



## **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

*Sistemas de localización e integridad para ERTMS  
nivel 3*

**Juan Guisández Méndez**

Julio 2016

Ficha técnica.....	6
Memoria.....	7
1. Introducción y estado del arte .....	8
1.1. El sistema ERTMS.....	8
1.1.1. Nivel 1 .....	9
1.1.2. Nivel 2.....	11
1.1.3. Nivel 3.....	12
1.2. Sistemas de integridad y localización tradicionales.....	13
1.2.1. Bloqueo telefónico.....	13
1.2.2. Los circuitos de vía.....	16
2. Objetivos del trabajo.....	20
2.1. Identificar las soluciones actuales en desarrollo.....	20
2.2. Comparar las diferentes soluciones identificando puntos fuertes y débiles.....	20
2.3. Proponer cual se considera que es la mejor solución.....	20
3. Tareas.....	20
4. Planificación.....	21
5. Desarrollo.....	22
5.1. Información y evaluación de los distintos métodos.....	22
5.1.1. Localización de trenes.....	22
5.1.1.1. Método 1.....	22
5.1.1.2. Método 2.....	24
5.1.1.3. Método 3.....	28
5.1.2. Integridad del tren.....	30
5.1.2.1. Método 1.....	30
5.1.2.2. Método 2.....	31
5.2. Comparación de las soluciones.....	34
5.2.1. Sistemas de localización.....	34
5.2.2. Sistemas de integridad.....	36
5.3. Propuesta de método óptimo.....	37
5.3.1. Sistema de localización.....	37
5.3.2. Sistema de integridad.....	38
6. Conclusiones.....	41

7. Aportaciones para futuros trabajos..... 42

Ilustración 1: Sistemas ATP en Europa.....	8
Ilustración 2: Logo de los fabricantes de ERTMS .....	9
Ilustración 3: Operación en nivel 1 (subset 026 ERTMS) .....	10
Ilustración 4: Operación en nivel 1 con Infill (subset 026 ERTMS).....	11
Ilustración 5: Operación en nivel 2 (subset 026 ERTMS) .....	12
Ilustración 6: Operación en nivel 3 (subset 026 ERTMS) .....	13
Ilustración 7: Libro de Bloqueo de RENFE .....	14
Ilustración 8: Bloque entre estaciones.....	14
Ilustración 9: Registros de bloqueo telefónico .....	15
Ilustración 10: Circuito de vía libre (Ferropedia).....	17
Ilustración 11: Circuito de vía ocupado (Ferropedia).....	17
Ilustración 12: Distancias con cantón fijo y móvil.....	19
Ilustración 13: Planificación de tareas .....	21
Ilustración 14: Baliza ERTMS .....	22
Ilustración 15: Aviso de zona de maniobras.....	23
Ilustración 16: Logo Proyecto GALILEO .....	25
Ilustración 17: Constelación de satélites GALILEO .....	26
Ilustración 18: Túnel ferroviario.....	28
Ilustración 19: Sistema CBTC.....	29
Ilustración 20: Mazo de cables.....	30
Ilustración 21: Tren en curva.....	33

Tabla 1: Comparación sistemas de localización .....	35
Tabla 2: Comparación sistemas de integridad .....	37
Tabla 3: Comparación sistemas de localización .....	37
Tabla 4: Comparación sistemas de integridad .....	39

**Ficha técnica.**

**Trabajo fin de máster – máster en Sistemas Ferroviarios**

**Datos del alumno:**

Juan Guisández Méndez.

**Datos de los directores del trabajo:**

Beatriz Sierra Barba.

Silvia Domínguez Fernández

**Título del Trabajo de fin de máster:**

*“Sistemas de localización e integridad para ERTMS nivel 3”*

**Programa Cursado:**

Máster universitario en Sistemas Ferroviarios curso 2015-2016

**Resumen de las principales ideas desarrolladas:**

El objetivo de este proyecto es analizar las soluciones disponibles actualmente para implementar en un futuro cada vez más próximo un sistema de nivel 3 de ERTMS puro. Para ello es necesario disponer de un sistema de localización e integridad de trenes que pueda sustituir a los actuales circuitos de vía, principal sistema usado hoy en día para conjuntamente localizar los trenes y asegurar su integridad.

A lo largo del presente trabajo se estudian uno a uno los diferentes sistemas disponibles con sus ventajas e inconvenientes, se evalúa su viabilidad técnica así como sus problemas y limitaciones. Después se comparan entre sí para ofrecer una propuesta de método de localización de trenes a implementar en los futuros proyectos de nivel 3 de ERTMS.

En pos de la armonización de las redes ferroviarias que busca el sistema ERTMS es importante dar una solución que pueda ser aplicada por cualquiera y que garantice que el disponer de un método u otro ya sea de localización o de integridad no sea una barrera para la interoperabilidad de los trenes en Europa.

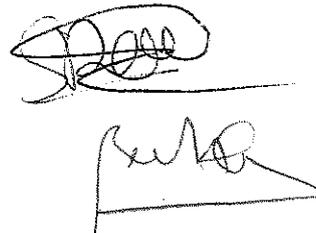
Alumno: Juan Guisández Méndez

Directores: Beatriz Sierra Barba  
Silvia Domínguez Fernández

Firma:



Firmas:



# Memoria.

## 1. Introducción y estado del arte

### 1.1. El sistema ERTMS.

ERTMS se creó con el objetivo de desarrollar e implantar un sistema común en Europa de gestión y señalización de las líneas ferroviarias. La Unión Europea apoya el desarrollo e implantación de este sistema pues aumenta la interoperabilidad ferroviaria dentro de ella donde actualmente conviven:

- \_Cuatro anchos de vía diferentes.
- \_Cinco sistemas de electrificación.
- \_Más de veinte sistemas de señalización heterogéneos.

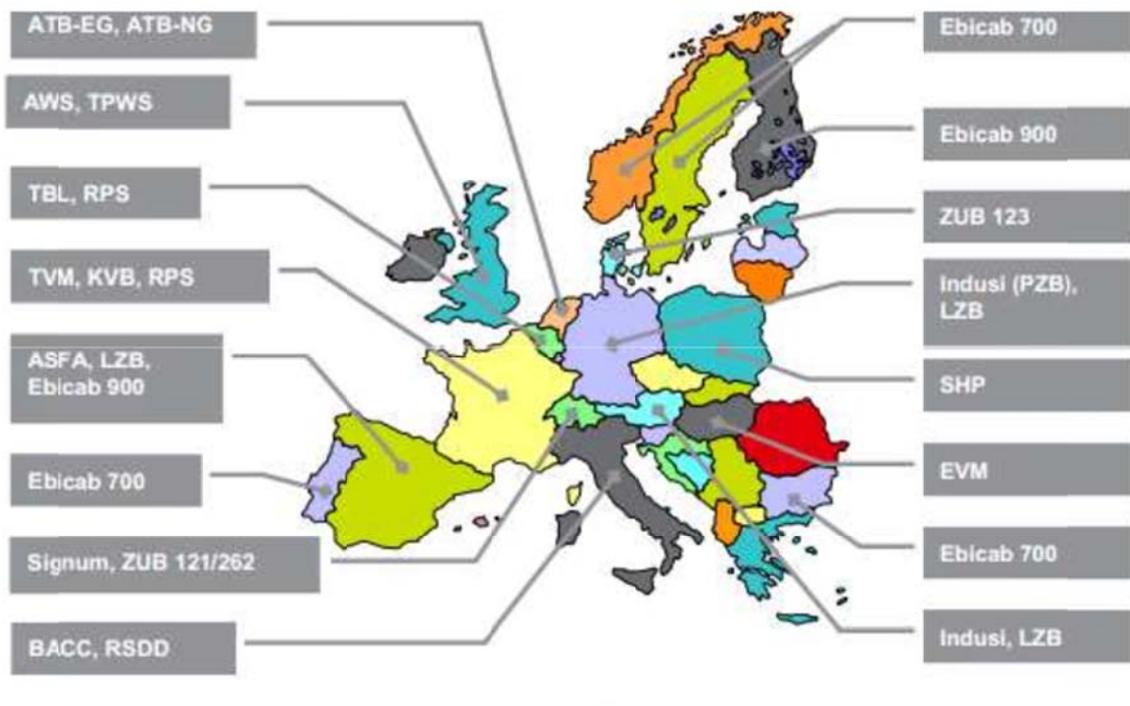


Ilustración 1: Sistemas ATP en Europa

Las mejoras que se obtienen con este sistema son:

- \_Como principal objetivo, incremento de la seguridad mediante la supervisión continua de la velocidad.
- \_Mayor interoperabilidad entre los diferentes países.

\_Reducir costes al normalizar un sistema único de gestión ferroviaria.

\_Mejorar la frecuencia de los trenes.

\_Aumento de la capacidad de transporte.

\_Reducir los monopolios. Este sistema es independiente porque no importa que la compañía que diseñe la vía sea diferente a la que aporta el sistema embarcado (trenes).

El sistema ERTMS está constituido por dos componentes:

\_GSM-R. (Sistema Global para Comunicaciones Móviles –Ferrocarril). Es un sistema inalámbrico que asegura la comunicación (voz y datos) entre vehículo e instalaciones.

\_ETCS (Sistema de Control de Tráfico Europeo Ferroviario). Es un sistema ATP que realiza las funciones de señalización y control ferroviario. El ETCS supervisa la velocidad del tren en todo momento.

Con este sistema se puede operar en distintos niveles. En total son 5 los niveles del ERTMS pero los niveles 0 y NTC pese a ser importantes y de mucha ayuda para situaciones concretas no permiten desarrollar toda la potencia de las especificaciones ERTMS no permitiendo el modo de operación FS (Full supervision)

Por eso los principales son los niveles 1, 2 y 3.



Ilustración 2: Logo de los fabricantes de ERTMS

### 1.1.1. Nivel 1

Es un sistema de transmisión puntual y de supervisión continua. Es suplementario para la señalización lateral. Los cantones están definidos por el sistema de señalización ya instalado. Este nivel incrementa la seguridad supervisando constantemente la velocidad y también en el caso de señalización temporal de precaución y en áreas de restricción de velocidad.

La forma de operar de este sistema es:

Desde un centro de transmisión y control (CTC) se asignan las diferentes rutas y a través de un enclavamiento se supervisa y controla que en todo momento el tren este completamente seguro ante cualquier circunstancia.

La información del enclavamiento (posición de las señales y agujas) se recoge a través de LEUS (Lineside Electronic Units). Estos son los encargados de generar los correspondientes telegramas que posteriormente se envían a la baliza.

La información llega a la baliza y esta es "excitada" por el tren, por lo que se produce la transmisión de información. La baliza es un elemento pasivo, no necesita de alimentación para emitir la señal si no que utiliza la propia energía proporcionada por el tren.

El equipo de abordo con la información recogida realiza los cálculos necesarios para gestionar la velocidad del tren parando el tren en caso de ser necesario sin la necesidad de la intervención del maquinista (curva de frenado) y comunicar cuál es su posición.

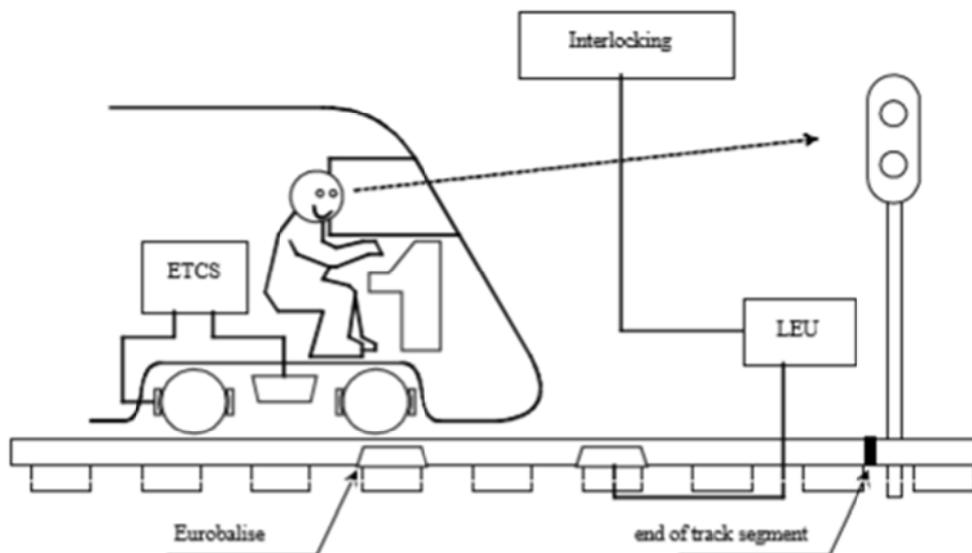


Ilustración 3: Operación en nivel 1 (subset 026 ERTMS)

Para mejorar el rendimiento del sistema cerca de las señales se pueden añadir dispositivos in-fill, cuya funcionalidad es transmitir con antelación la información de las próximas balizas que están a pie de señal lo que permite que el tren adelante su comportamiento para mejorar la operación, manteniendo por supuesto completamente la seguridad.

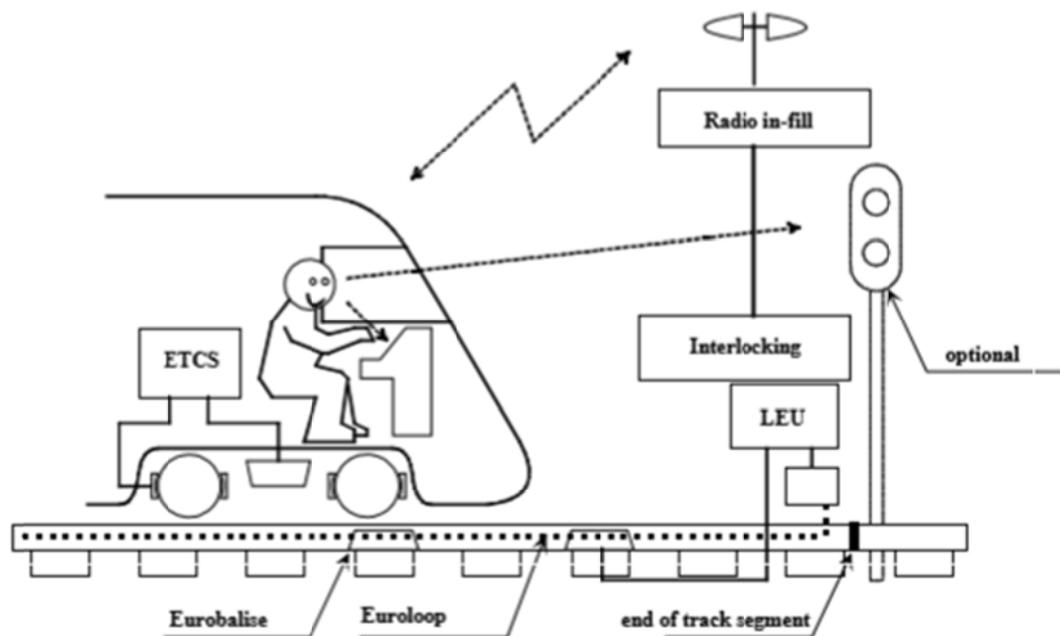


Ilustración 4: Operación en nivel 1 con Infill (subset 026 ERTMS)

### 1.1.2. Nivel 2

Es un sistema de protección de tren de transmisión continua bidireccional y supervisión continua. Las señales laterales pueden desaparecer en este nivel, como es el caso de Italia o Reino Unido, o mantenerse para permitir un funcionamiento más sencillo en situaciones degradadas y que al maquinista le resulte un ambiente más “amigable”, el maquinista podría sentirse perdido si nunca para o inicia su marcha de acuerdo a una señal. En modo FS se utiliza la señalización en cabina y el maquinista solo debería estar atento a la información proporcionada por el DMI.

La comunicación se realiza a través de radio, RBC (Radio Block Center).

El RBC puede enviar mucha más información al tren de la que se puede enviar en nivel 1, esto es debido a varios motivos, primero la comunicación no está limitada al escaso tiempo que el tren pasa por encima de la baliza lo que limita el máximo de información que puede transmitir una baliza, en nivel 2 la comunicación es permanente. Además el RBC manda información para cada tren, sabe qué a tren le está mandando qué información, mientras que las balizas son leídas por cualquier tren que pase por encima de ellas. Y por último la comunicación es bidireccional, lo que permite que el tren también envíe mensajes, comunicación que no es posible con las balizas.

En este nivel se siguen utilizando balizas pero su función principalmente es la de corregir el error odométrico del tren para su posicionamiento. Aun así las balizas se pueden seguir utilizando para enviar mucha información para el manejo del tren si la ingeniería de vía lo considera oportuno. El cantonamiento y el posicionamiento para otros trenes se realiza como en nivel 1 con circuitos de vía o contadores de eje, aunque el tren envíe de forma periódica su posición, esta información no se utiliza para determinar las autoridades de movimiento de otros trenes.

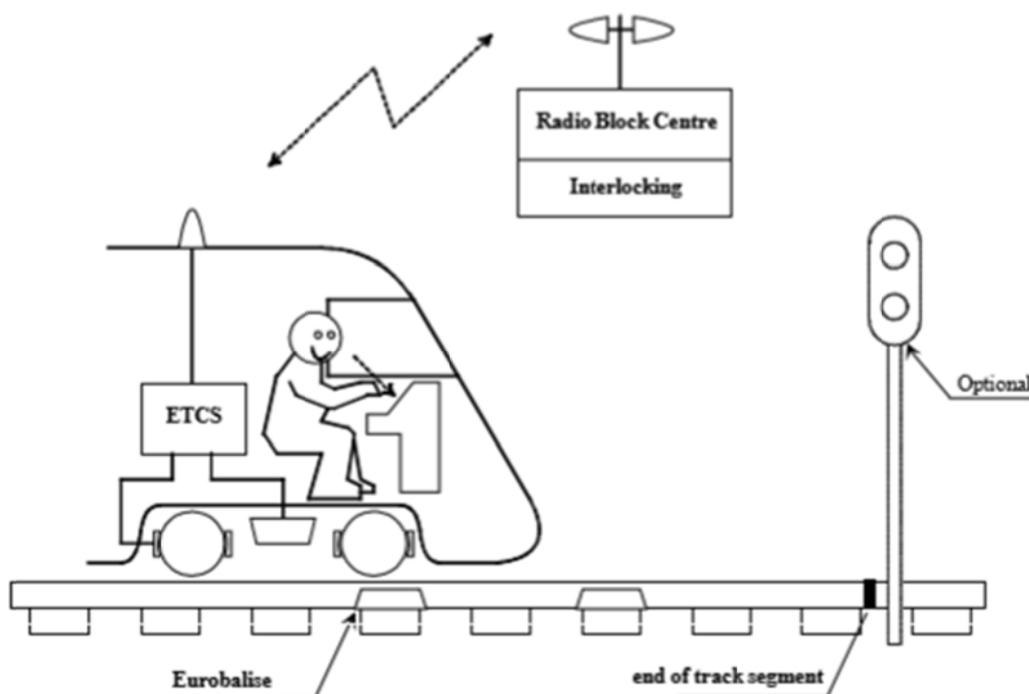


Ilustración 5: Operación en nivel 2 (subset 026 ERTMS)

### 1.1.3. Nivel 3

Esta tecnología, al igual que en el nivel 2, presenta una transmisión continua y bidireccional y supervisión continua. Básicamente el nivel 3 es igual al nivel 2 salvo por la integridad del tren que se realiza a bordo.

Ahora bien, posee una ventaja sobre todos los anteriores niveles pues presenta determinación activa de la distancia entre los trenes. Al ser los propios trenes quienes informan de su posición actual desde la cabeza del tren hasta su último vagón, el RBC es capaz de calcular la distancia entre los trenes. Nuevamente aunque no es necesaria la señalización lateral puede seguir existiendo para hacer más fácil la labor del maquinista.

Además de la ventaja en términos de capacidad que supone el cantón móvil la eliminación de los circuitos de vía y contadores de ejes supone un ahorro importante tanto en instalación como en mantenimiento de la infraestructura ferroviaria.

La comunicación entre el tren y la vía es, al igual que en nivel 2, mediante el RBC con las mismas características.

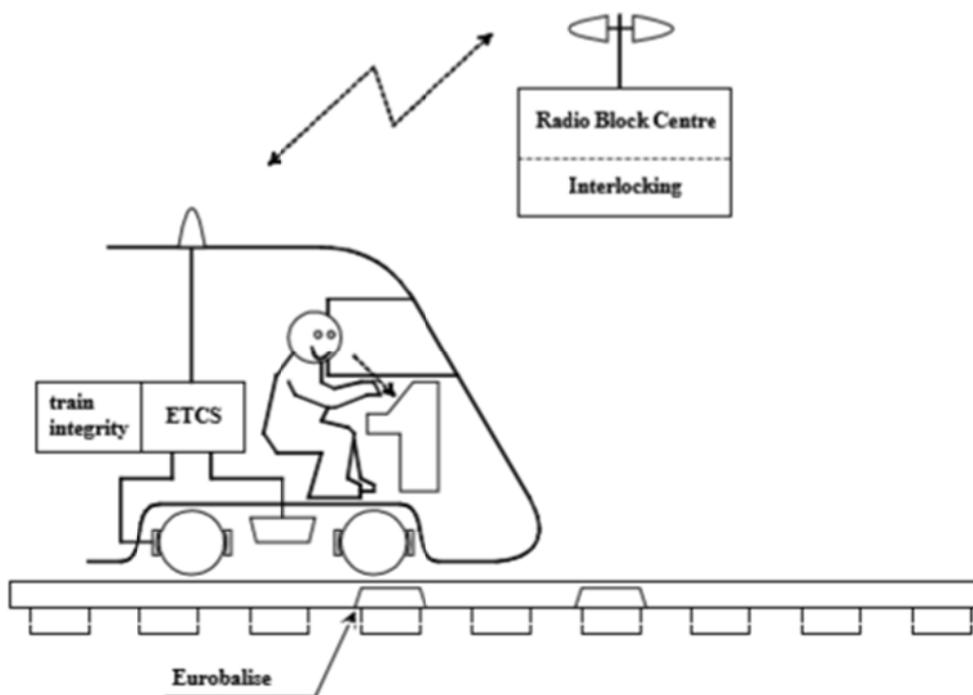


Ilustración 6: Operación en nivel 3 (subset 026 ERTMS)

## 1.2. Sistemas de integridad y localización tradicionales.

### 1.2.1. Bloqueo telefónico.

Para remontarnos a los inicios ferroviarios de la localización de trenes y su integridad tenemos que ver que surge entre otros motivos para poder operar a velocidades mayores que la “marcha a la vista”. Es decir, dónde el maquinista utilizando simplemente sus sentidos lleva el tren a una velocidad tal que en caso de necesitar parar puede ver el obstáculo y aplicar freno, evitando la situación peligrosa. Debido a una de las grandes ventajas energéticas del ferrocarril que es el contacto rueda carril de metal con metal, lo cual permite perder muy poca energía en el proceso de rodadura, la capacidad de frenado está muy limitada por la poca adherencia disponible, lo cual impide moverse a grandes velocidades sin que el maquinista tenga asegurada la vía libre en un trayecto mayor del que puede percibir por sus sentidos.

Esta vía libre por delante solo se puede asegurar para el tren si existe un método para asegurar la localización e integridad del tren.

RENFE  
REGLAMENTACION

# LIBRO DE BLOQUEO

Estación de .....

AÑO.....	Empieza el ..... de ..... de 199.....
NUM.....	Termina el ..... de ..... de 199.....

Ilustración 7: Libro de Bloqueo de RENFE

En el bloqueo telefónico, aún en uso en muchas partes del mundo y también en la red de ADIF, la localización del tren se realiza junto con el propio bloqueo. Cuando una estación llama a la siguiente y se acuerda otorgar la línea a un tren en concreto, el tren queda “localizado” en esa vía entre las dos estaciones. Por supuesto este sistema de localización es poco preciso, localiza al tren en un área en principio mucho mayor que la longitud del tren, pero lo importante es que permite saber dónde está el tren, que no se va a encontrar con otro tren en esa zona y que hasta que la zona no sea liberada no puede entrar otro tren.



Ilustración 8: Bloque entre estaciones

Lo expuesto hasta el momento permite localizar el tren pero no asegura su integridad, hace falta un sistema de respaldo que detecte si el tren pierde un vagón, o una parte del tren aunque el maquinista no se dé cuenta. Para esta función se utiliza el “farolillo rojo” que mas tarde se ha convertido en una expresión. La idea es simple, al final del tren, en el último vagón

se pone en la parte de atrás un farolillo rojo. Esto permite al jefe de estación y a cualquier otro personal que se encuentre en la estación ver si el tren que acaba de entrar está completo, si ve el farolillo al final del tren significa que el tren está completo, obviamente de perder alguna parte del tren será la parte de atrás, y por lo tanto la vía que acaba de abandonar está libre de obstáculos para poder meter otro tren en ella.

Aunque este método es muy útil y ha permitido el funcionamiento del ferrocarril de forma regular, y como hemos dicho lo sigue haciendo, tiene varias desventajas, a destacar dos:

La primera es el factor humano, la seguridad de que la vía esté libre depende de los maquinistas y jefes de estación y su comunicación entre sí, un fallo en los procedimientos, aunque que por supuesto están muy depurados para que la probabilidad de error sea muy baja, puede llevar a un choque entre dos trenes al entrar uno en una vía que ya estaba ocupada por otro tren o al no haberse comprobado correctamente en la estación la integridad del tren, pudiéndose encontrar un vagón suelto por la vía.

**LADO** *Algodor* 15 de Julio de 1993

NÚMERO DE LOS TELEFONEMAS	HORA de recepción o de expedir	CORRESPONSAL CON EL QUE SE COMUNICA	TEXTO			TRENES EN MARCHA	TEXTO DE OTROS TELEFONEMAS O NOTAS
			PUEDO EXPEDIR		LLEGO TREN		
			TREN	A LAS			
5	18,45	Algodor					Abandonada la vía para tren de pruebas 72101 asumiendo al 7071 hasta las 19,15. Póney
	19,00					72101	Conforme con el bloqueo de la vía para tren de pruebas 72101 asumiendo al 7071.
	19,15						Hasta las 19,15. Gd
6						2	Desbloqueo de la vía. Se restablece la circulación con B1. Gd
							Conforme con el desbloqueo de la vía y el restablecimiento de la circulación con B1. Póney
7	19,20		7177	19,25			Póney
	19,20					7177	Gd
	19,36					7177	Gd
	19,45					2	Puede expedir locomotora aislada AD104 asumiendo al 7178 a las 19,50. Gd
8						AD104	Expedir locomotora aislada AD104 asumiendo al 7178. Póney
9	20,02					2	Llega locomotora aislada AD104. Póney
							Puede expedir automotor sin servicio AD106 asumiendo al 7178 a las 20,05. Gd
10						AD106	Expedir automotor sin servicio AD106 asumiendo al 7178. Póney
11	20,18					2	Llega automotor sin servicio AD106. Póney
	20,50		7178	20,57			Gd
						7178	Póney
	21,00					2	Puede solicitar de vía para tren 7178. Gd
13	21,25		7179	21,30			Póney
							Desboga tren 7179. Gd
			7178	21,30			Gd
14						7178	Póney
15	21,35						Puede expedir tren 7179 después de que llegue a vía tren 7178. Póney
							Expedir tren 7179 después de que llegue a vía tren 7178. Gd
16	21,42					7179	Llega tren 7178 y sale tren 7179 a las 21,40. Póney
17	21,45						Puede volver. Póney
111							Clavse. Gd

Ilustración 9: Registros de bloqueo telefónico

La segunda desventaja es con respecto a la capacidad. Entre dos estaciones no se puede hacer circular más de un tren por cada vía, lo cual significa que si la distancia entre estaciones

es grande tendrá que pasar mucho tiempo desde que pasó un tren hasta que pueda pasar el siguiente. Además el propio proceso de bloqueo es lento, ya que el jefe de estación tiene que llamar a su compañero en la otra estación, tanto la precedente como la siguiente si el tren va de paso, acordar el envío del tren y registrarlo todo, antes de permitir al tren continuar hasta la siguiente estación.

Estos motivos propiciaron la evolución del sistema para adoptar uno que sirve de forma conjunta tanto para localizar como para asegurar la integridad de los trenes.

### *1.2.2. Los circuitos de vía.*

Los circuitos de vía permiten localizar el tren indicando qué circuitos de vía está ocupando el tren en cada momento. Utilizando el contacto metal con metal, el eje del tren cortocircuita los dos carriles, lo que le indica al enclavamiento que el circuito de vía está ocupado por el tren e impide trazar una ruta para otro tren por ese circuito. Además permite localizar al tren con mayor precisión, aunque la suma de los circuitos de vía ocupados por el tren seguirá siendo mayor que la longitud real del tren. En alta velocidad los CV suelen ser de unos 1500 metros.

Ahora ya no será necesario que todo el espacio entre estaciones cuente como ocupado cuando está un tren circulando entre ellas, ya que lo normal es que entre dos estaciones existan múltiples circuitos de vía.

Por otro lado en caso de que se pierda un vagón o una parte del tren, el circuito seguirá ocupado y por lo tanto no se podrán hacer rutas por él. Se podrá ver fácilmente que el tren se ha dividido si empiezan a aparecer circuitos de vía libre entre las dos partes del tren, esto pasará cuando uno o más vagones se han quedado descolgados, salvo que la longitud de los circuitos de vía sea absurdamente corta para el material que se esté usando, siendo menor que la distancia entre bogies, lo que podría provocar circuitos “libres” en medio del tren.

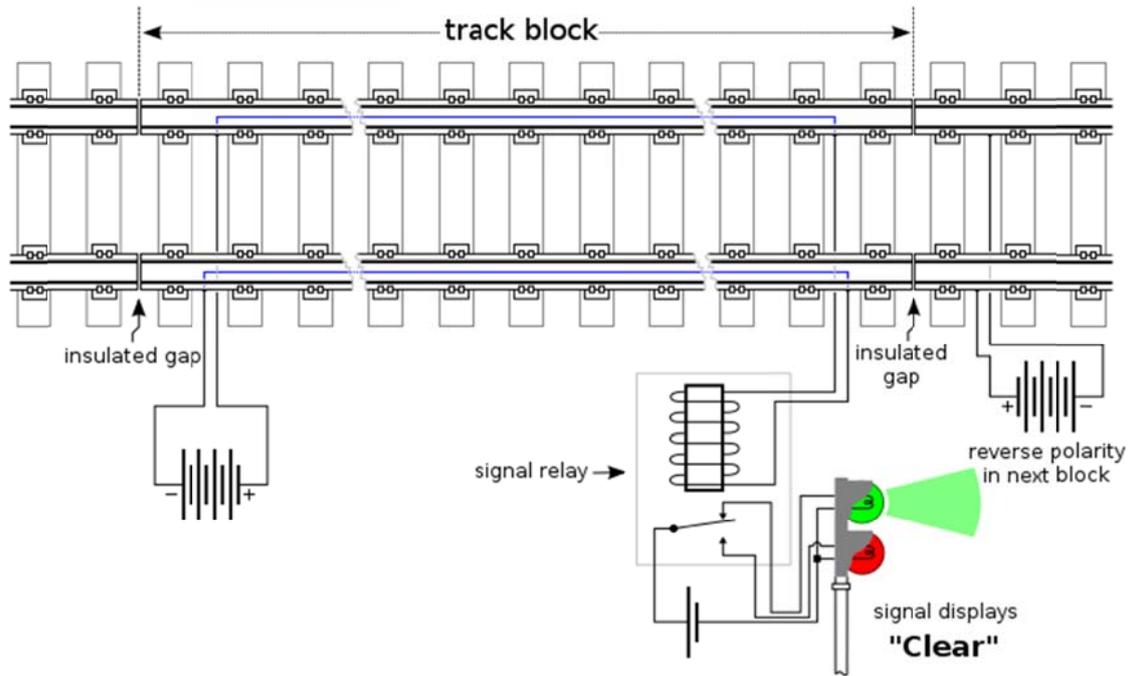


Ilustración 10: Circuito de vía libre (Ferropedia)

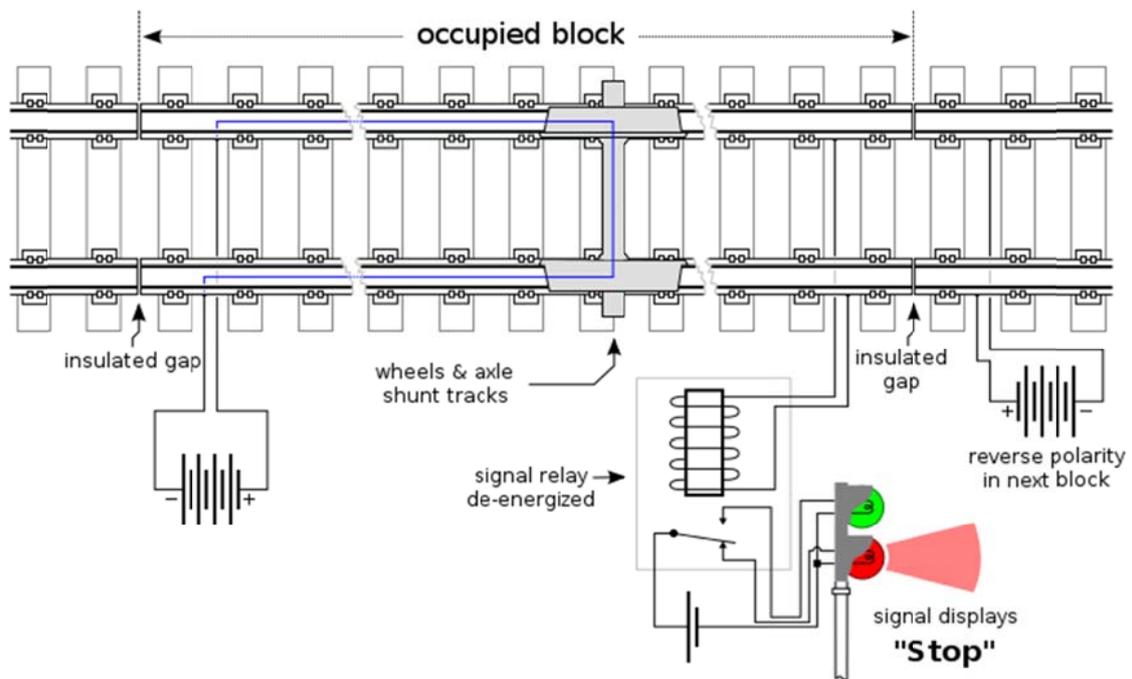


Ilustración 11: Circuito de vía ocupado (Ferropedia)

Este sistema también se usa para detectar roturas francas del carril, ya que la respuesta del sistema es la misma que si se cortocircuita el carril. Adicionalmente a todo esto los circuitos de vía han sido diseñados siguiendo principios “fail safe” por lo que los fallos en el propio

sistema (fallos en detectores o fuentes de tensión, cortes de cables, etc.) darán una como respuesta una situación segura, carril ocupado.

Por todo esto el sistema de circuitos de vía permite simultáneamente localizar con relativa precisión el tren y al mismo tiempo asegurar su integridad.

Existen múltiples tecnologías y evoluciones de los circuitos de vía en función por ejemplo de las frecuencias utilizadas en la vía para detectar los trenes, lo que ha llevado a permitir unir físicamente los carriles y seguir permitiendo el funcionamiento de los circuitos de vía. No obstante no es el objetivo de este proyecto y no se entrará en más detalle.

Los circuitos de vía son actualmente ampliamente utilizados y ofrecen un gran nivel de seguridad y capacidad de operación para la red ferroviaria, sin embargo siguen teniendo algunas desventajas.

La primera es que aunque la precisión de la localización del tren ha aumentado aun sigue siendo poco ajustada, ya que los circuitos de vía pueden tener longitudes superiores al kilómetro y un tren puede estar ocupando dos circuitos de vía simultáneos por lo que un tren de 200 metros a nivel de espacio de vía ocupado lo podemos estar tratando en algunos momento como un tren de 2 o 3 kilómetros. Estos trenes “virtuales” tan grandes afectan claramente a la capacidad y a la distancia real que podemos dejar entre trenes.

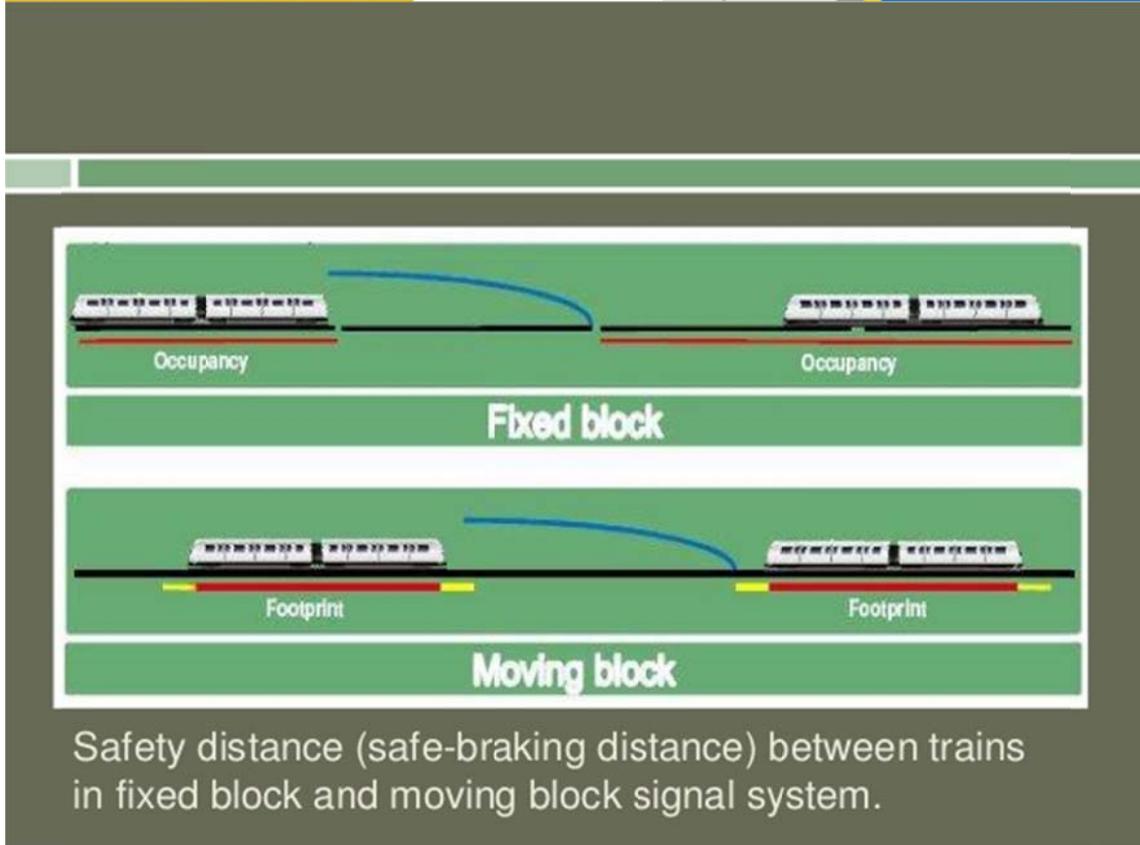


Ilustración 12: Distancias con cantón fijo y móvil

El segundo problema es económico, una red amplia con miles de kilómetros de línea ferroviaria tendrá miles de circuitos de vía, estos circuitos de vía tiene que ser instalados y mantenidos a lo largo de su vida útil, lo que representa una inversión considerable, su eliminación supondría un ahorro muy importante para un sistema como el ferroviario en el que a día de hoy los costes son críticos para su poder mantener su competitividad frente a otros medios de transporte.

Por todos estos motivos y para poder implementar plenamente el nivel 3 de ERTMS es necesario desarrollar sistemas de localización e integridad de trenes precisos y seguros que no dependan de los circuitos de vía.

## 2. Objetivos del trabajo.

### 2.1. Identificar las soluciones actuales en desarrollo.

Como con casi todos los problemas a los que se enfrenta la ingeniería podemos realizar distintas aproximaciones a un mismo asunto y todas ellas pueden ser válidas al menos desde el punto de vista técnico. Este caso no es la excepción y nos encontramos ante distintas soluciones que pretenden abordar el reto de introducir el nivel 3 de ERTMS en las líneas ferroviarias.

### 2.2. Comparar las diferentes soluciones identificando puntos fuertes y débiles.

Aunque todas las propuestas técnicas para la implementación del nivel 3 de ERTMS pudiesen ser válidas, es de esperar que algunas sean mejores que otras en determinados puntos, por lo cual se estudiarán independientemente cada uno de las soluciones aportadas identificando en ellas fortalezas y debilidades.

### 2.3. Proponer cual se considera que es la mejor solución.

De entre las distintas opciones disponibles se elegirá en función de sus fortalezas y debilidades aquella que se considere más ventajosas para la futura implementación del nivel 3 del sistema ERTMS

## 3. Tareas.

\_Recopilación de información relevante.

Se recopilará la información disponible sobre los sistemas en desarrollo para su posterior evaluación.

\_Evaluación de cada método con sus fortalezas y debilidades.

Evaluación individual de cada método prestando especial cuidado a la identificación de sus fortalezas y debilidades, así como su viabilidad técnica y económica.

\_Comparativa de los distintos métodos.

Una vez analizado cada método de forma separada se procederá a evaluarlos de forma conjunta para encontrar diferencias y similitudes entre ellos.

\_Propuesta del método optimo.

Una vez analizados y comparados los distintos métodos estaremos en posición de poder ofrecer una propuesta de método para utilizar en las futuras implementaciones del nivel 3 de ERTMS.

\_Redacción de la memoria.

Una vez realizado el trabajo anterior se procederá a escribir el presente documento para presentar los resultados conseguidos.

#### 4. Planificación.

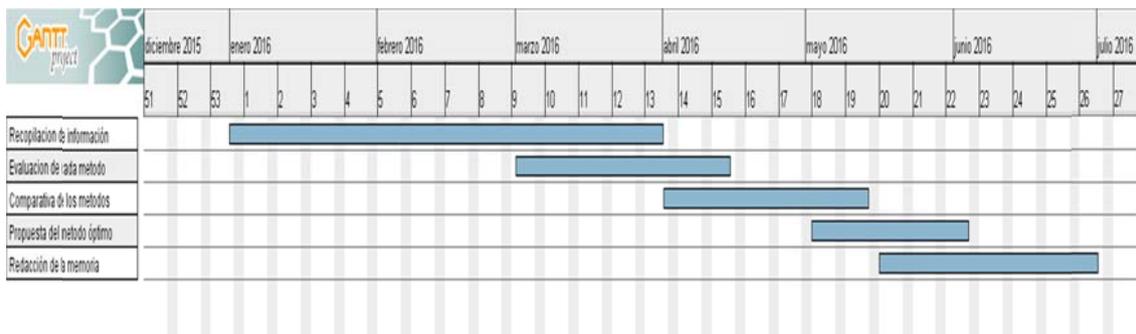


Ilustración 13: Planificación de tareas

## 5. Desarrollo.

Se ha decidido separar las soluciones para la localización del tren de las de integridad para facilitar el análisis y la comparación aunque alguna de las soluciones afecte conjuntamente a ambas funcionalidades.

### 5.1. Información y evaluación de los distintos métodos.

#### 5.1.1. Localización de trenes.

##### 5.1.1.1. Método 1.

El primer método de localización de trenes es el utilizado por el sistema de ERTMS nivel 2. Se basa en la localización del tren mediante la posición de la última baliza reportada por el embarcado LRBG (Last Relevant Basile Group) y el cálculo de distancia recorrida realizado por el tren junto con el error odométrico que el mismo calcule.



Ilustración 14: Baliza ERTMS

En este método el tren reporta la última baliza relevante que ha pasado, lo que además permite identificar la dirección en la que se está moviendo el tren de acuerdo al orden en que se han leído las balizas del grupo de balizas, en el caso de grupos de balizas simples será necesaria la lectura de dos balizas para poder conocer la dirección en la que se está moviendo el tren o disponer de información de enlace, todo esto está ya contemplado y en uso en las aplicaciones de ERTMS nivel 2.

Una vez reportada una localización válida y con la integridad del tren confirmada para toda su longitud el RBC puede crear un tren virtual y determinar la parte de la vía que está ocupando. Según ese tren vaya avanzando enviará nuevos reportes de posición que sumados al

error odométrico y la integridad confirmada del tren irán avanzando y modificando la posición del tren para el RBC y la parte de vía que está ocupando.

La ventaja de este método es que no necesita de nuevas instalaciones o tecnologías para llevarse a cabo utilizando las balizas que igualmente se instalarían para el correcto funcionamiento del tren, aunque posiblemente se instalarían algunos grupos adicionales de balizas en aquellos puntos que sea importante localizar con mayor precisión al tren así como en lugares habituales de inicio de misión. Además es un sistema ya probado y aunque no haya sido utilizado para el posicionamiento relativo entre trenes los cálculos de las distancias por parte de los trenes han demostrado ser seguros y válidos para la operación de los trenes respetando las distancias de seguridad en las curvas de frenado.

Las principales desventajas de este método parten de los estados sin conexión, con el tren apagado y los inicios de misión.



Ilustración 15: Aviso de zona de maniobras

Incluso en nivel 3 algunos modos del ERTMS no tienen necesariamente una conexión con reportes de posición periódicos, como puede ser el caso del modo SH (maniobras), en este caso el RBC tendría que bloquear toda una zona donde el tren tiene permitido hacer maniobras hasta que el tren cambie de modo y reporte una nueva posición (el tren vuelva a estar localizado para el RBC) y se pueda liberar la zona de maniobras para permitir el paso a otros trenes.

Cuando el equipo ERTMS de un tren se apaga, su conexión con el RBC termina, por lo deja de enviar reporte de posición. Ante un tren que se apaga, el RBC tendría que mantener un tren virtual ocupando el último espacio ocupado por el tren antes de apagarse el equipo a la hora

de calcular las posibles rutas de los demás trenes. El problema se agrava si ese tren es movido sin conectarse al RBC, ya que se el RBC podría estar virtualmente ocupando un trozo de vía donde realmente no hay ningún tren, lo que requeriría de un procedimiento para liberar zonas de la vía que ya no están ocupadas por un tren pero que el RBC considera que sí. Un caso aun peor es que por este movimiento sin conexión al RBC, este no esté registrando como ocupado un trozo de vía que en realidad lo está. Por estos motivos el movimiento de trenes dentro de zonas de nivel 3 debería estar prohibido, con la única excepción de movimientos a zonas con circuitos de vía o entrada y salida de talleres.

En el inicio de misión un tren puede no tener una posición válida, si la información sobre su última posición se ha borrado o si ha habido posibilidad de que el tren se haya movido estando apagado el equipo ERTMS. En estos casos en RBC tendrá que dar órdenes a un tren que no sabe dónde se encuentra hasta que pueda leer unas balizas y entonces poder localizarlo.

#### 5.1.1.2. Método 2.

El segundo método de localización posible es mediante un sistema de localización global vía satélite para localizar el tren de forma independiente del sistema ERTMS propiamente dicho.

Aunque en un primer momento se podría pensar en utilizar el sistema de navegación GPS actualmente en funcionamiento y utilizado comúnmente para navegación de coches por la carretera o para ir andando de un sitio a otro en las ciudades, este sistema tiene varios inconvenientes que impiden su uso seguro para la localización del tren en el sistema ERTMS.

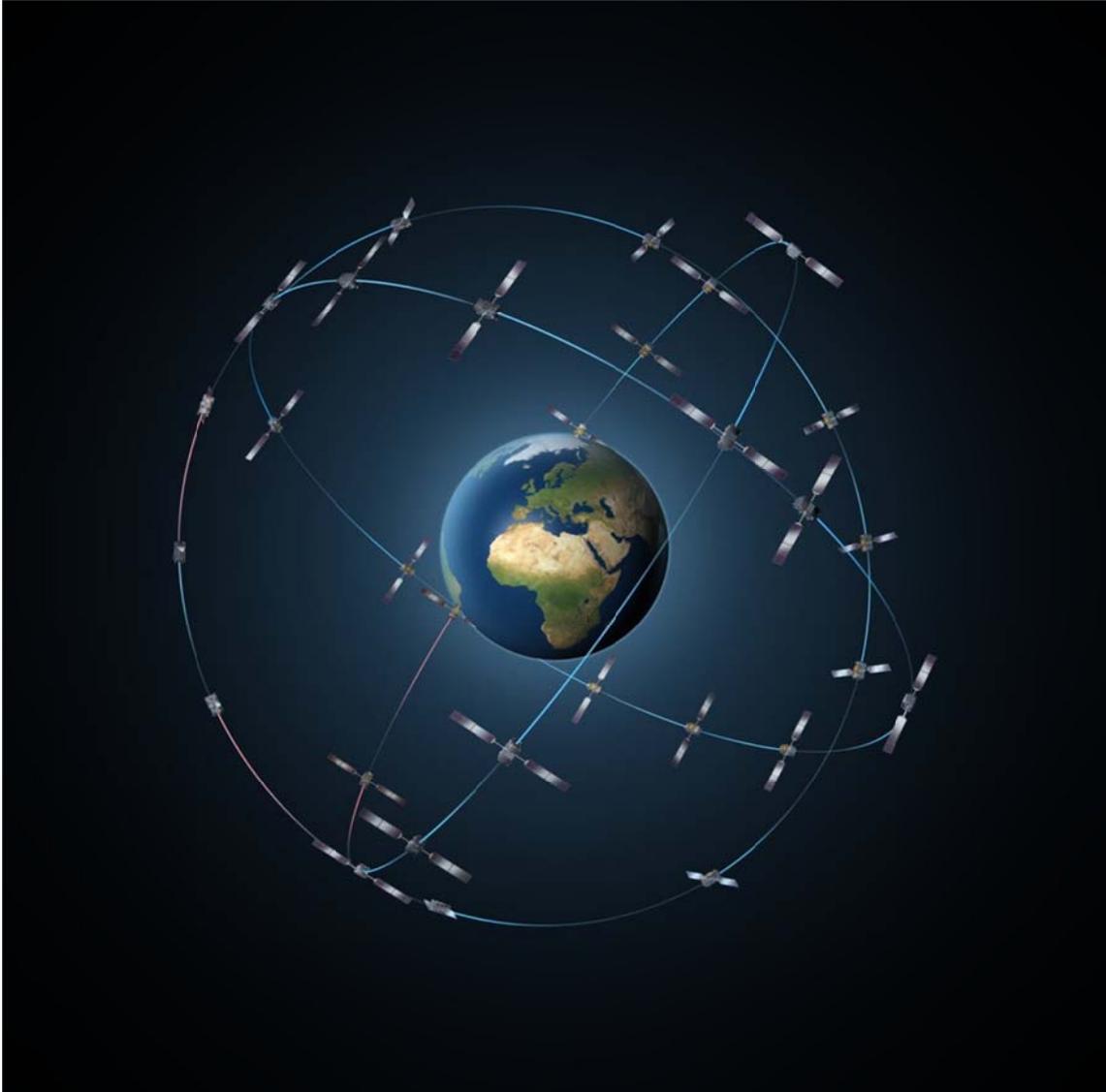
El primer inconveniente es que el sistema no es suficientemente preciso, tiene un error de varios metros que sería suficiente para que un tren pudiese reportar posición en una vía paralela a su verdadera posición, pudiendo llevar a situaciones de peligro al determinar libre una vía que está ocupada o posicionar las agujas en una posición incorrecta por el avance del tren.

El segundo inconveniente es que el sistema GPS es un sistema militar propietario perteneciente al departamento de defensa estadounidense y aunque permiten la utilización de una versión civil para el resto del mundo se reservan el derecho de introducir errores deliberados en el sistema civil cuando lo consideran oportuno. Se produjeron varios incidentes de este estilo durante las operaciones militares de la guerra de Irak, por lo cual es completamente inadmisibles como método de localización único para el nivel 3 de ERTMS.



Ilustración 16: Logo Proyecto GALILEO

Por estos motivos en lugar de usarse el sistema GPS se plantea el uso del sistema GALILEO. El GALILEO es un sistema de posicionamiento global por satélite desarrollado por Europa que aun no está operativo pero que cuenta ya con varios satélites en órbita. Concretamente cuenta ya con 12 satélites en órbita de los 30 que se tiene previsto. Se espera que el sistema empiece a funcionar a finales de 2016 aunque la red de satélites aun no esté completa del todo.



**Ilustración 17: Constelación de satélites GALILEO**

El sistema GALILEO ofrecerá una precisión mucho mayor que la proporcionada actualmente por el GPS civil que será suficiente para poder localizar de forma segura los trenes en la red ferroviaria. Además el sistema GALILEO será de propiedad civil con lo que se asegura que no se incluirán errores intencionados en el sistema durante su operación. Además el sistema GALILEO tendrá información de “integridad”, que el sistema se define como el grado de certeza de que cualquier valor de un dato de almacenamiento no ha sido corrompido o alterado de ninguna manera desde su entrada inicial o su última revisión autorizada. Lo que significa que informará de si la posición proporcionada es válida o no.

Una vez en funcionamiento la constelación GALILEO el funcionamiento del sistema sería sencillo, el tren tendría un receptor GALILEO en cada una de las locomotoras que

actualizarían continuamente su localización, con esta localización y con la integridad del tren reportada para toda su longitud el RBC podría determinar la localización del tren y el espacio de vía ocupada por él. Una vez en movimiento el tren seguirá reportando su posición e integridad y la información del tren en el RBC se irá actualizando para poder hacer rutas para otros trenes.

La gran ventaja de este sistema es que se trata de un sistema de localización independiente del ERTMS, lo que le permite seguir funcionando en situaciones donde el ERTMS no esté funcionando y aun así poder reportar su posición a la infraestructura de vía, detectando movimientos incluso con el tren apagado o movimientos involuntarios, siempre que se mantenga el sistema GALILEO conectado.

Otra ventaja de este sistema es que al conectarse, este donde este y sin importar si la información de posición almacenada en el embarcado es correcta o no, puede localizarse con precisión sin necesidad de moverse.

Este método necesitaría de una actualización de los trenes ya que tendrían que incluir receptores GALILEO con los que actualmente no cuentan, esto podría ser un problema para los trenes existentes pero no debería ser una gran problema para los trenes nuevos ya que un receptor no es excesivamente caro, cualquier móvil actual incluso de baja gama cuenta con receptor GPS y aunque los receptores GALILEO necesarios para el funcionamiento ferroviario podrían alcanzar en torno a 3000 euros, coste parecido al de un radar doppler, para los precios de una locomotora nueva no debería de ser representativo. Para locomotoras existentes sería necesario un proceso de modernización y un estudio de su instalación que sí que puede tener un coste considerable.

La principal desventaja de este sistema son las posibles zonas sin cobertura GALILEO, lo que representa esencialmente los túneles o las zonas que por cualquier razón estén cubiertas impidiendo la comunicación y triangulación con los satélites. También el problema del multipath, que es que la señal reflejada del satélite llegue al receptor dando una distancia errónea al no ser comunicación directa, este problema se soluciona mediante sensores adicionales que incrementan el precio del receptor.



Ilustración 18: Túnel ferroviario

En las zonas con túneles al no poder determinar la posición del tren una vez que ha entrado, todo el túnel quedaría ocupado por el tren y no podría entrar otro tren hasta que el primero reporte haber salido por el otro extremo con su integridad confirmada. Esta propiedad puede ser más o menos importante dependiendo de la red y de la longitud y cantidad de túneles presente en ellas, por ejemplo este sistema no sería viable para un servicio de metro.

Otra desventaja menor es que el sistema aun no está funcionando, se supone que empezara a funcionar a finales del 2016, pero cualquier retraso o incidencia en el sistema afectará a la implementación del nivel 3 basada en este sistema.

#### 5.1.1.3. Método 3.

El tercer método es un sistema que actualmente ya se está en sistemas CBTCs.

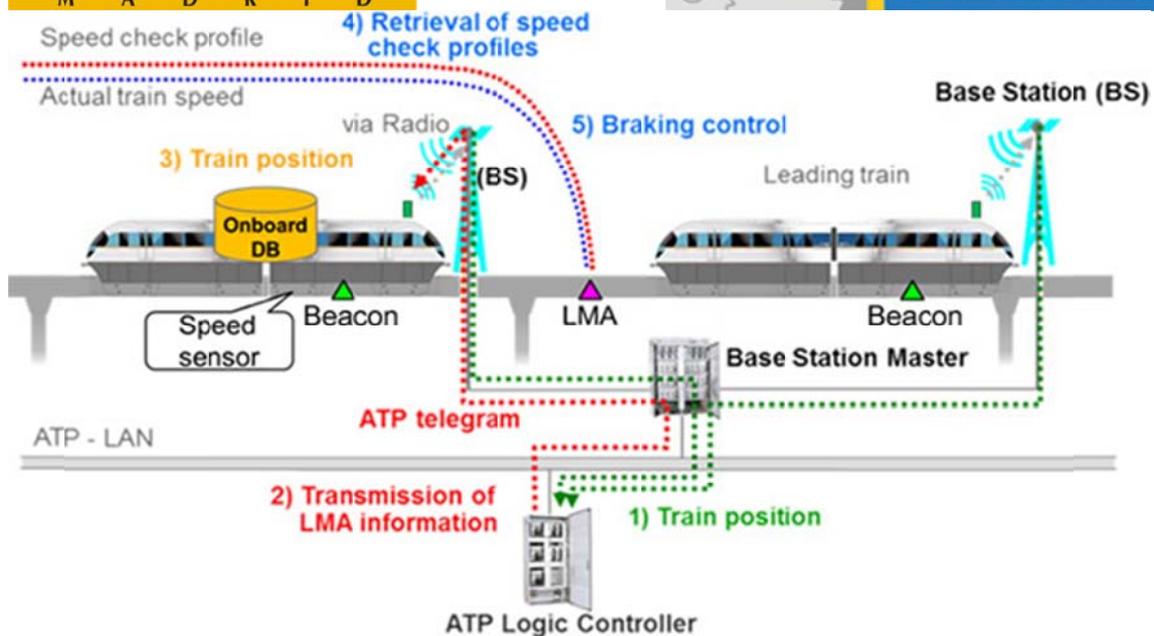


Ilustración 19: Sistema CBTC

El origen del CBTC se sitúa alrededor de los años noventa, cuando se consigue que de forma estable exista una comunicación por radio entre la vía y el equipo embarcado. Anteriormente se realizaba a través de círculos inducidos (Induction Loop). Fue la empresa Bombardier Inc. quien, por primera vez, instaló este sistema de señalización en el Aeropuerto Internacional de San Francisco en 2003.

Gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías, el sistema CBTC es de los sistemas ATP de mayor fiabilidad. Este tipo de tecnología necesita menos material instalado en las vías por lo tanto, no sólo facilita su implantación sino que es menos costosa. Otra característica que hay que destacar de este sistema es la alta flexibilidad en cuanto a términos operacionales se refiere. Los operadores y los encargados del flujo ferroviario, gracias a esta tecnología, pueden responder a grandes demandas puntuales de tráfico de un modo más rápido y sencillo.

La principal ventaja de este método es que es un sistema altamente probado y que funciona, operando de forma segura actualmente en varios metros del mundo incluidas las líneas 1 y 6 de metro de Madrid.

El principal inconveniente es que aunque pueda resultar muy útil en espacios reducidos y redes relativamente pequeñas de cientos de kilómetros de las redes de metros, su instalación y mantenimiento resultaría muy costoso en redes al aire libre relativamente grandes, de miles de

kilómetros como son las líneas de transporte de mercancías o de alta velocidad. Además de encontrarse también con algunos de los problemas antes mencionados para otros métodos.

### 5.1.2. *Integridad del tren.*

#### 5.1.2.1. Método 1.

En un primer método se determina la integridad del tren mediante un cable que va desde la cabeza del tren hasta el final y vuelve otra vez a la cabeza. Se inyecta una señal por el inicio del cable y si esa señal es recibida por el receptor que se encuentra al final de cable la integridad queda confirmada.

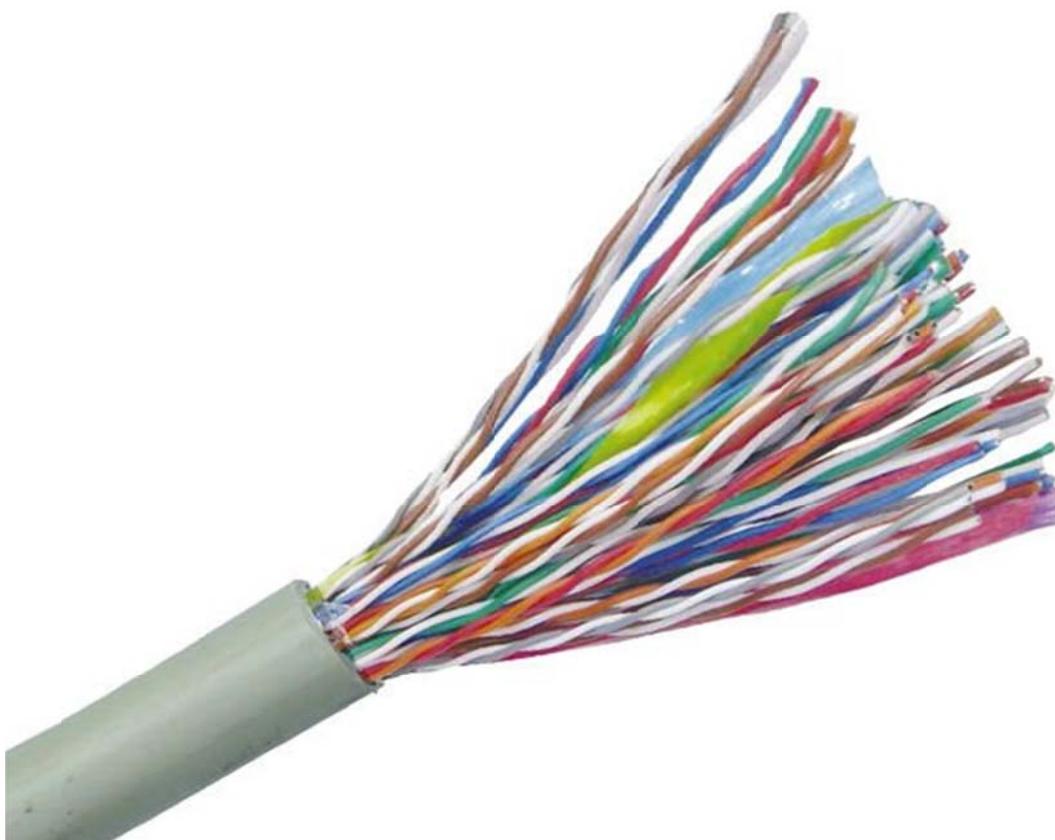


Ilustración 20: Mazo de cables

La integridad puede ser confirmada de forma continua o puntual, el emisor puede estar continuamente emitiendo y si en algún momento el receptor deja de recibir señal significara que la integridad del tren no se puede confirmar, la otra opción es que a intervalos regulares de tiempo el emisor emita un señal y espere su recepción por el receptor, si esta no se produce la integridad del tren no podrá ser confirmada.

Este sistema como todos los sistemas de señalización ferroviario es fail safe, , en caso de rotura del receptor o emisor el sistema reportará que no hay integridad, en caso de rotura accidental o provocada del cable será reportada también como pérdida de integridad del tren.

Para continuar el análisis de este sistema tenemos que pensar en dos casos posibles, el caso de composiciones fijas (actualmente típicamente para viajeros) y el caso de trenes convencionales formados por una o más locomotoras y un número de vagones (actualmente típicamente para mercancías).

En el caso de composiciones fijas, es muy fácil instalar este sistema, ya que no representa ninguna dificultad tirar un cable de una parte a otra del tren e instalar un emisor y receptor para la señal. Además en estas composiciones la longitud del tren es un valor fijo por lo que puede ser introducido como dato del tren no modificable por el maquinista lo que reduce la posibilidad de introducir por error una longitud distinta a la real del tren.

En el caso de trenes formados por locomotora y vagones el proceso es un poco más complicado, ya que es necesario asegurarse de conectar correctamente el cable que proporciona la integridad cada vez que se añade o se separa un nuevo vagón al tren. Además tenemos dos problemas adicionales relacionados con la longitud variable del tren. El primero es que debido a la longitud del tren y por tanto del cable utilizado, la tensión debida a las pérdidas por resistencia del cable podría caer por debajo del umbral aceptable y que un tren demasiado largo sea reportado como una integridad sin reportar. El segundo problema es que el maquinista tendría que introducir de forma manual la longitud del tren.

En términos económicos esta solución podría representar un pequeño incremento en el coste de los vagones para mercancías por el cable, sus protecciones para evitar roturas accidentales y los sistemas de conexión para conectarse a los otros vagones. Puesto que el precio del transporte de mercancías por ferrocarril es actualmente crítico, habría que estudiar este impacto.

Esta tecnología solo podría implementarse con facilidad en trenes nuevos, en trenes existentes sería necesaria una cierta remodelación de todos los vagones para poder soportarla lo que tendría un coste considerable.

#### 5.1.2.2. Método 2.

El segundo método consiste en la instalación de unos emisores/receptores vía radio colocados en la cabeza y en la cola del tren, mediante la comunicación entre los dos se podría determinar la longitud del tren y si esa longitud aumenta sin razón será un indicativo de que la integridad del tren se ha perdido.

Se pueden utilizar dos aproximaciones para este método, estos emisores receptores pueden ser independientes y su única función sea comunicarse entre ellos para determinar su posición relativa o pueden ser además receptores Galileo, determinar su posición absoluta y luego calcular con esto su posición relativa. En ambos caso el funcionamiento es muy similar, con la excepción de los túneles, donde el sistema basado en GALILEO no podría funcionar correctamente.

Como en el caso anterior la comunicación entre los dos emisores podría ser continua o puntual emitiendo la señal de forma periódica, en cualquier caso la falta de un reporte en el tiempo esperado tendrá que tratarse como integridad no confirmada aplicando el principio fail safe.

Otro punto a tener en cuenta es que el sistema mide la distancia entre la cabeza y la cola en línea, sin tener en cuenta la forma de la vía, la cual puede ser menor que la longitud del tren, por ejemplo en el caso de que el tren se encuentre en una curva, por ello la comprobación del sistema tendría que ser si el tren mide más de lo esperado, si su tamaño disminuye no debería ser tratado como un error, además es prácticamente imposible, por no decir imposible, que se pierda una parte central del tren.



Ilustración 21: Tren en curva

Diferenciando nuevamente entre composiciones fijas y variables, la determinación de la longitud del tren como dato vuelve a ser problemática para composiciones variables.

En el caso de composiciones fijas la longitud del tren sería un dato del tren que no introduce el maquinista y que puede estar comprobado, el sistema de integridad luego solo tiene que asegurar que la distancia nunca es mayor que ese número, con un cierto intervalo de confianza.

Para las composiciones variables el maquinista tendrá que introducir la longitud del tren pudiéndose producir errores humanos al introducir correctamente este dato. Se podría utilizar la distancia que proporcione el propio sistema de detección en parado, pero este valor solo será válido como longitud del tren si el tren está en línea recta, si el tren se encuentra en curva, como ya se ha comentado antes, la distancia entre la cabeza y la cola podría ser menor que la longitud del tren.

Respecto a la instalación de un emisor/receptor en la cabeza y otro en la cola, para composiciones fijas no sería un problema, estaría siempre instalado en los extremos del tren sin mayor complicación.

Ahora bien, en el caso de composiciones variables se complica un poco. El de la cabeza iría en la locomotora sin problemas. Pero el de cola podría ir o bien en otra locomotora al final, lo que dispararía los costes de operación si la locomotora no es necesaria a niveles de tracción, o

bien podría ir en un vagón “especial” al final dotado de un receptor/emisor, lo que lo haría un vagón más caro y a nivel operacional sería muy problemático para la operación el que siempre tuviese que ser el ultimo. Además existiría el riesgo humano de que por error se pusiese vagones detrás del vagón con el receptor, los cuales no quedarían protegidos ante la pérdida de integridad. La última opción sería poner un dispositivo portátil en el último vagón, de nuevo el problema vendría por errores humanos en su montaje o no colocarlo en la posición correcta.

Como último detalle tener en cuenta que este sistema puede tardar en detectar una pérdida de integridad hasta que la distancia entre la cabeza y la cola no aumente. Por ejemplo si en tren está parado, aunque se pierda la integridad como la distancia entre cabeza y cola no aumenta el tren sería reportado como íntegro, así mismo en una bajada suficientemente pronunciada aunque el tren ya no sea íntegro la distancia entre cabeza y cola puede mantenerse constante.

Esta tecnología es bastante fácil de adaptar a un tren existente puesto que solo es necesario actualizar la cabeza y la cola del tren sin necesidad de hacer modificaciones en los vagones intermedios.

## 5.2. Comparación de las soluciones.

### 5.2.1. Sistemas de localización.

Disponemos de tres métodos de localización para comparar, el sistema de posicionamiento mediante balizas usado por nivel 2 de ERTMS, el sistema de posicionamiento global utilizando GALILEO y el sistema de localización de trenes utilizado en CBTC. A modo de resumen podemos decir:

Sistema de balizas:

- \_ Sistema probado.
- \_ Económico, poca inversión adicional.
- \_ Sin localización cuando el tren esta desconectado.
- \_ Localización dependiente de las balizas
- \_ Error odométrico variable.

Sistema basado en GALILEO:

- \_ Sistema nuevo, aun no disponible.
- \_ Económico, los receptores no son caros comparados con el coste del tren.
- \_ Posibilidad de localización con el tren desconectado.
- \_ Localización independiente del sistema ERTMS.
- \_ Error odométrico casi constante.

Sistema CBTC:

- \_ Sistema probado.
- \_ Sistema muy caro para grandes redes.
- \_ Sin localización cuando el tren está parado.
- \_ Localización dependiente de la infraestructura.
- \_ Error odométrico variable.

Estos datos podemos presentarlos en una tabla para que sean más claros y poder compara en un vistazo las diferentes tecnologías.

**Tabla 1: Comparación sistemas de localización**

Sistema	Tecnología	Economía	Localización desconectado	Localización independiente	Error odométrico
	10%	20%	20%	15%	35%
<b>Balizas</b>	Probada	Muy barato	Sin localizar	No	Variable
<b>GALILEO</b>	Nueva	Medio	Localizado	Si	Constante
<b>CBTC</b>	Probada	Caro	Sin localizar	No	Variable

De la tabla se puede ver que cada tecnología tiene sus ventajas y sus inconvenientes. Para facilitar la evaluación se han asignado diferentes pesos a cada criterio a evaluar para cada uno de los métodos.

### 5.2.2. *Sistemas de integridad.*

Podemos realizar un procedimiento parecido para los sistemas de integridad que estamos estudiando, son dos, la confirmación de la integridad del tren mediante un cable que recorre todo el tren y la confirmación de la integridad mediante dos emisores/receptores que miden la distancia entre ellos. A modo de resumen podemos decir:

Integridad mediante cable:

- \_ Sistema sencillo.
- \_ Sistema económico
- \_ Poco impacto electromagnético.
- \_ Sistema Fail safe.
- \_ Detección rápida en cualquier circunstancia.
- \_ Posibles errores humanos en la longitud de composiciones variables.
- \_ Difícil de introducir en material móvil existente

Integridad mediante radio.

- \_ Sistema más complejo.
- \_ Sistema más caro.
- \_ Interferencias electromagnéticas
- \_ Sistema Fail Safe.
- \_ Posible retardo en la detección de pérdida de integridad.
- \_ Posibles errores humanos en la longitud de composiciones variables.
- \_ Fácil de introducir en material móvil existente.

De nuevo estos datos se presentan en forma de tabla para facilitar su estudio.

Tabla 2: Comparación sistemas de integridad

	Mediante cable	Mediante Radio
<b>Complejidad (20%)</b>	Sencillo	Complejo
<b>Economía (20%)</b>	Barato	Caro
<b>Interferencias electromagnéticas (15%)</b>	No	Si
<b>Fail safe (obligatorio)</b>	Si	Si
<b>Velocidad de detección (15%)</b>	Rápida	Posible retraso
<b>Longitud variable (20%)</b>	Error humano	Error humano
<b>Adaptación del material existente (10%)</b>	Difícil	Fácil

De la tabla se puede ver que cada tecnología tiene sus ventajas y sus inconvenientes. Para facilitar la evaluación se han asignado diferentes pesos a cada criterio a evaluar para cada uno de los métodos. Propuesta de método.

### 5.3. Propuesta de método óptimo.

Para la propuesta de método óptimo se vuelve a diferenciar entre la propuesta para sistema de localización de trenes y la propuesta para sistema de integridad de trenes.

#### 5.3.1. Sistema de localización.

Basándome en la información previamente aportada y la tabla comparativa que se vuelve a mostrar se procede a elegir un método para el sistema de localización.

Tabla 3: Comparación sistemas de localización

Sistema	Tecnología	Economía	Localización desconectado	Localización independiente	Error odométrico
	10%	20%	20%	15%	35%
<b>Balizas</b>	Probada	Muy barato	Sin localizar	No	Variable
<b>GALILEO</b>	Nueva	Medio	Localizado	Si	Constante
<b>CBTC</b>	Probada	Caro	Sin localizar	No	Variable

Se decide seleccionar el método basado en el sistema GALILEO con una puntuación del 80%

Aunque la tecnología GALILEO propiamente dicha es nueva, la tecnología en la que se basa es muy parecida a la del sistema GPS que lleva funcionando durante mucho tiempo y ha demostrado su utilidad y capacidad de funcionamiento.

Aunque no es el sistema más barato tampoco es el más caro de todos y aun con un coste de unos pocos de miles de euros por tren sería más barato que el de circuitos de vías al que sustituye.

Su posibilidad de mantener la localización del tren de forma independiente es muy útil en situaciones degradadas y para permitir tener localizados trenes apagados o que se mueven en frío.

Su localización independiente permite localizar rápidamente y con precisión el tren en un inicio de misión o después de una pérdida de comunicación por cualquier motivo inmediatamente y sin necesidad de que el tren se mueva.

Muy importante, su error odométrico permite que los trenes tengan un tamaño más constante lo que permite que las autoridades de movimiento sean más regulares y que la separación óptima entre trenes no varíe con el tiempo.

Pese a todo si se decide usar este método habría que tener cuidado con los túneles que como se ha indicado no permiten la conexión directa con el sistema GALILEO, en cada proyecto tendría que estudiar la cantidad e impacto de los túneles y si fuera un problema implementar otros sistemas de detección de apoyo para esas zonas. Estos sistemas podrían ser desde otros sistemas de localización para nivel 3 estudiados aquí, la hibridación con otros sensores así como el uso puntual de circuitos de vía.

### *5.3.2. Sistema de integridad.*

Basándome en la información previamente aportada y la tabla comparativa que se vuelve a mostrar se procede a elegir un método para el sistema de integridad.

Tabla 4: Comparación sistemas de integridad

	Mediante cable	Mediante Radio
<b>Complejidad (20%)</b>	Sencillo	Complejo
<b>Economía (20%)</b>	Barato	Caro
<b>Interferencias electromagnéticas (15%)</b>	No	Si
<b>Fail safe (obligatorio)</b>	Si	Si
<b>Velocidad de detección (15%)</b>	Rápida	Posible retraso
<b>Longitud variable (20%)</b>	Error humano	Error humano
<b>Adaptación del material existente (10%)</b>	Difícil	Fácil

Se decide proponer como método óptimo la comprobación de la integridad del tren mediante un cable con una puntuación del 70%.

Es una tecnología muy sencilla y de fácil aplicación.

La tecnología en sí misma es muy barata, ya que consta de únicamente de un cable para transmitir la señal, de un emisor que la emita y de un receptor que la reciba. La señal no necesita ser especialmente compleja.

Al ser una comunicación vía cable en principio se ve poco influenciada por las interferencias electromagnéticas y al ser una señal de bajo voltaje tampoco provoca grandes interferencias. Tan solo habría que tener cuidado durante su instalación con la línea de potencia del tren que al ser de alto voltaje podría influir en la señal.

Se trata de un sistema fail safe en el que los reportes falsos no seguros son muy difíciles, ya que cualquier fallo se traduce en una “rotura” del tren.

El problema aún no resuelto es el problema del posible error humano del maquinista al introducir la longitud del tren como dato del tren, si esta información es incorrecta el resultado podría producirse una situación de peligro.

Aunque la adaptación del material existente puede ser costosa, este método estaría especialmente indicado para el nuevo material que se diseñase directamente para poder operar en nivel 3, donde supondría un gasto de fabricación adicional muy pequeño.

## 6. Conclusiones.

\_ Distintas soluciones disponibles. Aunque en este trabajo se ha propuesto una solución entre las distintas opciones y a favor de la armonización que representa el ERTMS sería lo deseable que se utilizase esta en todos los proyectos, cada proyecto tendrá que evaluar cuáles son sus necesidades y adaptar el sistema para cubrir situaciones específicas.

\_ El nivel 3 plantea retos tecnológicos que tiene que ser solucionados en el corto plazo, pero sus ventajas parecen dejar claro que el sector está evolucionando hacia ese destino. Actualmente está incluido en el roadmap de la Agencia europea del ferrocarril, ERA.

\_ El uso del sistema de posicionamiento global europeo GALILEO ha obtenido la mejor puntuación en el estudio como método para realizar la localización de los trenes en nivel 3 de una forma segura y precisa.

\_ La detección de integridad mediante un cable que recorre todo el tren ha obtenido la mejor puntuación en el estudio como método para comprobar y reportar de forma segura y confiable la integridad del tren en todo momento.

## 7. Aportaciones para futuros trabajos.

\_ Los trenes de composición variable son los que presentan más problemas relacionados con la integridad del tren y su longitud segura, sería interesante realizar un estudio más detallado de este tipo de trenes que actualmente representan casi la totalidad del tráfico de mercancías por ferrocarril.

\_ El sistema de integridad mediante cable tal vez podría ser mejorado aumentando la complejidad del receptor y emisor de forma que fuese posible determinar de forma automática la longitud del tren. Sería necesario realizar un estudio de su viabilidad técnica y del incremento económico que supondría dotar de esa tecnología a los trenes.

\_El sistema GALILEO tiene limitaciones en los túneles y con las señales reflejadas, sería interesante buscar una solución al problema o definir una forma común para resolver el problema de forma armonizada, la localización mediante balizas parece una buena solución, pero sería necesario hacer un estudio para ver qué tal se pueden compaginar las dos tecnologías en función de la localización.