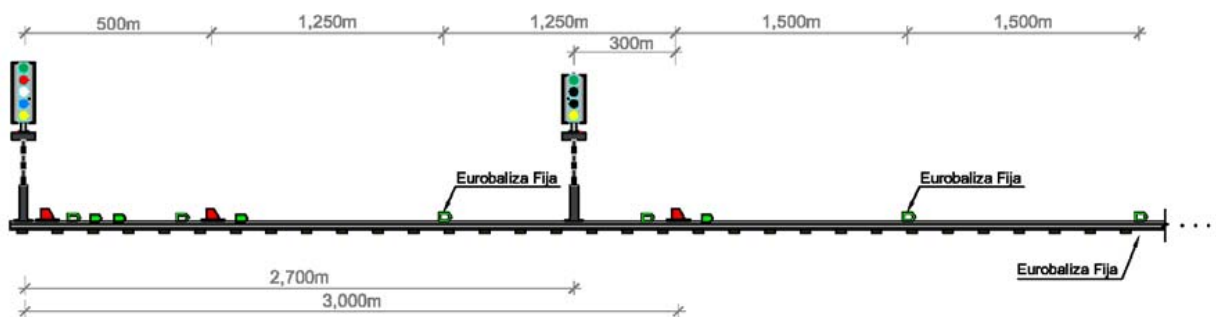


Figura 5: Balizas de relocación en Nivel 1.

1. Eurobalizas de pie de señal para las señales de **salida**, **entrada** y de **bloqueo**:
 - 1 conmutables (1 conmutable reservada para las LTV)
 - 1 fija

La disposición se muestra en la figura 6 (las distancias pueden ser diferentes en función del tipo de señal).

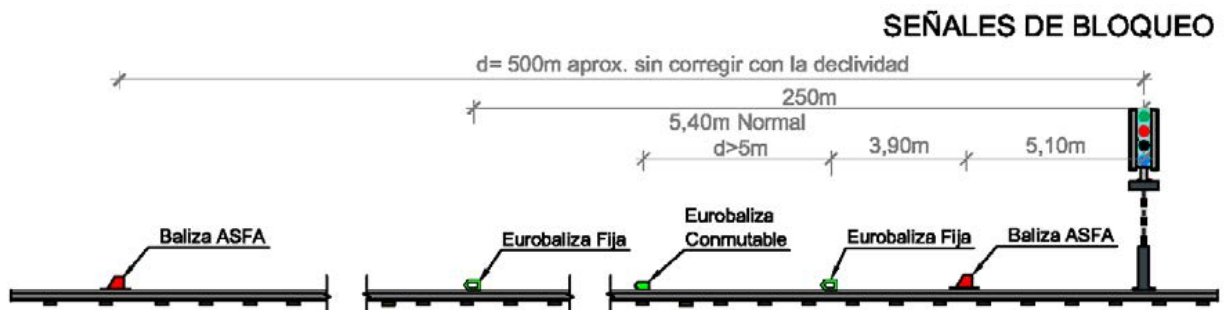


Figura 6: Balizas de pie de señal e infill de entrada, salida y bloqueo en Nivel 2. En función del tipo de señal, las distancias pueden ser diferentes.

2. Eurobalizas de **Relocalización**:
Se deben colocar Eurobalizas de relocalización donde sea necesario para asegurar que en trayecto la distancia entre dos grupos de balizas no es mayor que 1.500 metros.
3. Se ubicarán balizas a 250 m del límite de un cantón entre señales (luminosas o virtuales).
4. Eurobalizas de Handover.
5. Eurobalizas de inicio de misión. Estará compuesto al menos por 2 balizas.

No habrá grupos de balizas infill asociados a ninguna señal, por lo que las señales avanzadas no llevarán ninguna baliza asociada. Esto se muestra en la figura 7.

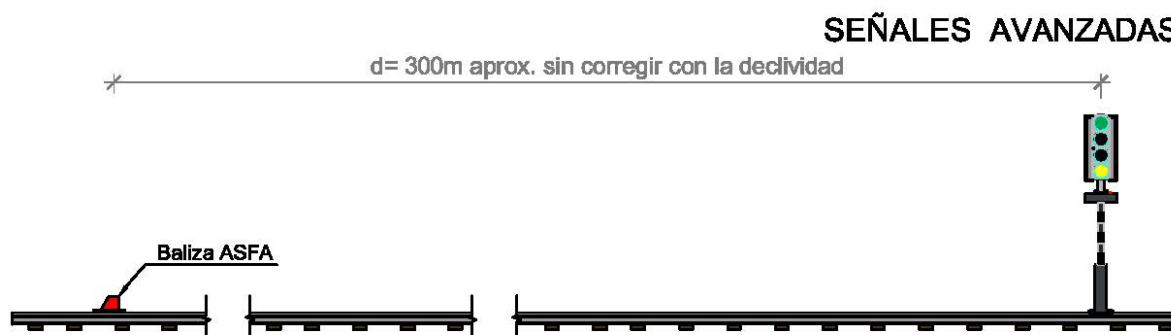


Figura 7: Las señales de avanzada en Nivel 2 no llevan asociada ninguna baliza.

4.2. Ocupación de Eurobalizas

Tal y como aparece descrito en el documento [2], la información enviada por una baliza se llama telegrama. La información enviada por un grupo de balizas se llama mensaje, y está compuesto por tantos telegramas como balizas tenga el grupo. Cada telegrama está compuesto por un conjunto de paquetes, cada uno de los cuales envía una información concreta. Cada paquete a su vez está compuesto por un conjunto de variables. Cada telegrama debe comenzar con una cabecera y terminar con un paquete de fin de información (paquete 255).

La capacidad de una Eurobaliza es de 1.023 bits (longitud de un telegrama), de los cuales 243 son bits de control (no sirven para enviar información), y los 780 restantes sirven para enviar paquetes útiles. La estructura general de un paquete es la mostrada en la figura 8.

En una línea equipada con Nivel 1, la información que debe ir en las balizas fijas es la siguiente:

1. Paquete 3: Valores Nacionales
2. Paquete 5: Enlace
3. Paquete 21: Información de perfil de gradiente

NID_PACKET
Q_DIR
L_PACKET
Q_SCALE
Resto variables del paquete

Figura 8: Estructura de un paquete Las variables que se muestran son comunes a todos los paquetes. Adicionalmente, cada paquete particular tiene sus propias variables.

4. Paquete 41: Transiciones de nivel
5. Paquete 68: Condiciones de vía
6. Paquete 72: Mensajes de texto
7. Paquete 79: Posición geográfica
8. Paquete 132: Danger for shunting information

En una línea equipada con ERTMS Nivel 2, la información de las balizas fijas será:

1. Paquete 132: Danger for shunting information
2. Paquete 42: Sesión de radio
3. Paquete 131: Orden de transición de RBC

Además de los paquetes anteriores, todas las balizas deben llevar la cabecera y el paquete 255 (End of Information). A continuación vamos a describir con detalle las variables de las que consta cada paquete, así como su tamaño. Esto es importante hacerlo ya que esta información será la usada por ELARA para determinar la ocupación de cada baliza.

Cabecera: Da información general acerca de la baliza como su número de identificación, su posición dentro del grupo, etc...

Variable	Tamaño (bits)
Q_UPDOWN	1
M_VERSION	7
Q_MEDIA	1
N_PIG	3
N_TOTAL	3
M_DUP	2
M_MCOUNT	8
NID_C	10
NID_BG	14
Q_LINK	1
Total	50

Debe ir ubicado en todas las balizas.

Paquete 255 (End of Information): Tiene una única variable, NID_PACKET. Su tamaño es **8 bits**. Es el último paquete de todas las balizas e informa de que ya no se transmitirá más información.

Paquete 3 (Valores nacionales): Sirve para especificar el valor de una serie de variables que se definen a nivel nacional en toda la red, como la velocidad para maniobras, la velocidad para On-Sight, etc. . .

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_SCALE	2
D_VALIDNV	15
N_ITER	5
NID_C(k)	10
V_NVSHUNT	7
V_NVSTFF	7
V_NVONSIGHT	7
V_NVUNFIT	7
V_NVREL	7
D_NVROLL	15
Q_NVSRBKTRG	1
Q_NVEMRRLS	1
V_NVALLOWOVTRP	7
V_NVSUPOVTRP	7
D_NVOVTRP	15

T_NVOVTRP	8
D_NVPOTRP	15
M_NVCONTACT	2
T_NVCONTACT	8
M_NVDERUN	1
D_NVSTFF	15
Q_NVDRIVER_ADHES	1
TOTAL	45+141*N_ITER

Si la línea discurre dentro de un mismo país, N_ITER=1, y el tamaño total son **186 bits**. Este paquete se debe enviar en los puntos de entrada al sistema ERTMS, como en las primeras señales absolutas de la línea (en los extremos).

Paquete 5 (Información de enlace): Proporciona la lista de balizas que el tren debe encontrarse en la ruta que tiene asignada. Permite corregir el error de odometría y detectar la pérdida de balizas.

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_SCALE	2
D_LINK	15
Q_NEWCOUNTRY	1
NID_C	10
NID_BG	14
Q_LINKORIENTATION	1
Q_LINKREACTION	2
Q_LINKACC	6
N_ITER	5
D_LINK	15
Q_NEWCOUNTRY(k)	1
NID_C(k)	10
NID_BG(k)	14
Q_LINKORIENTATION(k)	1
Q_LINKREACTION(k)	2
Q_LINKACC	6
TOTAL	69+39*N_ITER

Se ubica en todas las balizas fijas asociadas a señales desde las cuales no existan rutas divergentes, ya que en esas señales el paquete 5 va en una baliza conmutable (al ser información

que depende de la ruta establecida). Un grupo de balizas se debe enlazar con los tres siguientes grupos, ([1]), salvo los grupos situados entre una señal avanzada y una de entrada, que se enlazan hasta la señal de entrada independientemente del número de grupos que ello suponga.

Paquete 21 (Gradientes): Da información sobre el gradiente de la vía. Se divide la vía en tramos de gradiente constante y se indica cuánta longitud tiene cada tramo y su pendiente, o rampa, en milésimas. La longitud para la que se describe el gradiente debe cubrir la longitud de la MA más larga que se pueda dar en esa señal para que el equipo embarcado acepte la MA.

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_SCALE	2
D_GRADIENT	15
Q_GDIR	1
G_A	8
N_ITER	5
D_GRADIENT(k)	1
Q_GDIR(k)	2
G_A(k)	6
TOTAL	54+24*N_ITER

Se incluirá en todos los grupos de balizas asociados a señales, excepto en los casos en los que haya rutas divergentes, en cuyo caso tiene que ir en las balizas conmutables.

Paquete 41 (Transición de nivel) En él se incluye información relativa a una transición de nivel, como la distancia hasta la transición o el nivel al que el equipo embarcado tiene que transitar.

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_SCALE	2
D_LEVELTR	15
M_LEVELTR	3
NID_STM	8
L_ACKLEVELTR	15
N_ITER	5
M_LEVELTR(k)	3
NID_STM(k)	8
L_ACKLEVELTR(k)	15

TOTAL

71+18*N_ITER

Se ubicará en las primeras señales absolutas de la línea (en los extremos), para garantizar que un tren que inicia misión transita en la primera señal.

Paquete 68 (Track conditions): Este paquete da información sobre las condiciones de vía, como túneles, viaductos o zonas neutras. En este trabajo no se considera lo correspondiente a zonas neutras porque la electrificación queda fuera del alcance de este proyecto.

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_SCALE	2
Q_TRACKINIT	1
D_TRACKINIT	15
D_TRACKCOND	15
L_TRACKCOND	15
M_TRACKCOND	4
N_ITER	5
D_TRACKCOND(k)	15
L_TRACKCOND(k)	15
M_TRACKCOND(k)	4

El tamaño del paquete depende del número y el tipo de condiciones de vía. Se tiene la siguiente tabla:

Condición	Condición inicial	Cada condición intermedia	Comentario
Túnel	TOTAL BITS=65+68	68	Cada túnel, + 68 bits
Viaducto	TOTAL BITS=65+34	34	Cada viaducto, + 34 bits

El paquete 68 se ubicará en función de la información que envíe. Los criterios para su ubicación son los siguientes:

▪ **Túneles**

Si el túnel tiene una longitud menor de 200 metros, no se debe enviar ninguna condición de vía de túnel. Cuando la distancia entre dos túneles es inferior a 500 m, se considera como un solo túnel. A distancia mayor o igual a la distancia de frenado de servicio al inicio del túnel a la velocidad máxima del tramo se envía la siguiente información:

- Condición de vía “No parar: otras razones” con ejecución a la distancia de frenado de emergencia del comienzo del túnel y se mantiene hasta el comienzo del túnel.

- Condición de vía “No parar: túnel”, para ejecutarse desde el principio del túnel hasta el final del túnel.

▪ **Viaductos**

La información relacionada con la condición de vía “viaducto” solamente se enviará para puentes de longitud superior a 200 m. A distancia mayor o igual a la distancia de frenado de servicio al inicio del viaducto (a la velocidad máxima del tramo) se enviará la siguiente información:

- Condición de vía “No parar: otras razones”, con ejecución a una distancia de frenado de emergencia antes del comienzo del viaducto y se mantiene hasta el comienzo del viaducto.
- Condición de vía “No parar: Puente”, para ejecutarse desde el principio del puente hasta el final del puente.

La condición de vía “cierre de trampillas”, habitual en líneas de Alta Velocidad, no aplica en esta línea porque, al ser una línea de velocidad máxima de 160 km/h, los trenes no disponen de esta funcionalidad.

Paquete 72: Este paquete permite enviar mensajes de texto que serán mostrados al conductor en el DMI. Es habitual enviar mensajes de texto asociados a las condiciones de vía, es decir, a túneles y a viaductos.

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_SCALE	2
Q_TEXTCLASS	2
Q_TEXTDISPLAY	1
D_TEXTDISPLAY	15
M_MODETEXTDISPLAY	4
M_LEVELTEXTDISPLAY	3
NID_STM	8
L_TEXTDISPLAY	15
T_TEXTDISPLAY	10
M_MODETEXTDISPLAY	4
M_LEVELTEXTDISPLAY	3
NID_STM	8
Q_TEXTCONFIRM	2
L_TEXT	8
X_TEXT(L_TEXT)	8

Como en el caso anterior, la longitud del mensaje depende del número de túneles, viaductos y zonas neutras que haya en la línea.

Al paso por un túnel el mensaje debe de ser *Túnel PK XXX,X L YYY,Y*, de 22 caracteres, y al paso por un puente debe de ser *Puente PK XXX,X L YYY,Y*, de 23 caracteres. Por lo tanto, el número total de bits será $92+176*(\text{número de túneles}) + 92+184*(\text{número de viaductos})$. (Este cálculo se ha realizado teniendo en cuenta que $M_LEVELTEXTDISPLAY \neq 1$ y por tanto NID_STM no se aplica.)

Este paquete va ubicado junto al paquete 68, es decir, los mensajes de texto van asociados a las condiciones de vía.

Paquete 79: Este paquete transmite la siguiente información:

- Identificación del grupo de balizas que sirve como referencia, que será el mismo que envía el paquete.
- Desplazamiento en metros del grupo de balizas respecto al punto kilométrico (offset).
- Aumento o disminución del punto kilométrico respecto a la dirección nominal del grupo de balizas.
- Punto kilométrico.

Las variables de las que está formado son:

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_SCALE	2
Q_NEWCOUNTRY(k)	1
NID_C (k)	10
NID_BG	14
D_POSOFF	15
Q_MPOSITION	1
M_POSITION	20
N_ITER	5
Q_NEWCOUNTRY(k)	1
NID_C (k)	10
NID_BG(k)	14
D_POSOFF(k)	15
Q_MPOSITION(k)	1
M_POSITION(k)	20
TOTAL	81

Los criterios para la ubicación de este paquete son los siguientes: El paquete se enviará periódicamente para la relocalización del tren a intervalos de cómo máximo 10 km. Se enviará también en los puntos donde haya cambios de kilometración. Se enviará siempre un paquete de posición geográfica a la salida de las estaciones. En caso de que sea posible, se enviará en todas las señales de salida. En caso de que no haya espacio disponible, se podrá enviar en el siguiente grupo de balizas que se encuentre en la vía, siempre que esté como máximo a 2 km de distancia de la señal de salida.

Paquete 132 (Danger for Shunting): Este paquete envía una orden de trip (frenada de emergencia) en caso de que el tren se encuentre en modo “shunting” (maniobras).

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_ASPECT	1
TOTAL	24

Este paquete se envía en las balizas de pie de señal de las señales de bloqueo.

Paquete 42: (Sesión de radio): Ordena iniciar una sesión de comunicación con el RBC.

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_RBC	1
NID_C	10
NID_RBC	14
NID_RADIO	64
Q_SLEEPSESSION	1
TOTAL	113

Se envía cuando se produzca una transición de nivel a Nivel 2, es decir, junto con el paquete 41 en los extremos de la línea.

Paquete 131 (transición entre RBCs): No se programa el paquete 131 en este proyecto porque sólo hay un RBC.

Por último, es necesario mencionar que ELARA ubica también Balizas ASFA, las cuales no mencionamos ni incluimos en este trabajo.

5. Línea Ferroviaria entre Las Palmas de Gran Canaria y Maspalomas

Este proyecto consiste en una línea ferroviaria para unir la localidad de Las Palmas de Gran Canaria con la localidad de Maspalomas, separadas por una distancia de aproximadamente 56 kilómetros. El trazado ferroviario tiene una longitud de 57,517 metros. El Pk. 0.000 se encuentra en la estación de Santa Catalina, en el municipio de Las Palmas de Gran Canaria. Aunque la estación de Santa Catalina tiene 2 andenes y dos vías, el trazado hasta la siguiente estación, la de San Telmo (Pk 3.606), es de vía única. En San Telmo el trazado vuelve a ser de vía doble, habiéndose proyectado las estaciones de Hospitales (Pk 7.144), Jinámar (Pk 12.849), Telde (Pk 17.229), Aeropuerto (Pk 23.743), Carrizal (Pk 27.375), Arinaga (Pk 32.020), Vecindario (Pk 36.220) y Playa del Inglés (Pk 51.636). En este punto el trazado vuelve a ser de vía única hasta la última estación, la de Meloneras (Pk 57.517). En la estación de Vecindario se desvía un ramal en vía única hasta los talleres y cocheras (Pk 37.590). Se muestra un esquema de la línea en la figura 9. La línea estará equipada con ERTMS Nivel 1, Nivel 2 y ASFA.

En cuanto a la infraestructura, esta línea destaca por tener gran cantidad de túneles y viaductos. Esto se puede observar también en la figura 9, donde los colores verde, azul y morados representan túneles, el color gris representa viaductos y el color rojo representa trazado que discurre por la superficie. Es interesante mencionar el elemento que se ha proyectado en el Pk 51.528. En este punto, desde la vía 1 se desvía una nueva, la 2t, y desde la vía 2 se desvía la 1t. 56 metros después, en el Pk 51.584, la vía 1 muere en la 1t y la 2 muere en la 2t. Previamente, la vía 1t y la 2t se han cruzado en un elemento parecido a una bretelle. Un esquema de dicho elemento se puede ver en la figura 10.

En cuanto a las señales, se han seguido los siguientes criterios. Para cada estación, se ha ubicado una señal de entrada y una de salida en cada vía. Cada señal de entrada viene precedida por una señal de avanzada. Por último, entre estaciones se han ubicado señales de bloqueo cada aproximadamente kilómetro y medio (esta distancia varía en función del tramo). En este proyecto no se consideran señales de maniobra. Se consideran una señal de entrada y otra de salida de la zona de cocheras, y ninguna dentro de dicha zona ya que los talleres y cocheras no entran dentro del ámbito de este proyecto. Esto da un total de **30 señales de Avanzada, 27 señales de Entrada, 49 señales de Salida y 64 señales de Bloqueo**. Sumándolo todo, el número **total** de señales es de **170**.

Para la designación de las vías y las señales se han seguido los criterios descritos en el documento [5].

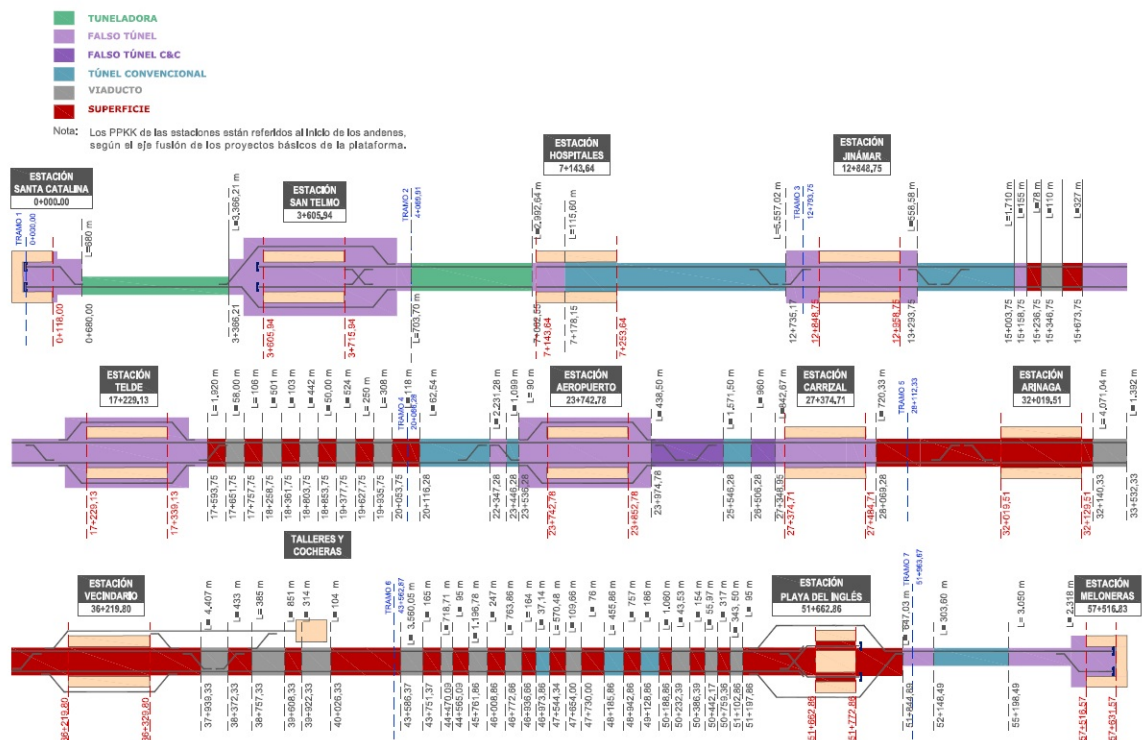


Figura 9: Esquema de la línea ferroviaria entre Las Palmas de Gran Canaria y Maspalomas. Casi todo el trazado sicurre por vía doble salvo el primer y el último tramo. Los colores verde, azul y morados representan túneles, el color gris representa viaductos y el color rojo representa trazado que discurre por la superficie.

6. Estudio del número de Eurobalizas en la línea

En este apartado se calcula el número de balizas estimado aplicando las reglas de ingeniería descritas en el apartado 4.1, y se compara con el resultado proporcionado por ELARA. El objetivo es dar una mejor estimación del número de balizas fijas a instalar teniendo en cuenta su contenido en lugar simplemente de multiplicar el número de señales por el número de balizas en cada señal. Al considerar el contenido de las balizas, podemos conocer cuáles necesitan albergar información que ocupa más espacio del disponible, y por lo tanto, en qué puntos es necesario instalar más balizas.

Nivel 1: Como se ha descrito en el apartado 3, en Nivel 1 el tren recibe toda la información por medio de balizas situadas en la vía. Tal y como se ha descrito en la sección 4.2, la información

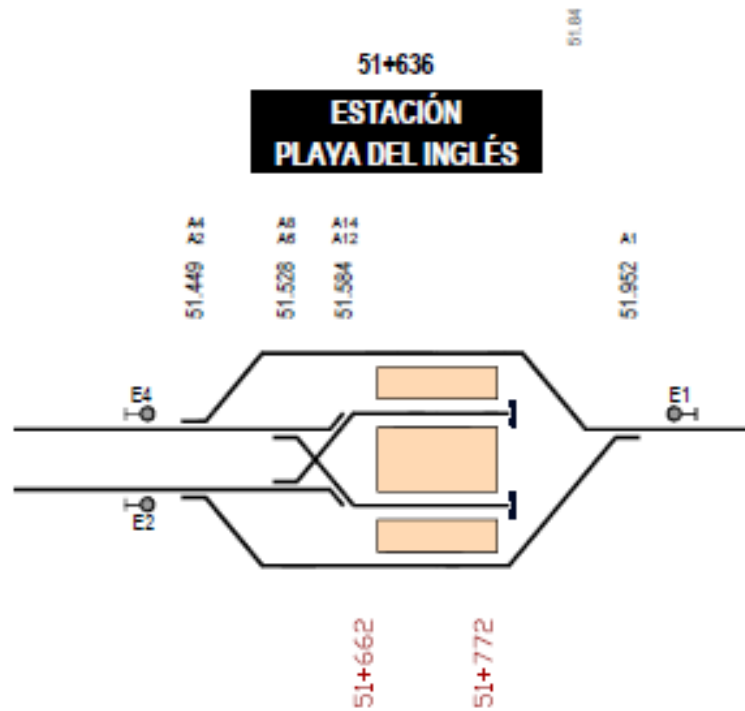


Figura 10: Representación del elemento proyectado en el Pk 51.528. La vía 1 se desvía a una nueva, la 2t, y desde la vía 2 se desvía la 1t. 56 metros después, en el Pk 51.584, la vía 1 muere en la 1t y la 2 muere en la 2t. Previamente, la vía 1t y la 2t se han cruzado en un elemento parecido a una bretelle.

que deben llevar las balizas fijas está compuesta por la **cabecera**, y los paquetes **3, 5, 21, 41, 68, 72, 79, 132 y 255**.

1. Resultado obtenido mediante aplicación de las reglas de ingeniería:

Como se ha comentado en la sección 5, en esta línea hay 30 señales de Avanzada, 27 señales de Entrada, 49 señales de Salida y 64 señales de Bloqueo, lo que da un total de 170 señales. Con los criterios para la ubicación de balizas, un conteo da como resultado **760 balizas**.

2. Resultado obtenido con ELARA:

Por otra parte, ELARA da como output una hoja Excel donde se listan todas las balizas, explicitando para cada baliza qué paquetes tiene, cuántos bits ocupa cada paquete, y cuál es el porcentaje de ocupación de la baliza. Para un buen número de balizas dicha ocupación es superior al 100%. Este es el valor añadido que aporta ELARA, permite predecir en qué casos las balizas instaladas de acuerdo a los criterios descritos en la sección 4.1 son insuficientes para transmitir toda la información necesaria, y permite estimar cuántas balizas adicionales son necesarias para transmitir dicha información.

Las balizas que necesitan transmitir información por encima del 100 % de su capacidad son las siguientes:

BG	Posición dentro del grupo	Ocupación (%)	Número de balizas necesarias
30	1	117,5	2
40	2	135,5	2
46	1	538,9	6
48	2	460,6	5
50	1	453	5
80	1	109,6	2
82	1	109,6	2
116	1	106,7	2
124	1	326,9	4
126	1	354	4
128	2	320,40	4
130	1	312,8	4
135	1	109,6	2
141	1	112,5	2
143	1	119	2
147	2	112,5	2
149	1	104,9	2
150	2	101	2
152	1	162	2
157	1	144,9	2
162	1	119,8	2
164	2	139,9	2
168	1	282,7	3
170	1	250,6	3
172	2	225,7	3
174	1	221	3
204	1	158,9	2
206	1	109,6	2
208	1	113,4	2
219	1	485,9	5
221	1	504,3	6
223	2	479,4	5
225	1	471,8	5
230	2	127,3	2
236	1	103,9	2
238	2	169,5	2
240	1	166,1	2
244	2	112,5	2
252	2	106,7	2
254	2	134,1	2
255	1	109,6	2
257	1	109,6	2

274	1	101	2
276	2	101	2
278	2	147,3	2
280	1	107,5	2
284	2	180	2
286	1	246,9	3
291	1	106,7	2
299	1	345,7	4
300	1	106,7	2
301	1	372,8	4
303	2	339,2	4
305	1	331,6	4
325	2	101	2
327	1	109,6	2
343	1	248,1	3
345	1	269,4	3
347	2	244,5	3
349	1	239,8	3
379	1	109,6	2
381	1	109,6	2
411	1	103,9	2
413	2	103,9	2
415	1	109,6	2
417	1	109,6	2
419	2	112,5	2
425	1	103,9	2
427	2	106,7	2
435	2	101	2
444	2	114,9	2
449	1	101	2
451	2	101	2
455	1	107,5	2
459	2	103,9	2
460	2	103,4	2
475	2	100,5	2
479	2	103,4	2
TOTAL			204

De acuerdo a la tabla anterior, hay 78 balizas cuya ocupación está por encima del 100 % de su capacidad. Para transmitir esa información, en lugar de esas 78 deben colocarse 204 balizas, es decir, 126 balizas más. Haciendo el conteo total, obtenemos que, teniendo en cuenta estas balizas extra halladas gracias a ELARA, la línea debe contener **892 balizas**, un **17,36 % más** de lo calculado inicialmente con un conteo manual de acuerdo a las reglas de ubicación de balizas. Para esta línea, la divergencia entre lo estimado manualmente y lo calculado por ELARA es grande debido a la existencia de muchos túneles y viaductos, información que se manda vía

baliza fija en Nivel 1.

Nivel 2: A continuación se repite el cálculo, en esta ocasión para las balizas fijas de Nivel 2. Tal y como se explica en la sección 3, en Nivel 2 gran parte de la información que recibe el tren es recibida vía radio a través del RBC. No obstante, las balizas fijas deben contener los siguientes paquetes:

- Paquete 42 (sesión de radio).
- Paquete 132 (Danger for Shunting). ELARA no lo programa porque su ubicación depende del programa de explotación de cada enclavamiento, y en esta fase del proyecto no se dispone de esa información.
- Paquete 131 (Orden de transición de RBC). En este proyecto no se instala este paquete porque hay un único RBC, y por lo tanto no hay handovers.
- Todas las balizas deben llevar la cabecera y el paquete 255.

Aplicando los criterios de ubicación de Eurobalizas para Nivel 2 descritos en la sección 4.1, obtenemos los siguientes resultados:

- **Resultado obtenido mediante aplicación de las reglas de ingeniería:** Dadas las 170 señales que hay en la línea, la aplicación de los criterios descritos anteriormente nos lleva al resultado de **420** balizas.
- **Resultado obtenido con ELARA:**
En la hoja EXCEL obtenida como output del ELARA se observa que ninguna baliza está completamente llena, por lo que el número de balizas estimadas coincide con las que se instalarán. Esto es así porque al ser Nivel 2 y enviarse la información por RBC (en particular la referente a condiciones de vía), no hay problemas con una sobreocupación de balizas.

7. Nuevas funcionalidades

En este apartado se proponen y se discuten posible nuevas funcionalidades del software ELARA con el objetivo de mejorarlo y hacerlo más completo. Las nuevas funcionalidades propuestas son las siguientes:

MEJORAS PARA EL USUARIO

- **Mostrar visualmente más elementos en la tira.** Visualizar en la tira de ELARA todos los datos que se introducen en la plantilla Excel como por ejemplo la ubicación de los edificios, elementos de electrificación, GSM-R, etc... Esta herramienta de visualización de la tira de vías es una parte muy importante de ELARA, y ampliándola se puede hacer la herramienta más útil para otros departamentos involucrados en los proyectos.
- **Input compatible con output de los de proyectos.** Programar ELARA de tal manera que el formato de los datos de entrada coincida con el formato de salida de los programas que hacen los proyectos constructivos. De esta manera se evitaría el trabajo de introducir los datos en la plantilla Excel uno a uno y ELARA ganaría en eficiencia.
- **Importar la tira de explotación desde Autocad.** En lugar de importar los datos de la línea desde una hoja Excel, esta funcionalidad permitiría importar directamente la tira desde Autocad, con todas las vías, desvíos y señales. De esta manera el interfaz gráfico sería el propio de Autocad, que es de alta calidad. También se evitaría introducir los datos de la línea a mano uno a uno a formato Excel, evitando errores y ganando eficiencia.
- **Output compatible con el input del simulador.** El grupo de ERTMS de Ineco dispone de un simulador en el cual se introducen datos de vía, balizas y un determinado contenido de balizas, y el simulador hace circular un tren por esa línea. El tren reacciona de acuerdo a la información recibida desde las balizas. De esta manera se estudia la reacción de un tren equipado con ERTMS ante diferentes situaciones. Los datos de la línea y las variables de las balizas se introducen a mano en el simulador. Si se implementase en ELARA la funcionalidad de programar las balizas completas, con todas sus variables, estas balizas se podrían exportar a este simulador. De esta manera el proceso de generación del escenario simulado sería mucho más rápido y eficiente, y los escenarios podrían ser más completos y más realistas.
- **Mostrar los textos en otros idiomas.** Esto facilitaría la internacionalización de la herramienta. ELARA podría mostrar los textos en el idioma del usuario tomando como base el idioma fijado en su ordenador.

NUEVAS FUNCIONALIDADES

- **Generación de paquetes completos.** En el estado actual de la herramienta, ELARA está muy cerca de crear los paquetes completos de las Eurobalizas fijas, con todas sus variables y el valor explícito de cada una de ellas. Sería muy interesante terminar de implementar esta funcionalidad, ya que permitiría completar el proceso de generación de balizas fijas.
- **Información de las balizas conmutables.** Sería interesante programar las balizas conmutables de acuerdo a unas MAs y unos itinerarios previamente establecidos para cualquier tipo de dependencia (PAETs, puntos banalizados, diferentes tipos de estaciones, etc...).
- **Aplicar las reglas de ingeniería de otros Administradores de Infraestructura.** De cara a la internacionalización de la herramienta es muy interesante que ELARA sea capaz de ubicar balizas de acuerdo a las reglas de ingeniería de otros Administradores, y no solamente de ADIF. Gran parte de las reglas serían muy similares porque son parte del estándar ERTMS.
- **Completar las funcionalidades de ubicación y de validación.** Se completarían las funcionalidades de ubicación y de validación con respecto a las reglas de ADIF, a Funciones Nacionales, y a las reglas de la ERA. Esto permitiría conocer si un determinado contenido de balizas cumple las reglas correspondientes.
- **Exportación del contenido al formato de cada fabricante.** Si es posible conocer qué sistema utiliza cada fabricante para cargar sus balizas se puede exportar el contenido a ese formato. Esto quizá pueda ser útil en escenarios futuros.

Estas funcionalidades conducirían a convertir ELARA en una herramienta muy potente para la generación y la validación de todo el contenido ERTMS de una línea. También permitiría simular el tráfico de trenes de acuerdo a esta información.

A continuación discutiremos la funcionalidad propuesta correspondiente a la información de las balizas conmutables. Al igual que como ocurría en las balizas fijas, es de esperar que esta funcionalidad sea más relevante para Nivel 1, ya que en Nivel 2 la mayor parte de la información se envía por RBC. A continuación vamos a describir la información que debe ir en cada baliza conmutable, tanto para Nivel 1 como para Nivel 2.

Nivel 1: La información que debe ir en las balizas conmutables de Nivel 1 está compuesta por los siguientes paquetes:

Paquete 12 (Movement Authority for Level 1): Informa al equipo embarcado acerca de cuál es la distancia que puede recorrer, de cuánto tiempo dispone para recorrerla, y de otros parámetros importantes como la distancia entre el fin de la autoridad y el punto de peligro. Se compone de las siguientes variables:

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_SCALE	2
V_MAIN	7
V_LOA	7
T_LOA	10
N_ITER	5
L_SECTION(k)	15
Q_SECTIONTIMER(k)	1
T_SECTIONTIMER(k)	10
D_SECTIONTIMERSTOPLOC(k)	15
L_ENDSECTION	15
Q_SECTIONTIMER	1
T_SECTIONTIMER	10
D_SECTIONTIMERSTOPLOC	15
Q_ENDTIMER	1
T_ENDTIMER	10
D_ENDTIMERSTARTLOC	15
Q_DANGERPPPOINT	1
D_DP	15
V_RELEASEDP	7
Q_OVERLAP	1
D_STARTOL	15
T_OL	10
D_OL	15
V_RELEASEOL	7
TOTAL	192+41*N_ITER

Este paquete se debe incluir en todas las señales absolutas. La longitud de la MA debe ser lo suficientemente grande como para permitir que el tren circule sin entrar en curva de frenado innecesaria. La baliza debe enviar uno u otro mensaje en función del estado de la señalización, para lo cual debe recibir los mensajes de un dispositivo llamado LEU (Lineside Electronic Unit). En todo caso, en cada momento la baliza sólo envía un mensaje, por lo que al determinar la ocupación de la baliza sólo hay que tener en cuenta un paquete 12, aquel que ocupe mayor capacidad. El número de iteraciones en el paquete depende del número de secciones que tenga el enclavamiento. En esta fase del proyecto de la línea ese es un dato que aún no podemos conocer (ya que aún no se ha diseñado el enclavamiento).

Paquete 27 (Static Speed Profile): Transmite información acerca de la velocidad máxima de la línea en cada tramo. Se compone de las siguientes variables:

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_SCALE	2
D_STATIC	15
V_STATIC	7
Q_FRONT	1
N_ITER	5
NC_DIFF(n)	4
V_DIFF(n)	7
N_ITER	5
D_STATIC(k)	15
V_STATIC(k)	7
Q_FRONT(k)	1
N_ITER(k)	5
NC_DIFF(k,m)	4
V_DIFF(k,m)	7
TOTAL	58+11*N_ITER1+28*N_ITER2+11*N_ITER3*N_ITER2

Al igual que el paquete 12, este paquete debe ir programado en todas las señales absolutas. La longitud debe cubrir toda la longitud de la MA, de lo contrario el equipo embarcado rechaza la autoridad de movimiento. En los puntos en los que existan rutas divergentes, la baliza debe recibir del LEU el paquete que debe enviar, en función de la ruta que se encuentre enclavada. El número de iteraciones dependerá del cuadro de velocidades máximas de la línea, así como de los desvíos por los que pase la ruta enclavada.

Paquete 136 (Infill location reference): Este paquete va instalado en los grupos de balizas infill, e informa de que la MA y el SSP que se recibirán a continuación tienen como punto de aplicación la señal absoluta de la que este BG es infill. Su utilidad es evitar que el tren frene hasta parada y renueve la MA en el BG de pie de señal, y permitir que la MA sea renovada con anterioridad, al paso por el grupo infill. Se compone de las siguientes variables:

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_NEWCOUNTRY	1
NID_C	10
NID_BG	14
TOTAL	48

Paquete 65 (Temporary Speed Restriction): Envía información acerca de las limitaciones temporales de velocidad que se encuentren implementadas en ese momento en la vía. Se compone de las siguientes variables:

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_SCALE	2
NID_TSR	8
D_TSR	15
L_TSR	15
Q_FRONT	1
V_TSR	7
TOTAL	71

Paquete 132 (Danger for Shunting): Este paquete evita que un tren que esté realizando maniobras salga de la zona habilitada para ello. Si una ruta está habilitada para realizar maniobras, este paquete no debe enviarse (o bien debe enviarse con un valor permisivo de la variable Q_ASPECT). Al paso por una baliza que contenga este mensaje, un tren en modo maniobras efectuará una parada de emergencia. Se compone de las siguientes variables:

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_ASPECT	1
TOTAL	24

Debe ir programado en todas las señales absolutas, así como a la salida las zonas habituales de maniobras (zonas que previamente se tienen que definir).

Paquete 137 (Stop if in Staff Responsible): Este paquete evita que un tren que está siendo conducido bajo responsabilidad del maquinista (sin supervisión completa por parte del sistema ERTMS, es decir, sin MA, SSP y Gradientes de vía) rebase una señal que muestra un aspecto restrictivo para modo SR. Al paso por una baliza que contenga este mensaje, un tren en modo SR efectuará una parada de emergencia. Se compone de las siguientes variables:

Variable	Tamaño (bits)
NID_PACKET	8
Q_DIR	2
L_PACKET	13
Q_SRSTOP	1

Debe ir programado en todas las señales absolutas. No debe enviarse si la señal muestra un aspecto permisivo para circular en SR.

Nivel 2: En Nivel 2, la información que debe ir en las balizas conmutables está compuesta por el paquete **132**, Danger for Shunting, el paquete **137**, stop if in SR, y el paquete **65**, Limitaciones Temporales de Velocidad (con el objetivo de que se apliquen en caso de efectuar un rebase de señal en rojo).

A continuación hacemos un estudio de la ocupación de las balizas conmutables en una línea. En primer lugar consideramos el caso de línea equipada con Nivel 1. Usualmente el paquete 65 (Limitaciones Temporales de Velocidad) se envía en una baliza diferente de todos los demás. Esto se hace así porque en muchas ocasiones hay que enviar varios paquetes 65, y se reserva una baliza sólo para ellos. Por este motivo consideramos que la baliza limitante, la más llena, contiene todos los paquetes descritos anteriormente excepto el 65. Nuestro análisis consiste en determinar a partir de qué valor de N_ITER es necesario instalar más de una baliza para albergar toda la información. Para ello hemos creado una hoja Excel en la que se encuentra para qué valor de N_ITER la ocupación de la baliza es superior a 1.023 bits. Esta hoja EXCEL se puede ver en la figura 11. Se ha hecho la hipótesis consistente en asumir que todos los valores de N_ITER (tanto los del paquete 12 como los del paquete 27) toman el mismo valor, lo cual es una aproximación (entre otros motivos, porque uno de los valores de N_ITER en el paquete 27 hace referencia al número de categorías de tren que van a circular por ese tramo, y no a ningún parámetro del enclavamiento). Como se observa en la figura 11, el valor máximo de N_ITER para que toda la información quepa en una baliza es 5. En caso de que el enclavamiento o las características de la línea exigiesen que N_ITER tomase un valor de 6 o superior en alguna baliza, sería necesario aumentar el número de balizas conmutables en ese punto.

En caso de que la línea se encuentre equipada con Nivel 2, sin embargo, en principio ninguna baliza conmutable presenta problemas de capacidad ya que los paquetes que deben instalarse son únicamente el **132** y el **137**, los cuales no saturan la capacidad de la baliza.

Por último, se han discutido nuevas funcionalidades de ELARA de cara a mejorar el software en futuras versiones.

9. Conclusiones

Este trabajo se compone fundamentalmente de dos partes. En la primera de ellas se utiliza el software ELARA para estudiar la ocupación de las Eurobalizas fijas en la línea ferroviaria entre Las Palmas de Gran Canaria y Maspalomas, tanto para el caso en el que se instale el sistema ERTMS Nivel 1, como para el caso en el que se instale Nivel 2. Las conclusiones obtenidas son muy diferentes en ambos casos. Mientras que para Nivel 2 la instalación de balizas fijas de acuerdo a las reglas de ingeniería de ADIF es suficiente para dar cabida a toda la información necesaria, en Nivel 1 la aplicación de dichas reglas da como resultado un número de balizas fijas insuficiente, por lo que ya en fase de proyecto podemos dar una estimación de cuántas balizas fijas extra será necesario instalar. De acuerdo con el resultado obtenido utilizando ELARA, va a ser necesario instalar 126 balizas más de las previstas aplicando las reglas de ingeniería de ADIF, hasta un total de **892** en lugar de las **760** previstas inicialmente, un 17,36 % más. Esto nos permite evitar un desacuerdo del 17,36 % entre el número de balizas fijas previstas en la fase de proyecto y el instalado en la fase de obra.

En la segunda parte de este trabajo se discuten nuevas funcionalidades para el software ELARA. Se estudia en detalle una funcionalidad consistente en incluir información acerca de la ocupación de las balizas conmutables, tanto para Nivel 1 como para Nivel 2. Se presenta un estudio para la implementación de esta funcionalidad. Para ello se estudian los paquetes que deben ir en las balizas conmutables así como su tamaño, y se estima para qué valores de algunas de sus variables el tamaño de la información a transmitir supera la capacidad de la baliza, 1.023 bits. Se obtiene como resultado que si la variable **N_ITER** toma un valor de **6** o superior una sola baliza no es suficiente para dar cabida a todos los paquetes. El valor de **N_ITER** depende fuertemente de la arquitectura del enclavamiento, por lo que en última instancia es ésta la que determina el número de balizas a instalar.

Referencias

- [1] Requisitos funcionales y Reglas de Ingeniería ERTMS Nivel 1 y Nivel 2, versión 2.4.6 (ADIF).
- [2] European Railway Agency (ERA), Subset-026, v2.3.0d, Index 04, System Requirement Specification.
- [3] Descripción de requisitos, Herramientas de distribución y ocupación de Eurobalizas fijas (ELARA), v1.0.
- [4] European Railway Agency (ERA), Subset-041, v2.1.0, Index 14, Performance Requirements for Interoperability.
- [5] Norma para la designación de vías y componentes de la superestructura en la red, Julio de 2005, ADIF.