

GALILEO

Aplicaciones ferroviarias

Hoja de ruta para la implementación

Estrategias Ferroviarias Europeas

Número 15- Junio 2006

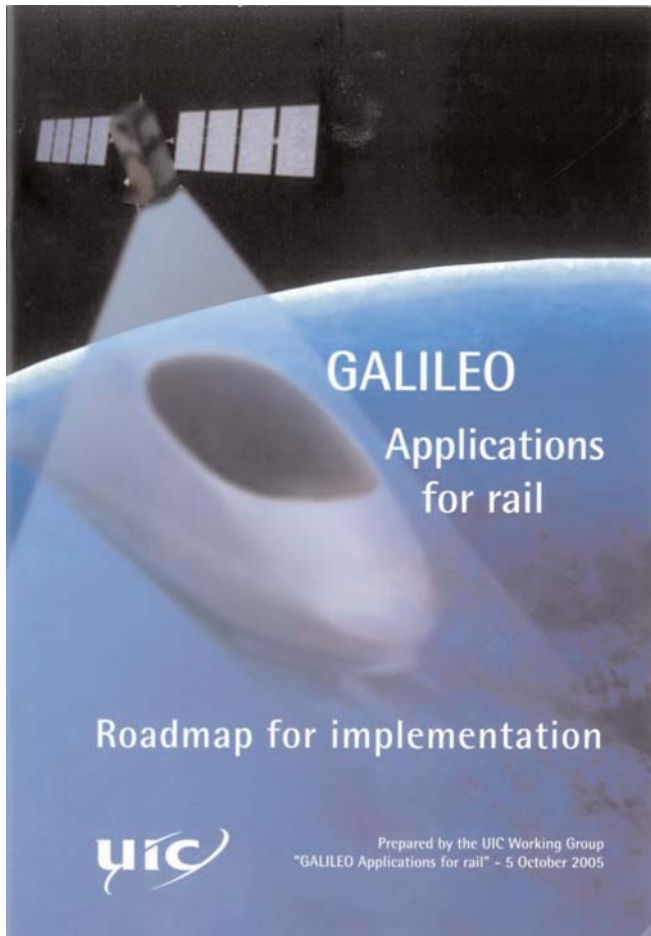
Ficha catalográfica:

GALILEO: Aplicaciones ferroviarias. Hoja de ruta para la implementación : GALILEO : Applications for rail. Roadmap for implementation. - Madrid : Fundación de los Ferrocarriles Españoles ; ADIF. Dirección de Relaciones Internacionales, 2006

37 p. ; 30 cm. (Estrategias Ferroviarias Europeas; 15)

1. Sistemas de navegación por satélite
2. Ayudas comunitarias
3. Programa aeroespacial
4. Investigación
5. Seguridad ferroviaria

Edita: ADIF: Dirección de Relaciones Internacionales
Fundación de los Ferrocarriles Españoles
Centro de Documentación Ferroviaria



PRESENTACIÓN

La Dirección de Relaciones Internacionales, en colaboración con la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, edita una serie de documentos bajo el título genérico: "Estrategias Ferroviarias Europeas" para su difusión con fines exclusivamente de información dentro del entorno de las empresas ferroviarias.

La Dirección de Relaciones Internacionales selecciona periódicamente para su edición aquellos informes que considera de interés y actualidad para el sector, relacionados con las experiencias en otros países sobre los procesos de transformación del ferrocarril y su papel en el sistema de transportes.

La edición impresa está limitada a 200 ejemplares que se distribuyen diversos ámbitos. La versión electrónica de los documentos está disponible a través de la página web de la Dirección de Documentación y Archivo Histórico Ferroviario de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles:

www.docutren.com/documentos_internacionales.htm

Introducción:

El sistema de navegación por satélite GPS que se ha venido utilizando en Europa desde hace más de diez años ha agotado ya su capacidad, por lo que el Viejo Continente ha decidido crear su propio sistema de navegación: GALILEO. En este nuevo documento de Estrategias Ferroviarias Europeas, se describen las características técnicas de este nuevo sistema, que estará en funcionamiento en 2008, y las posibilidades de utilización que ofrece para el transporte, en particular para el transporte ferroviario.

GALILEO logra el máximo compromiso de cumplimiento de los requisitos de todos los modos de transporte y, en concreto, de aplicaciones al modo ferroviario: comercial (localización, seguimiento e información), ingeniería civil (construcción y mantenimiento de infraestructuras, localización de fallos en vía y catenaria) y aplicaciones relacionadas con la seguridad (localización por satélite, medida de la velocidad y temporización) que se pueden implantar como funciones superpuestas o como una función de seguridad primaria.

En Europa existe una necesidad natural de evolución de un sistema ferroviario moderno, de elevadas prestaciones y eficiente, para obtener el máximo provecho del uso de esta nueva infraestructura. El objetivo de este documento es concienciar a los ferrocarriles para que aprovechen esta oportunidad e indicar una forma optimizada para incluir a GALILEO como un elemento constituyente de las funciones y servicios del sistema ferroviario. La introducción de sus aplicaciones en el ferrocarril tendrá que superar dificultades inherentes y amenazas, pero traerá consigo también una serie de beneficios y oportunidades que deberán aprovecharse para avanzar hacia el objetivo de maximizar la eficiencia.

Por parte de la Dirección de Relaciones Internacionales de Adif se cumple así con el objetivo de difundir aquella información internacional que pueda ser de utilidad para la empresa en el desarrollo de su actividad.

A su vez, con esta iniciativa, la Fundación de los Ferrocarriles Españoles sirve una vez más a su compromiso de apoyar la actividad investigadora y en general, de contribuir a la difusión y el conocimiento del ferrocarril por la sociedad.

GALILEO

Aplicaciones ferroviarias

Hoja de ruta para la implementación

UIC

Preparado por el Grupo de trabajo UIC
"GALILEO, aplicaciones ferroviarias" - 5 de octubre de 2005

Índice

1. **Resumen ejecutivo**
 2. **Introducción**
 3. **Estructura del documento**
 4. **Análisis de las prestaciones - tecnología de vanguardia**
 5. **Diferencias entre GPS, GNSS y GALILEO**
 6. **Clases de aplicaciones y requisitos**
 - 6.1 Comercial, mercado global, localización y seguimiento e información al público
 - 6.1.1 Ejemplos de aplicaciones que están actualmente en servicio, basadas en el GPS
 - 6.1.2 Mejoras esperadas gracias a GALILEO
 - 6.2 Profesional, ingeniería civil, construcción y mantenimiento de la infraestructura, localización de fallos en la vía y la catenaria
 - 6.2.1 Aplicaciones ferroviarias servidas actualmente por el GPS
 - 6.2.2 Los beneficios de GALILEO
 - 6.3 Aplicaciones relacionadas con la Seguridad
 - 6.3.1 Requisitos de las prestaciones
 - 6.3.2 Ejemplos de aplicaciones que pueden utilizar combinaciones GNSS con integridad EGNOS
 - 6.3.3 Ejemplos de aplicaciones con el GALILEO solamente (servicio SoL)
 7. **Del GPS al GNSS y el GALILEO**
 8. **Hoja de ruta hacia el sistema GALILEO**
 - 8.1 Criterios y limitaciones para la implementación
 - 8.1.1 Fortalezas y oportunidades de GALILEO
 - 8.1.2 Debilidades
 - 8.1.3 Amenazas para las aplicaciones ferroviarias del GALILEO
 - 8.1.4 Promotores
 - 8.1.5 Hoja de ruta
 - Primera fase (hasta noviembre 2005)
 - Siguiete fase (2006 - 2008)
 9. **Conclusión**
 10. **Recomendaciones para la acción**
 - 10.1 Certificación para aplicaciones de seguridad
 - 10.2 Uso económico
 - 10.3 Aplicación de GEORAIL
 - 10.4 Realización de acciones de promoción
- Apéndice A: Servicios GALILEO y sus prestaciones proyectadas**
- A.1 Servicio abierto
 - A.2 Servicio comercial
 - A.3 Servicios críticos para las vidas humanas
 - A.4 Servicio público regulado
- Apéndice B: Comentarios técnicos**
- Apéndice C: Definiciones de nociones críticas**
- Apéndice D: Referencias**

Índice de tablas

Tabla 1: Calificaciones numéricas indicativas del cumplimiento de los requisitos de las aplicaciones por parte de los sistemas de satélites

Tabla 2: Aspectos de la implementación de la tecnología por satélite para varias aplicaciones ferroviarias

Tabla 3 Estados de seguridad, integridad y disponibilidad del localizador de la posición de trenes

Índice de figuras

Figura 1: Diferencias principales entre GALILEO, GPS y GNSS

Figura 2: Grado de cumplimiento de los requisitos de la aplicación ferroviaria por parte de cada uno de los sistemas concretos de navegación por satélite y de las combinaciones entre ellos

Figura 3: Del GPS al GALILEO: evolución de la funcionalidad, seguridad y garantías

Figura 4: Calificaciones numéricas de la implementación de las aplicaciones, basadas en cinco criterios de aceptación (puntuación máxima = 50)

Figura 5: Hoja de ruta para la implementación del GNSS y el GALILEO en el ferrocarril

Lista de abreviaturas y acrónimos

Abreviatura Acrónimo	Significado
GPS	NAVSTAR, el sistema de satélites militares de Estados Unidos. A disposición para uso público desde 1989
GLONASS	El sistema de satélites militares rusos. A disposición para uso público desde 1989
EGNOS	Servicio Europeo de Navegación Geoestacionaria
AOR	Área del océano Atlántico – Satélite INMARSAT que difunde las señales EGNOS
IOR	Área del océano Índico – Satélite INMARSAT que difunde las señales EGNOS
GNSS	Sistema global de navegación por satélite: es una denominación genérica para las combinaciones de GPS, GLONASS, EGNOS y GALILEO.
	GNSS-1 se aplica a GPS + GLONASS + EGNOS
	GNSS-2 añade además los servicios interoperables GALILEO
SoL	Servicios Críticos para las Vidas Humana– servicio de GALILEO
GDOP	Dilución geométrica de precisión
LRK	Cinemática de rango amplio
RTK	Cinemática en tiempo real
GALILEO HLDD	Documentos de definición de alto nivel del GALILEO
ESA	Agencia Espacial Europea
GJU	Empresa Común GALILEO
GIC	Canal de integridad en tierra / Concepto de integridad global
INS	Plataforma inercial
LCC	Coste del ciclo de vida
ETRS 89	Sistema europeo de referencia terrestre 89
UMTS	Sistema universal de telecomunicaciones móviles
LORAN-C	Sistema de localización para la radionavegación, basado en la recepción simultánea de, por lo menos, dos ondas de radio con la misma frecuencia, en fase y emitidas desde localizaciones conocidas
SIL	Nivel de integridad de seguridad
PRS	Servicio público regulado
CNTD	Descripción de vía numérica basada en coordenadas
WGS 84	Sistema de referencia global para localización por satélite
TPL	Límite de protección total
PL	Límite de protección
HAL	Límite de alarma horizontal
AL	Límite de alarma
TTA	Tiempo para alarma
IRR	Tasa de riesgo de la integridad
THR	Tasa de peligro tolerable

1. Resumen ejecutivo

GALILEO estará en funcionamiento en el año 2008. Conformará una nueva y potente infraestructura de radionavegación de uso global para beneficio de todos los modos de transporte.

GALILEO complementará a los sistemas militares existentes, GPS y GLONASS. GALILEO es un sistema civil, operado por civiles y bajo control político civil. Ha sido concebido específicamente para uso civil y comercial, y se caracteriza por su solidez, su integridad y por proporcionar garantía de servicio. GALILEO tiene en cuenta los requisitos resultantes de las consultas con diversos grupos de usuarios, incluidos los ferrocarriles.

En Europa existe una necesidad natural de evolución de un sistema ferroviario moderno, de elevadas prestaciones y eficiente, para obtener el máximo provecho del uso de esta nueva infraestructura.

El objetivo primario de este documento es concienciar a los ferrocarriles para que aprovechen esta oportunidad e indicar una forma optimizada para incluir a GALILEO como un elemento constituyente de las funciones y servicios del sistema ferroviario.

Otro objetivo de este documento es identificar los elementos para una hoja de ruta optimizada, en la que se den las consideraciones para consolidar las fortalezas de GALILEO, mitigar sus debilidades y amenazas y maximizar los beneficios.

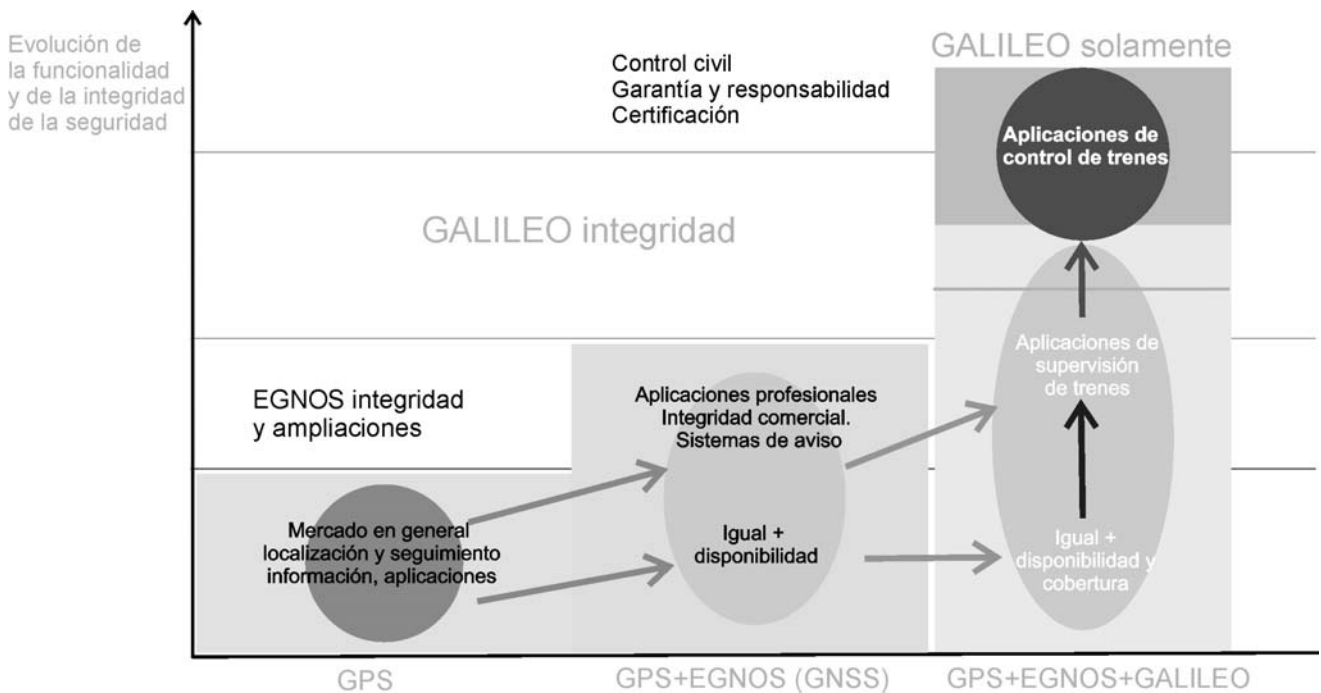
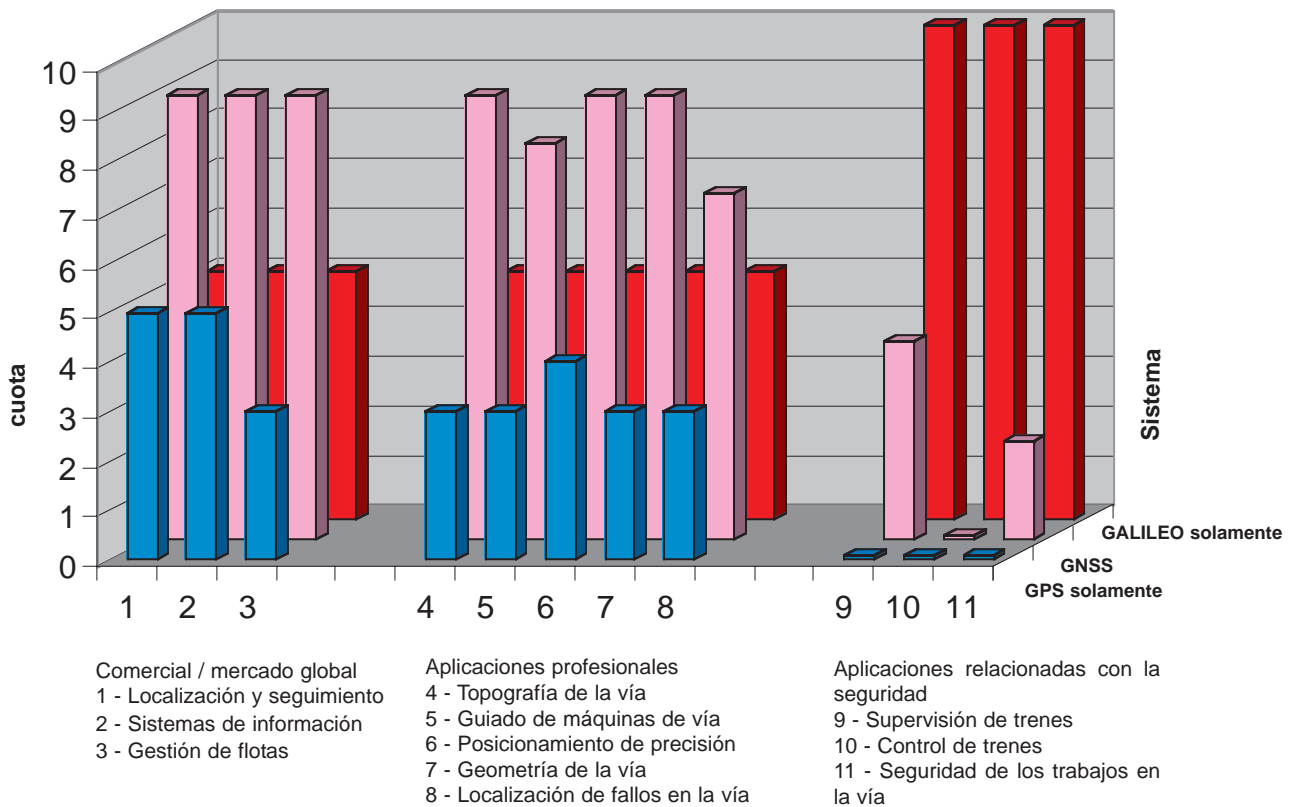
En la tabla que aparece a continuación se muestran las diferencias principales entre GPS, GNSS y GALILEO servicio abierto (G-O.S.), servicio comercial (G-C.S.) y servicio de seguridad vital o servicios críticos para las vidas humanas (G-SoL).

En los campos se han identificado las clases de aplicación:

- comercial, mercado en general, localización, seguimiento e información,
- profesional, ingeniería civil, construcción y mantenimiento de infraestructuras, localización de fallos en la vía y en catenaria,
- aplicaciones relacionadas con la seguridad, en donde la localización por satélite, la medida de la velocidad y la temporización se pueden implantar como funciones superpuestas o como una función de seguridad primaria.

El análisis de las prestaciones de los sistemas de navegación por satélite y de su evolución predecible muestra un cumplimiento, que se incrementa gradualmente, de los requisitos de las aplicaciones ferroviarias.

Característica (criterio)	GPS	GNSS	G-O.S.	G-C.S.	G-SoL
Exactitud	4 –6 m	≈ 1 m	3 –4 m	3 –4 m	3 –4 m
Cobertura	+	+++	++	++	++
Integridad	No	Sí	No	No	Sí
Límite de alarma	No	≈ 20σ	No	No	≈ 20σ
Tiempo para la alarma	No	≈ 6 s	No	No	≈ 6 s
Continuidad del servicio	No	No	No	Sí	Sí
Certificación	No	Sí	No	No	Sí
Responsabilidad	No	Sí	No	Sí	Sí
Control civil	No	No	Sí	Sí	Sí
Pago por el servicio	No	No	No	Sí	Sí
Servicio en interior	No	No	No	Sí	Sí
Componentes locales estándar	No	No	No	Sí	Sí



Sistemas de navegación por satélite y aplicaciones ferroviarias

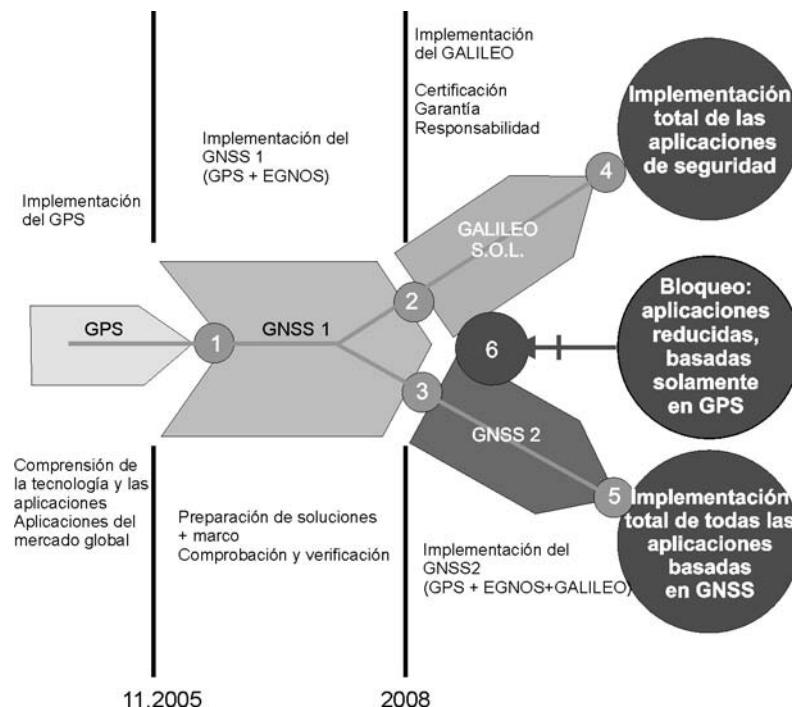
El máximo cumplimiento de los requisitos de las aplicaciones no relacionadas con la seguridad lo proporciona el GNSS. Tiene máxima disponibilidad y cobertura cuando el GPS, EGNOS y GALILEO abierto y servicio comercial son interoperables y complementarios.

Las aplicaciones relacionadas con la seguridad pueden ser satisfechas con la utilización de GALILEO Servicios críticos para las vidas humanas, que ofrecerá integridad, certificación, garantía de continuidad y responsabilidad en caso de no funcionamiento.

La figura anterior ilustra la migración del GPS al GALILEO, con la evolución de la funcionalidad, integridad de la seguridad, control civil, certificación y responsabilidad.

cación para cada modo de transporte y aún menos probable la repetición de la certificación para las diferentes clases de aplicación. Por ello, el usuario del ferrocarril estará convencido de que el sistema incluye los requisitos de fiabilidad y satisface las especificaciones de diseño. La certificación debería proporcionar también las herramientas y métodos que permitan la comprobación de las prestaciones a nivel de usuario. Por ello, la certificación debería ir acompañada de la especificación de los receptores de referencia (para cada una de las clases de aplicación) y de las metodologías de comprobación.

La hoja de ruta muestra la ruta de migración y permite identificar, para cada fase, las opciones y acciones para evitar el bloqueo y hacer posible la obtención de



GALILEO es el sistema que logra el máximo compromiso de cumplimiento de los requisitos de todos los modos de transporte y también de otros sectores de aplicación. Intrínsecamente, en tal situación se han identificado debilidades. El Grupo de Aplicación de la tecnología considera que las debilidades de GALILEO no son críticas y las acciones decisivas, lideradas por la comunidad de transportes y por los ferrocarriles a través de sus grupos de interés, pueden mitigar suficientemente los riesgos.

Existe una necesidad especial de participar en el proceso de certificación y validación del sistema GALILEO. La extrema complejidad del sistema y su dimensión mundial hacen imposible la repetición de la certifi-

los beneficios totales de la utilización completa del GNSS y GALILEO para el ferrocarril.

Las acciones prioritarias de la fase siguiente, que comienza en 2006, son:

Certificación de GALILEO para aplicaciones de seguridad: los grupos de interés del ferrocarril participarán en la certificación de GALILEO y deberían entablar una relación de certificación específica con la empresa operadora GALILEO y con la Autoridad de Supervisión de GALILEO.

La comunidad ferroviaria y la industria identificarán **la utilización económica de GALILEO**, para aplicacio-

nes de Seguridad, en casos y condiciones concretos. La UIC ayudará en esta acción, proporcionando líneas directrices para llevar a cabo este análisis básico.

Llevar a cabo acciones de promoción (compartir mejores prácticas, crear un marco "precompetitivo" para el diseño de soluciones, prepararse para las nuevas tecnologías) hará más fácil la implantación de las aplicaciones y contribuirá a reducir las debilidades y a evitar el bloqueo creado por las amenazas potenciales.

Aplicación de GEORAIL, el marco de referencia cartográfico estándar europeo EDTRS89, para proporcionar una armonización total de las aplicaciones que utilizan la localización por satélite.

2. Introducción

GALILEO estará operativo en el año 2008. Formará una nueva y potente infraestructura de radionavegación de uso global para beneficio de todos los modos de transporte.

GALILEO complementará a los sistemas operativos militares existentes, GPS y GLONASS. GALILEO es un sistema civil, operado por civiles y bajo control político civil. Ha sido diseñado específicamente para uso civil y comercial, y se caracteriza por su solidez, su integridad y por proporcionar garantía de servicio. GALILEO tiene en cuenta los requisitos resultantes de las consultas con diversos grupos de usuarios, incluidos los ferrocarriles.

En Europa existe una necesidad natural de evolución hacia un sistema ferroviario moderno, de elevadas prestaciones y eficiente, para obtener el máximo provecho del uso de esta nueva infraestructura.

El objetivo primario de este documento es concienciar a los ferrocarriles para que aprovechen esta oportunidad e indicar una forma optimizada para incluir a GALILEO como un elemento constituyente de las funciones y servicios del sistema ferroviario.

El Servicio Europeo de Navegación Geoestacionaria (EGNOS), que ya se encuentra en situación de funcionar para pruebas y validación, crea la base para las prestaciones mejoradas del GPS y emite indicaciones de integridad y aumentación. El EGNOS emite para los usuarios a través de INMARSAT, AOR, IOR y ARTEMIS. La concepción de la supervisión e integridad que tiene el EGNOS se incluirá en el GALILEO. Finalmente, cada satélite GALILEO emitirá las señales de correcciones de determinación de la distancia, de integridad y de autenticación.

La utilización conjunta del GPS y EGNOS hace posible que funcionen aplicaciones ferroviarias que demandan más exactitud e integridad que las que proporciona solamente el GPS. Es de lamentar que el GPS, dado su carácter militar, no ofrezca ninguna garantía de continuidad en el servicio. Esto significa que el GNSS constituye una base para las pruebas intensivas en el entorno ferroviario, como precursor para la evaluación de las prestaciones del sistema GALILEO, y proporciona la oportunidad de crear y ajustar la metodología de comprobación y de promocionar una cooperación "precompetitiva" entre el ferrocarril y la industria, para el diseño de nuevas aplicaciones.

La introducción de las aplicaciones GALILEO en el ferrocarril tendrá que superar dificultades inherentes y amenazas. El modo de introducción de las aplicaciones GALILEO se podría optimizar mediante el ahorro de recursos, la puesta en común de experiencias, el acortamiento de los períodos de introducción, la evitación de acciones paralelas o divergentes innecesarias y la maximización de los impactos y los beneficios.

Por tanto, otro objetivo de este documento consiste en identificar los elementos para una hoja de ruta optimizada, en la que se den las consideraciones para consolidar las fortalezas de GALILEO, mitigar sus debilidades y amenazas y maximizar los beneficios.

Se anima a la industria y los ferrocarriles miembros de la UIC a continuar liderando acciones comunes y a mejorar la "navegación" sobre esta hoja de ruta hacia el objetivo común: maximizar la eficiencia y los beneficios para el sistema ferroviario y la industria que se deriven de las infraestructuras del GNSS y GALILEO.

3. Estructura del documento

La sección **Análisis de las prestaciones - tecnología de vanguardia** muestra brevemente las prestaciones del GNSS, tal como se han comprobado dentro del entorno ferroviario. Explicaciones técnicas más detalladas y las relaciones para las que estas prestaciones pueden ser relevantes para el futuro GALILEO se pueden encontrar en los informes a los que se hace referencia, así como en los informes finales de los proyectos llevados a cabo para ese trabajo.

La sección **Diferencias entre GPS, GNSS y GALILEO** proporciona un informe sobre las características de los servicios GPS, GNSS y GALILEO, y subraya las diferencias entre ellos.

La sección **Clases de aplicación y requisitos** relaciona las clases de aplicaciones más relevantes dentro del sistema ferroviario. La sección enumera los requisitos más estrictos para cada clase, en este ámbito, con el fin de indicar los límites más exigentes. En cada una de las clases de aplicación se podrían considerar requisitos más laxos, dependiendo de las exigencias particulares de cada aplicación en cuestión. Se han enumerado también los requisitos más estrictos para cada clase, para proporcionar una visión de los posibles límites de viabilidad, teniendo en cuenta la tecnología actualmente disponible.

La sección **Del GPS al GNSS y el GALILEO** proporciona una comparación del grado de correspondencia con los requisitos ferroviarios, que tienen cada uno de los sistemas de radionavegación, solos o en combinación con otros sistemas. La presentación propone los criterios que pueden ser relevantes para situar cada sistema y combinación de sistemas en relación con las clases de aplicación. La presentación tiene como objetivo proporcionar una visión de la utilidad de cada sistema de radionavegación y de su impacto en los sistemas ferroviarios.

La sección **Hoja de ruta hacia el GALILEO** presenta las fortalezas, oportunidades, debilidades, amenazas e impactos de GALILEO. Este análisis concluye identificando el potencial de promover acciones y recomendaciones para mitigar las dificultades y evitar el bloqueo. La intención es llegar al "punto de disponibilidad del ferrocarril y la industria", en el que la industria estaría lista para producir, y los ferrocarriles usuarios preparados para aceptar, una implantación de las aplicaciones de mayor impacto, basadas en GNSS y GALILEO. "Navegar" de este modo así optimizado supone también alcanzar el "punto de disponibilidad" simultáneamente con la fase operacional de GALILEO.

El análisis no considera en esta fase los desarrollos del mercado, que serán muy importantes, ni los aspectos de los costes (aspecto económico). Estos aspectos serán analizados en el próximo informe de la UIC, proyecto GALILEO, aplicaciones para el ferrocarril, área temática B: "Elementos para la evaluación económica de las aplicaciones GALILEO para la Seguridad".

La **Conclusión** comenta brevemente el potencial de GALILEO para satisfacer los requisitos de la aplicación ferroviaria.

La **Recomendación para el plan de acción** proporciona una síntesis de las acciones que deben iniciarse o continuarse, así como una relación de los efectos (negativos) más importantes de las desviaciones con respecto a la hoja de ruta.

Los **Anexos** van unidos a este documento con explicaciones técnicas más detalladas, definiciones de los términos específicos utilizados en radionavegación, glosario de abreviaturas y referencias.

4. Análisis de las prestaciones - tecnología de vanguardia

Puesto que GALILEO es un sistema que todavía se halla en una fase inicial, aún no se han llevado a cabo pruebas a escala real con él. Sin embargo, los resultados disponibles de las pruebas con GPS + EGNOS (GNSS) proporcionan una información realista con respecto a las prestaciones que se pueden alcanzar con la tecnología de navegación por satélite en el entorno ferroviario.

Las investigaciones, pruebas y desarrollos con GPS + EGNOS son importantes para GALILEO en lo que respecta a la interoperabilidad y la compatibilidad que el sistema GALILEO tendrá con el GPS. La integridad y solidez real del GALILEO -especialmente en lo referente a los Servicios de Seguridad para las Vidas Humanas, SoL- no han sido probadas en el entorno ferroviario, pero sí han sido aceptadas como objetivo de prestaciones después de un examen riguroso de los Documentos de Definición de Alto Nivel del GALILEO. De manera similar, todavía está por establecer el principio de garantía de servicio entre la operación del GALILEO SoL y las autoridades de seguridad ferroviaria.

Las prestaciones enumeradas más abajo ya han sido probadas dentro del entorno ferroviario, como parte de un cierto número de proyectos UE, ESA y otros nacionales (anexo...).

- **A. La determinación de la distancia (posicionamiento) sin aumentación** (GPS servicio público solamente). La exactitud horizontal en este caso es, normalmente, de 4 a 6 m, con 2s para una confianza estadística del 95%. Esta prestación es válida en condiciones nominales, si hay más de 4 satélites "a la vista", cuando tienen una posición favorable para la triangulación (bajo GDOP - dilución geométrica de la precisión) y la recepción no está afectada por interferencias, multitrayecto significativo o trayectos alternativos. La exactitud decrece si el multitrayecto, el trayecto alternativo y/o GDOP tienen una influencia desfavorable;

- **B. La determinación de la distancia (posicionamiento) sin aumentación, pero con fusión de sensores**, para asegurar la cobertura en las áreas en sombra u oscuras (áreas donde la señal de satélite se recibe con dificultad o no se recibe en

absoluto). Pruebas con varios sistemas de fusión han demostrado que la prestación del posicionamiento se puede mejorar si se aplica una fusión basada en la "estrategia de la mejor prestación" (odómetro calibrado a bordo, giroscopio, girómetro, referencia en la vía). La prestación típica de la exactitud en condiciones nominales es, en este caso, de 3,5 a 4,5 m, con 2s para una confianza del 95%. Pero la exactitud del posicionamiento en las áreas oscuras decrece con la longitud de la ruta en la oscuridad y es fuertemente dependiente de la calidad de los sensores (deriva, sesgo), la exactitud y calidad de la última posición determinada antes de la oscuridad y la calidad del algoritmo de fusión (criterios de mejor prestación, estrategia del filtro de KALMAN);

• **C. La función del posicionamiento con aumentación** (aumentos de área local y de área amplia, donde esta última aplica el EGNOS AOR e IOR WAAS), ya sea como una arquitectura de "sólo receptor" o con aplicación de una arquitectura de "plataforma de fusión de sensores" tiene mejores resultados y puede lograr una exactitud del orden de 1 metro para una confianza del 95%. La navegación asistida "híbrida" en oscuridad se mejora por lo tanto cuando se utiliza el posicionamiento amplificado;

• **D. La función del posicionamiento con la utilización especial de los sistemas de aumentación locales, dentro de las técnicas LRK (cinemática de rango amplio) o RTK (cinemática en tiempo real).** Estas técnicas se han desarrollado para utilizar Aumentación de Área Local, basada en la radiodifusión de la posición real determinada desde una estación de referencia local (estacionaria), cuya posición exacta está predeterminada (en un rango de aprox. 1 cm). En algunas aplicaciones es suficiente un postprocesado sin radiodifusión. El receptor RTK (o LRK) computa las correcciones, habiendo evaluado los errores desde el fijo estacionario. El resultado es una determinación de la posición con una exactitud típica de 10 cm, para una confianza estadística del 95%, en condiciones nominales.

El Apéndice I proporciona un resumen de los servicios relevantes GALILEO y sus prestaciones según diseño. La información está extractada de los Documentos de Definición de Alto Nivel del GALILEO, de la UE y la ESA, que son la base para el diseño final y el despliegue del sistema GALILEO.

Característica (criterio)	GPS	GNSS	G-O.S.	G-C.S.	G-SOL
Exactitud	4 –6 m ^a	≈ 1 m	3 –4 m ^b	3 –4 m ^c	3 –4 m ^d
Cobertura	+	+++	++	++ ^e	++ ^f
Integridad	No	Sí ^g	No	No	Sí
Límite de alarma	No	≈ 20σ	No	No	≈ 20σ
Tiempo para la alarma	No	≈ 6 s	No	No	≈ 6 s
Continuidad del servicio	No	No	No	Sí	Sí
Certificación	No	Sí	No	No	Sí
Responsabilidad	No	Sí ^h	No	Sí	Sí
Control civil	No	No	Sí	Sí	Sí
Pago por el servicio	No	No	No	Sí	Sí ⁱ
Servicio en interior	No	No	No	Sí	Sí
Componentes locales estándar	No	No	No	Sí	Sí

^a Exactitud en condiciones nominales. Es posible el uso de aumentación, basada en servicios de aumentación locales o regionales. En este caso la exactitud será de un rango ≈ 1 m. El efecto de las correcciones enviadas por una estación de referencia es válido para radios de ≈ 60 km.

^b Exactitud en condiciones nominales. El uso de aumentación puede proporcionar una exactitud de ≈ 1 m. Las correcciones son proporcionadas por servicios auxiliares de GALILEO Servicio abierto.

^c Exactitud en condiciones nominales. GALILEO Servicio comercial tiene la oportunidad de incluir servicios auxiliares para la aumentación (exactitud en el rango de ≈ 1 m) y de radiodifusión de la integridad basándose en una vigilancia de la integridad local o regional. El Servicio comercial puede también añadir una garantía de servicio y proporcionar una responsabilidad para las interrupciones sin aviso.

^d Exactitud en condiciones nominales. Pueden aplicarse aumentaciones basándose en los servicios auxiliares

(aumentación local o regional e integridad para el SoL) o pueden ser enviadas por cada uno de los satélites GALILEO.

^e La cobertura basada en la visibilidad de los satélites se mejorará por medio de los componentes locales estándar de GALILEO (ejemplo: "pseudolitos"), especialmente diseñados para hacer posible el servicio en interior.

^f Véase la nota 5.

^g La indicación de la integridad del GPS es proporcionada por el EGNOS. El problema de la visibilidad pobre de los satélites geostacionarios desde un vehículo en tierra puede ser un factor de limitación para algunas aplicaciones.

^h Sólo para el sistema EGNOS. El GPS no es actualmente certificable para su utilización en Europa.

ⁱ El pago por SoL puede ser una opción de la Empresa Operadora GALILEO. Aún no se ha evaluado en qué condiciones los servicios esenciales para la sociedad (por ejemplo: el transporte por ferrocarril) tendrán que pagar para el acceso al SoL.

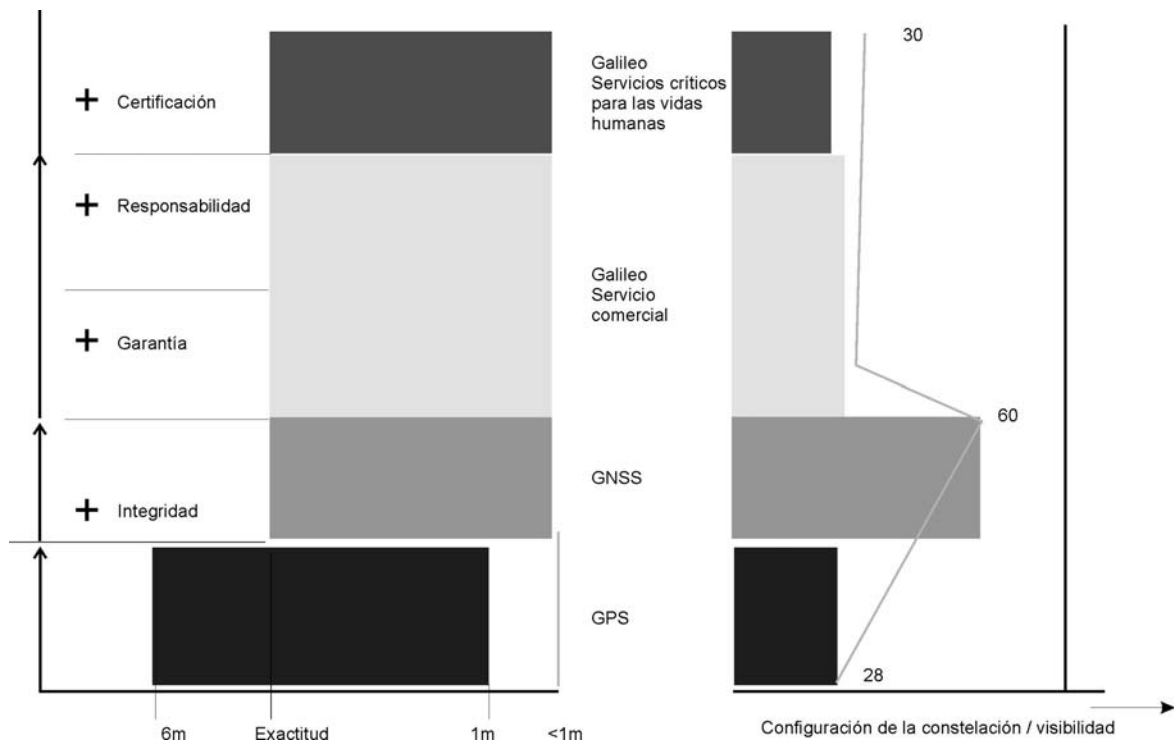
5. Diferencias entre GPS, GNSS y GALILEO

En la tabla anterior se recogen de forma esquemática las diferencias entre el GPS, el GNSS y los servicios principales del GALILEO.

La siguiente figura muestra los principales elementos diferenciadores del GALILEO con respecto al GPS. La ventaja del GALILEO consiste en las prestaciones certificadas, integridad, garantía de la continuidad del servicio y la responsabilidad.

- Continuidad del servicio: no crítica, se puede tolerar una falta de disponibilidad temporal, Las combinaciones interoperables de GPS + EGNOS + servicio abierto de GALILEO proporcionarán la constelación más completa (alrededor de 60 satélites en órbita) y por lo tanto mejor visibilidad y disponibilidad. Pero la integridad, garantía, responsabilidad por el servicio y certificación de GALILEO sólo se aplican a los 30 satélites de éste.
- Solidez: no crítica, pero se puede solicitar protección para los datos comerciales críticos,

Figura 1: principales diferencias entre GALILEO, GPS Y GNSS



6. Clases de aplicaciones y requisitos

En el sistema ferroviario se han definido tres clases principales de aplicaciones:

6.1 Comercial, Mercado global, localización y seguimiento e información al público

Los requisitos típicos de esta clase de aplicación son:

- No hay requisitos relacionados con la seguridad,
- Exactitud del posicionamiento: no crítica, 10 m son suficientes para todas las aplicaciones,
- Cobertura: no crítica, se puede tolerar una cobertura parcial,

- RAM (reliability, availability and maintainability, es decir, fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad): se definirá para cada aplicación individual

Todas las aplicaciones de esta clase puede ser servidas por el GPS por sí mismo.

6.1.1 Ejemplos de aplicaciones que están actualmente en servicio, basadas en el GPS

Éstas son:

- Los sistemas de seguimiento de los vagones de mercancías están adoptando actualmente una dinámica de "despegue". Se están inventariando aplicaciones en SNCF, DB, SNCB, países nórdicos y algunas de las compañías de logística "privadas"

(Volkswagen - Audi, Rhone-Poulenc, Nordwaggon, Railion...). Las aplicaciones se benefician del servicio GPS. Actualmente más de 60.000 vehículos están equipados con localizadores en combinación con sistemas de comunicación (GSM) y microprocesadores, para asegurar unas funciones "más inteligentes" a bordo (seguimiento de las cargas).

- Localización y seguimiento combinados con sistemas de diagnóstico para locomotoras. Aplicaciones de este tipo están localizadas en SNCF, SNCB, DB y TREINITALIA.

- Monitorización de la flota TGV (SNCF).

- Sistemas de información para los viajeros que indican la posición del tren, posible llegada a destino y evaluación de los retrasos. El sistema se aplica en Alemania (DB). Localiza la posición del tren por medio del GPS y combina esta posición con los sistemas de información al viajero existentes. Un servicio adicional es la difusión de información a través del GSM (SMS para información del tren).

- En Italia también se han implementado sistemas de información para los procedimientos de establecimiento de itinerarios, hasta la estación Roma Termini.

- En el Reino Unido, desde 1999 todos los trenes nuevos están equipados con GPS. Además, los "trenes de mantenimiento" utilizan GPS y sensores adicionales para detectar los desvíos y la vía actual.

6.1.2 Mejoras esperadas gracias a GALILEO

Las mejoras no son esenciales, pero contribuirán a:

- una mejor cobertura y disponibilidad del sistema,
- la continuidad del servicio (posiblemente demandado en casos comerciales críticos)
- mejores prestaciones por lo que respecta al posicionamiento
- ampliación del servicio con aplicaciones en interiores (utilizando componentes locales GALILEO para servicios de navegación en lugares cerrados).

Aplicaciones propuestas, que podrían beneficiarse del aumento de disponibilidad y cobertura, son:

- optimización de la conducción: de acuerdo con la posición del tren y el tráfico monitorizado en el área controlada, se pueden enviar avisos (u horarios dinámicos) al maquinista, para optimizar el flujo del tráfico. Para que el sistema fuera eficiente, una parte suficiente del material rodante que circula por zonas congestionadas debería estar equipada.

- Esto se puede hacer también para ahorrar energía.

- Tarificación del acceso a la infraestructura: control automático (hora, posicionamiento y distancia) e imposición de cánones por la utilización de la vía.

- Localización de defectos en la infraestructura (mantenimiento): localización exacta de los defectos detectados por los vehículos de inspección (o por vehículos comerciales especialmente equipados), para el mantenimiento de la infraestructura.

6.2 Profesional, Ingeniería Civil, Construcción y Mantenimiento de la Infraestructura, Localización de fallos en la vía y la catenaria

Los requisitos típicos de esta clase de aplicación son:

- una exactitud elevada: 1 - 2 m y poder alcanzar una exactitud de menos de 10 cm con las técnicas LRK y RTK;

- cobertura: es crítica, se requiere una cobertura completa (las áreas "oscuras" no pueden beneficiarse de las aplicaciones, pero se pueden tolerar excepciones);

- continuidad del servicio: no es crítica, se pueden tolerar discontinuidades;

- solidez e integridad: no es crítica, pero la aplicación deberá proporcionar el rechazo de la degradación del funcionamiento vinculada al ruido;

- RAM (fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad): a definir para cada aplicación individual.

6.2.1 Aplicaciones ferroviarias servidas actualmente por el GPS

Se indican aquí varios ejemplos:

- guiado de máquinas de vía (proyecto UIC)
- control, relacionado con la posición, de las máquinas de engrase de la vía (DB)
- localización del trazado de la vía (utilizando precisión RTK)
- posicionamiento de los elementos de la estructura de los puentes (de forma aproximada con exactitud por debajo del centímetro y refinamiento posterior con tecnologías basadas en láser, hasta llegar al rango de exactitud de milímetro requerida)
- topografía del trazado de la vía (utilizando precisión RTK)

6.2.2 Los beneficios de GALILEO

GALILEO mejorará las prestaciones de las aplicaciones con respecto a:

- aumento de la exactitud por medio de la utilización de WAAS (sistemas de aumentación de área amplia de EGNOS) y de componentes locales estándar, para ampliar las áreas en las que se puede trabajar (menos porciones oscuras o en sombras de la infraestructura ferroviaria). El efecto sería la reducción de costes -en muchos casos ya no sería necesario el uso de estaciones locales de referencia ad-hoc-,
- aumento de la solidez: una arquitectura dual de los sistemas puede mejorar la solidez de la localización y proporcionar más integridad con medios simples,
- utilización de componentes locales para la cobertura en espacios cerrados.

Ejemplos de aplicaciones propuestas, que se benefician de la adición del GALILEO, son:

- construcción y mantenimiento de la vía: la localización absoluta aporta una mejor exactitud, en comparación con los métodos tradicionales.

6.3 Aplicaciones relacionadas con la seguridad

En cuanto a las aplicaciones relacionadas con la seguridad con GNSS, hay tres grupos de aplicación representativos:

- Sistema de control de trenes
- Sistema de supervisión de trenes
- Protección del personal en trabajos de vía (por ejemplo: trabajadores de mantenimiento)

La diferencia principal entre las dos primeras aplicaciones es que, en los sistemas de supervisión de trenes, la localización de trenes basada en satélite es un sistema superpuesto, mientras que en el sistema de control de trenes se trata de un sistema de seguridad primario. En consecuencia, los requisitos de las prestaciones, especialmente la seguridad, son diferentes. El tercer grupo es una aplicación especial relacionada con la seguridad de las vidas humanas. Utiliza el GNSS en el tren y una comunicación por radio entre el tren y la vía, de tal manera que el personal que se encuentre al lado de ésta pueda ser avisado de la llegada de un tren. Los trabajadores de mantenimiento de la vía se pueden beneficiar especialmente de este sistema de aviso.

6.3.1 Requisitos de las prestaciones

Los requisitos de las prestaciones son fuertemente dependientes del papel y las funciones de la localiza-

ción del tren basada en GNSS dentro de la aplicación. Consecuentemente, la distribución del objetivo de Seguridad entre estas funciones sería posible siguiendo los procedimientos definidos en las normas de seguridad. De hecho, no hay una meta de seguridad genérica para los localizadores del GNSS. Los proyectos realizados y aquellos a los que se refieren los anexos (APOLO, INTEGRAL, RUNE, GADEROS, LOCO-PROL) han identificado requisitos diversos.

En todos los casos, la aplicación del principio básico de seguridad exige que se detecte la información del localizador FALSE (= falso)¹ y que se elimine por filtrado, dentro de un período de tiempo dado y con una probabilidad extremadamente alta. En una situación ideal, el uso de información falsa no debería estar permitido en absoluto, pero en la realidad se puede tolerar aún una (muy) pequeña probabilidad de que ocurra. Esto representa el Riesgo de la Integridad. En otras palabras, la definición de los requisitos de la prestación, relevantes para la seguridad, deberán identificar tres parámetros simultáneamente:

- el límite de exactitud, AL (en relación con la exactitud nominal de la aplicación),
- el tiempo para la alarma, TTA, que es el tiempo transcurrido desde que ocurre la información falsa hasta su detección,
- el riesgo de integridad, que es la probabilidad (muy) pequeña de que la información falsa sea utilizada y sea tomada por verdadera, por ejemplo, cuando el AL y/o el TTA han sido superados.

Los requisitos derivados de las exigencias del ETCS para la localización con Eurobalizas, cuando la aplicación GALILEO en cuestión es la baliza virtual² pueden ser citados como ejemplo. Éstos constituyen probablemente los requisitos de seguridad más elevados. La factibilidad técnica derivada de este ejemplo debería considerarse como una prueba de que también son factibles otras aplicaciones con requisitos menos exigentes.

- Exactitud: 2,6 m longitudinales en la dirección de la vía con un 95% de confianza estadística³
- Riesgo de integridad: menor que 10^{-11} / h, pero en aplicaciones relacionadas con la "captura por balizas" el intervalo de tiempo es menos exigente
- Tiempo para la alarma: 1 segundo para la aplicación (pérdida de integridad durante la fase funcional crítica)
- Límite de alarma: no está claramente especificado⁴
- Determinación de la velocidad: mejor que la medida basada en el odómetro sobre eje del tren. La inexactitud del odómetro mecánico del tren no es un requisito estándar. Información basada en el análisis de los requisitos de control de la curva de frenado y de la

reposición (reset) del error del odómetro ETCS indica un máximo de inexactitud tolerable de la determinación de la velocidad, que se encuentra en un rango del 2% de la velocidad instantánea, para velocidades superiores a 10 km/h

- Cobertura: generalmente se exige una cobertura total, pero se puede tolerar una cobertura parcial en algunos escenarios de aplicación

- Continuidad en el servicio: es un requisito crítico. La interrupción del servicio interrumpirá las operaciones de los trenes en toda el área servida por la aplicación o haría que dicha operación se llevara a cabo en un modo considerablemente degradado (susceptible de afectar gravemente a la calidad y la seguridad)

- RAM: se determinará para cada aplicación individual, cuando se aplique la metodología ETCS especificada (si se consideran los requisitos RAM del sistema con distribución de elementos donde la localización y la determinación de la velocidad sean críticas).

6.3.2 Ejemplos de aplicaciones que pueden utilizar combinaciones GNSS con integridad EGNOS

Hay aplicaciones en las que la localización soportada por satélite no es utilizada como sistema de seguridad primaria, sino como una función superpuesta:

- Seguimiento de los vagones que transportan mercancías peligrosas
- Ayuda al maquinista y comprobación de la elección del pantógrafo y del sistema de señalización. En la iniciación, o si se produce una reinicialización en línea, un sistema de a bordo que relaciona la posición del tren con las características de la infraestructura evitará los posibles errores del maquinista en el reconocimiento y la elección del pantógrafo y/o del tipo de señalización
- Ayuda al maquinista para el reconocimiento de la línea. En caso de modificación del enrutamiento del tráfico, se le puede presentar al maquinista un libro de ruta dinámico
- Alarmas de seguridad: nuevo sistema de alarma a desarrollar, para la seguridad del viajero o del personal, en caso de ataque
- Localización del tren por medio del envío de una alarma por radio
- Salvaguarda del personal que está trabajando en la vía: se necesita una conexión por radio segura entre el personal de vía y el centro de control del tráfico. La localización del personal es transmitida permanentemente al centro. Cuando se aproxima un tren, el centro envía una alerta al personal.

El papel de GALILEO es esencial en las demás aplicaciones relacionadas con la seguridad, en las que la función de localización es un sistema primario

de seguridad para confirmar la prueba de la dependencia de los parámetros RAMS. Las aplicaciones relacionadas con la seguridad necesitan también una continuidad completa del servicio, si GALILEO está pensado para soportar funciones que son de importancia primaria para la seguridad. La aportación de la garantía del servicio y de responsabilidad, bajo las condiciones de la certificación, es el requisito necesario cuando GALILEO cumple el papel de un elemento constituyente de la seguridad ferroviaria.

En Europa, el importante papel del servicio ferroviario continuo con control de RAMS impone la existencia y uso de GALILEO SoL (preferido PRS) para la construcción de aplicaciones relacionadas con la seguridad. Aunque el "canal de integridad en tierra" EGNOS aplicado al GPS podría ser un punto de partida para la construcción de aplicaciones que demanden más integridad (eventualmente compatible con SIL 4 en una aplicación ferroviaria), la falta de garantía de la continuidad de servicio del GPS sigue representando una preocupación de primer orden. Las primeras aplicaciones relacionadas con la seguridad podrían utilizar GPS + EGNOS como sistema de localización superpuesto, pero no como un sistema primario de seguridad⁵.

Obviamente, el papel de GALILEO es esencial para la construcción de sistemas relacionados con la seguridad para los ferrocarriles europeos.

6.3.3 Ejemplos de aplicaciones con el GALILEO solamente (servicio SoL)

En Europa, el uso de tecnología de navegación por satélite para aplicaciones de seguridad basadas en las normas no se ha iniciado aún dentro de un entorno operacional real.

Puesto que el ETCS se convierte en la norma única para la interoperabilidad de los ferrocarriles europeos, la construcción de aplicaciones de seguridad del GALILEO para la señalización tiene como meta el cumplimiento de la macrofunción de la localización de los trenes con prestaciones y requisitos de seguridad equivalentes a los de la tecnología clásica (Eurobaliza, odometría a bordo). La BALIZA VIRTUAL y el uso de receptor de satélite como un sensor medidor de la velocidad ya han sido probados en proyectos piloto (APOLO, GADEROS, INTEGRAL, RUNE).

- Soluciones interoperables ETCS

- La BALIZA VIRTUAL podría ser un dispositivo factible, si se utiliza el GALILEO SoL. Es posible una mejora de la integridad de la localización para

una captura de baliza virtual con múltiples soluciones, utilizando la redundancia de los sensores (laboratorio de sistema inteligente, CD, Pardubice), utilizando la vía de guiado del tren como una referencia para la cualificación de la seguridad de la posición fijada por medio del localizador del satélite (Bombardier, ERRI/UIC, SENER). Un problema pendiente aquí es la concepción de las soluciones de la aplicación industrial en condiciones que permitan que hagan interfaz estándar con el equipo de a bordo del ETCS.

- La odometría asistida por satélite es viable con menos complicaciones con respecto a los requisitos de seguridad, cobertura y continuidad de servicio, si la velocidad GNSS es una función superpuesta. [Véase también la nota a pie de página nº 14]. La viabilidad ha sido comprobada (ANSALDO, proyecto RUNE).

- Control de tren ERTMS en líneas con escasa densidad de tráfico: la localización basada en satélite evita los costosos circuitos de vía. En las zonas de estación se necesita una exactitud mayor: iniciación del tren (selección de la vía), gestión de tráfico en zonas cortas de maniobras o clasificación.

· Soluciones no ETCS

- LOCOPROL / LOCOLOC parte de la idea de la localización continua de los trenes mediante los sistemas de operación de trenes con receptor de satélite, que toleran una exactitud menor (en comparación con el caso del ETCS), pero siguen respetando unos altos requisitos de seguridad. En ausencia de la difusión de la integridad real de GALILEO, el receptor LOCOPROL alcanza el SIL que se necesita para la localización, si se implementan algoritmos especiales, basados en la intersección de la trayectoria del tren con los elipsoides de los pares de satélites de posicionamiento que están visibles. La concepción matemática y los algoritmos aseguran una exactitud muy limitada, del orden de cientos de metros. Lo innovador de las soluciones globales de LOCOPROL estriba en que se considera la función de localización por satélite como un componente de los sistemas de operación de trenes adaptados a la baja densidad de tráfico, en lugar de como un sistema que ya es estándar.

- Otras aplicaciones de control de trenes no estándar están actualmente limitadas a líneas locales aisladas, con menos impacto de la discontinuidad del servicio y donde no hay otra alternativa basa-

da en la tecnología clásica que sea más efectiva en cuanto a la seguridad y el coste del ciclo de vida (LCC)⁶.

- En Estados Unidos se han introducido sistemas operacionales, basados en GPS con integridad y continuidad⁷ asegurada en todo el territorio nacional. Los sistemas son compatibles e interoperables con el estándar PTC (Control Positivo de Trenes).

7 - Del GPS al GNSS y el GALILEO

El análisis de las prestaciones de los sistemas de navegación por satélite y de su evolución predecible muestra un cumplimiento cada vez mayor de los requisitos de las aplicaciones ferroviarias.

Todos los sistemas pueden satisfacer las necesidades de exactitud de las aplicaciones ferroviarias. Los requisitos de una exactitud elevada (en el rango de metros) se podría satisfacer si se aplicaran aumentaciones, ya sea a través de EGNOS o de instalaciones de aumentación locales dedicadas, tales como estaciones de referencia. Las demandas de exactitud muy elevada, en el rango de centímetros (o aun milímetros) se pueden satisfacer mediante la aplicación de técnicas especiales (Cinemática en Tiempo Real, Cinemática de Rango Amplio) en conjunción con estaciones de referencia dedicadas, con o sin enlace por radio entre la estación de referencia y el localizador de a bordo⁸.

La cobertura total de la ruta -cuando existen áreas oscuras o con insuficiente visibilidad de los satélites- sigue siendo, para todos los sistemas, un problema que probablemente se pueda resolver por medio de la fusión de sensores en el localizador de a bordo. Otra solución, que no ha sido aún suficientemente probada, es la redifusión de las señales de los satélites en túneles.

Una función específica del futuro GALILEO es la difusión en lugares cerrados o interiores por medio de componentes locales estándar (tales como los "pseudolitos" o "pseudosatélites"), que son dispositivos dedicados justamente a las aplicaciones en interiores. En la actualidad, estos dispositivos todavía no están completamente especificados.

Teniendo en cuenta los elementos citados anteriormente, comunes a todos los sistemas, el grado de cumplimiento de requisitos de las aplicaciones ferroviarias diferencia a los sistemas en los siguientes aspectos:

· **Disponibilidad** del sistema y de las combinaciones de sistemas cuando se utilizan según sus características de interoperabilidad. La combinación de GPS y EGNOS proporciona más disponibilidad que el GPS por sí solo (más tres satélites en órbita geostacionaria) y la adición de la constelación GALILEO ofrece aún más disponibilidad, dado que se duplica el número de satélites en órbita. Más disponibilidad para la localización significa también mejor localización en áreas "de sombra", en las que se pueden obtener mejoras en la cobertura y la exactitud.

· **La funcionalidad** de la combinación de sistemas se incrementa cuando el EGNOS añade la difusión de las señales de integridad y aumentación, en combinación con el GPS. Los problemas de la pobre visibilidad de los satélites EGNOS, colocados en órbita ecuatorial, se eliminan cuando cada satélite de la constelación GALILEO esté habilitado para enviar sus propias señales para las correcciones y la integridad.

· **La garantía para el servicio abierto** solamente es proporcionada por el GALILEO Servicio Comercial. Esto permite añadir una funcionalidad

que puede ser empleada por aplicaciones sensibles a comportamientos o prestaciones específicos (tales como la exactitud, la integridad o la cobertura en condiciones nominales).

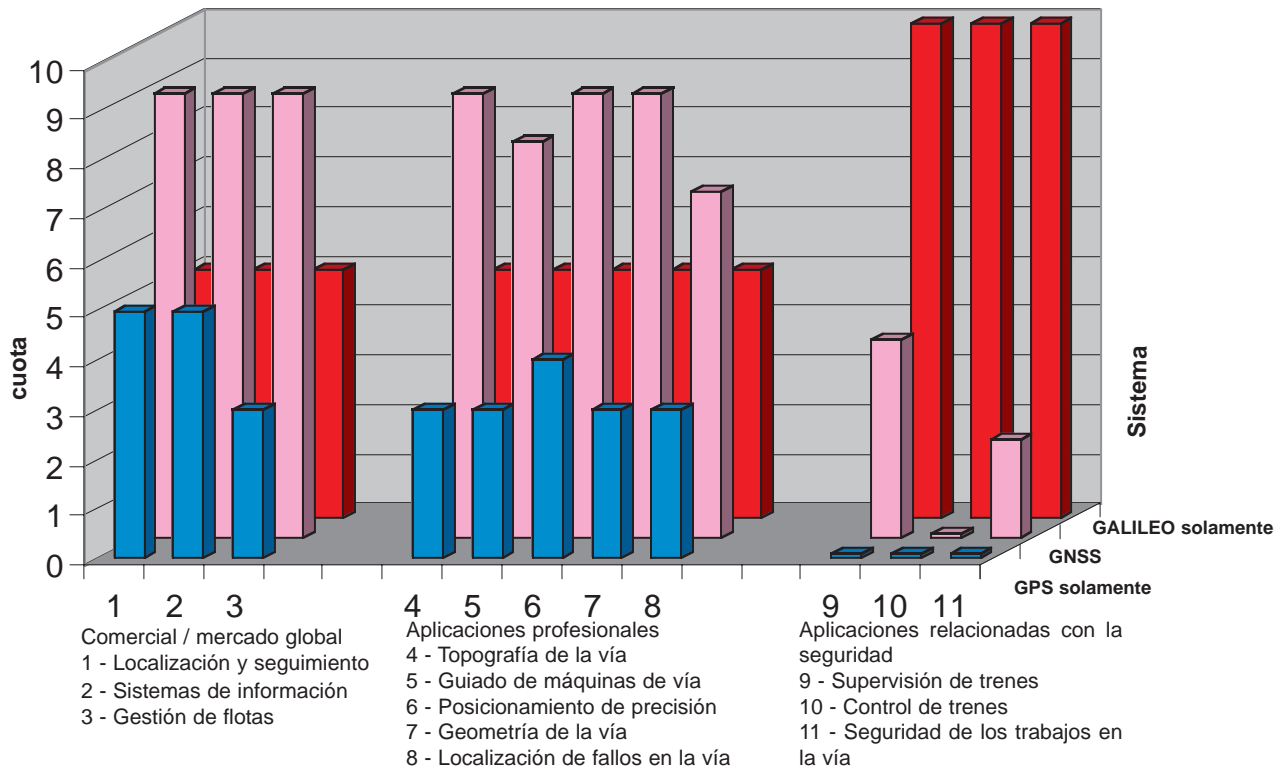
· El **control civil** del sistema GALILEO, con su oportunidad de certificación, garantiza la continuidad del servicio y la aportación de responsabilidad para el caso de interrupción del sistema. La suma de funciones que son vitales para las aplicaciones relacionadas con la seguridad, del tipo "control del tren", sólo son cumplidas por GALILEO Servicios críticos para las vidas humanas.

La tabla siguiente proporciona una visión de conjunto del grado en que cada sistema cumple los requisitos de las clases de aplicación ferroviarias. Las aplicaciones individuales enumeradas en cada una de las clases son sólo indicativas y no una lista exhaustiva. La calificación numérica indica la diferencia relativa entre el cumplimiento del sistema para cada clase de aplicación. Las calificaciones numéricas no tienen ninguna significación entre clases y así tienen que ser interpretadas.

Tabla 1 - Calificaciones numéricas indicativas del cumplimiento de los requisitos de las aplicaciones por parte de los sistemas de satélites

Aplicación	Sistema			
	GPS solamente	GALILEO solamente	GNSS	GNSS + sensores
Comercial, mercado global, sistemas de información				
Localización y seguimiento	5	5	10	No necesario
Monitorización de flotas y diagnóstico	5	5	10	No necesario
Sistemas de información	3	5	10	No necesario
Aplicaciones profesionales				
Topografía de la vía	3	5	10	No aplicable
Guiado de las máquinas de vía	3	5	9	10
Posicionamiento de precisión en ingeniería civil	4	5	10	No aplicable
Construcción de vía y mantenimiento de su geometría	3	5	10	No aplicable
Localización de fallos en la vía y en la catenaria	3	5	8	10
Aplicaciones relacionadas con la seguridad				
Supervisión de trenes	0	10	4	6
Control de trenes	0	10	0	5
Seguridad del trabajo en la vía	0	10	2	7

Figura 2: Grado de cumplimiento de los requisitos de la aplicación ferroviaria por parte de cada uno de los sistemas concretos de navegación por satélite y de las combinaciones entre ellos



El grado de cumplimiento se ha calificado del 0 al 10, para cada uno de los sistemas individuales (GPS, GPS+EGNOS, GALILEO). La calificación 0 significa ausencia total de correspondencia (de cumplimiento), mientras que el 10 corresponde a la correspondencia máxima (cumplimiento total). El uso de receptores capaces de efectuar un seguimiento de cada sistema o combinación de sistemas en arquitecturas con "fusión de sensores" indica principalmente el eventual cumplimiento de una cobertura completa, funcionalidad que es crítica para algunas aplicaciones.

La calificación máxima de 10 puede reflejar la capacidad del sistema por sí solo o de la combinación de sistemas para tener la máxima funcionalidad. No significa que el sistema de satélite proporcione la solución completa. En prácticamente todos los casos se requiere la combinación con otras tecnologías y técnicas con el fin de proporcionar una solución alternativa para la aplicación⁹.

Aplicaciones de la supervisión de trenes.

En este tipo de aplicaciones, las funciones soportadas por satélites (localización, medida de la velocidad, detección de la cabeza del tren y movimientos) son funciones superpuestas. Las funciones de seguridad primaria son llevadas a cabo por otros medios. La continuidad no es crítica para la operación ferroviaria.

Aplicaciones de control de trenes: la localización por satélite, la velocidad y los horarios están implicados en las funciones primarias de seguridad. La continuidad es crítica para la operación ferroviaria.

Seguridad del trabajo en la vía: son aplicaciones en las que la localización es una función de seguridad primaria, pero la continuidad no es crítica para la operación ferroviaria.

El histograma anterior es una representación visual de las diferencias. El máximo cumplimiento de los requisitos de las aplicaciones no relacionadas con la seguridad lo proporciona el GNSS. Tiene la máxima disponibilidad y cobertura cuando el GPS, EGNOS y GALILEO Servicio abierto y Servicio comercial son interoperables y complementarios.

Algunas de las aplicaciones relacionadas con la seguridad (del tipo: supervisión de trenes o seguridad del trabajo en la vía), donde la función de la localización soportada por satélite no está incluida en los sistemas de seguridad primaria, pueden tolerar posibles discontinuidades del servicio sin interrumpir la operación ferroviaria. Por ello, es aceptable la ausencia de garantía. La utilización de GNSS puede proporcionar más disponibilidad.

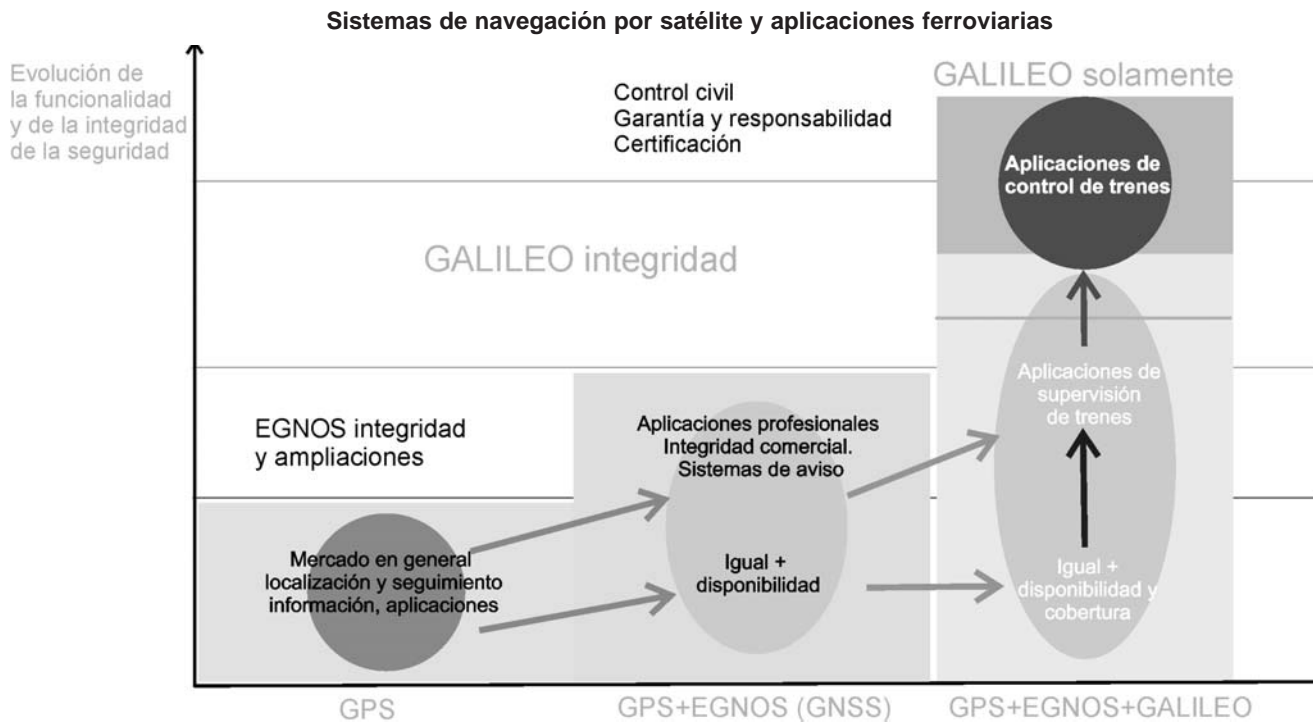


Figura 3: Del GPS al GALILEO: evolución de la funcionalidad, seguridad y garantías

Las aplicaciones relacionadas con la seguridad del tipo "control de trenes", en las que la garantía de la continuidad, el control civil y la certificación son cruciales, sólo se pueden satisfacer utilizando el sistema GALILEO SoL.

8. Hoja de ruta hacia el sistema GALILEO

8.1 Criterios y limitaciones para la implementación

Para maximizar el uso de la tecnología por satélite (incluido el GALILEO) en los sistemas ferroviarios, es necesario considerar las características específicas del entorno en el que se implica una nueva tecnología. Además de la correspondencia o cumplimiento de la tecnología con los requisitos de las aplicaciones ferroviarias, es necesario considerar otros criterios, tales como:

- **Aptitud** de las soluciones para realizar las prestaciones de acuerdo con las necesidades. Este criterio muestra cómo y con respecto a qué las soluciones disponibles y la combinación de las tecnologías pueden complementar al sistema GALILEO para alcanzar la funcionalidad y prestaciones necesarias. Estas tecnologías son: la fusión de los sensores, el control, las arquitecturas de seguridad, etc.

- **El calendario para lograr la disponibilidad de las soluciones:** si no se logra la disponibilidad inmediata, hay que elegir una forma realista para obtener la **tecnología deseada**, con las **prestaciones** esperadas, a un **coste LCC aceptable** y dentro de un **calendario** razonable. Este criterio deberá reflejar si la ruta de **migración** hacia las tecnologías deseadas va a estar disponible. La evaluación se debería basar en la migración predecible y en las tendencias que también se observen en otros sectores (sobre todo en la aviación y en el transporte por carretera).

- **El marco:** refleja la presencia y la disponibilidad de un **marco legal** y de **competencia favorable**, capaz de sostener las aplicaciones (avanzar implicando a los actores para que colaboren). Este elemento del análisis debería reflejar -en el caso de aplicaciones relacionadas con la seguridad- si el marco legal puede satisfacer la introducción de la nueva tecnología. En el caso de otras clases de aplicaciones, el marco de la competencia, a nivel de la industria suministradora del ferrocarril, se puede considerar como un factor habilitador para la introducción de la nueva tecnología.

- **Disposición de los usuarios** para la implementación (utilización, mantenimiento) de la nueva tecnología; esto reflejaría la capacidad de los ferrocarriles para acomodarse a las nuevas tecnologías, con respecto a los aspectos de las destrezas, capacidad de operación,

Cuotas de Implementación

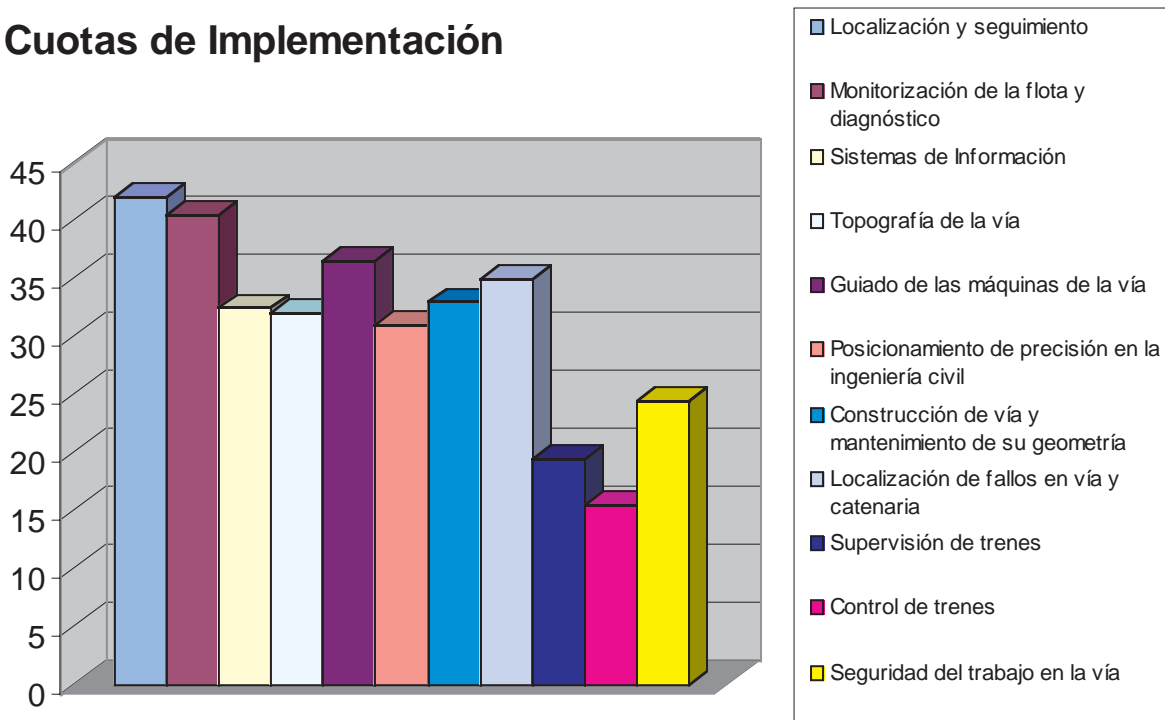


Figura 4: Calificaciones numéricas de la implementación de las aplicaciones, basadas en cinco criterios de aceptación (puntuación máxima = 50)

mantenimiento y control de los elementos característicos de las nuevas tecnologías.

· **El impacto sobre el servicio a los usuarios** refleja cómo contribuyen las nuevas tecnologías a la operación y a la calidad del servicio. El impacto puede ser considerado como un nivel global cualitativo en esta etapa y está basado en el potencial de la nueva tecnología:

- a. para crear nuevas utilidades, servicios y logros relevantes, que no eran posibles con las anteriores tecnologías clásicas,
- b. Para proporcionar funciones y fortalezas adicionales a las tecnologías existentes,
- c. Para sustituir las tecnologías existentes que tienen unas prestaciones similares, pero con mejor coste / rendimiento.

· **Mercado (volumen):** no se analizará a fondo en este documento. El análisis de mercado y los elementos para el análisis de la eficacia de los costes, en comparación con las tecnologías clásicas, serán el objetivo del área temática B del proyecto "Análisis económico para aplicaciones de seguridad".

Las calificaciones numéricas reflejadas en el diagrama (véase la tabla 2, a continuación) dan una indicación de la capacidad para implicar a la tecnología de satélite en el entorno ferroviario, con respecto a los criterios y las

limitaciones de la implementación. Un calificación de 10 indica que los criterios se cumplen completamente para la clase de aplicación en cuestión.

Evidentemente, el mercado en general, la localización y seguimiento y los sistemas de información, cuyos requisitos no exigen exactitud elevada, certificación, marco regulador específico ni garantía o responsabilidad, tienen el potencial inmediato más alto con el GNSS. La tecnología para este tipo de aplicaciones está ya preparada para satisfacer los requisitos.

Las aplicaciones profesionales y de alta precisión siguen necesitando investigación para completar el uso de la tecnología y necesitan también desarrollar medidas de acompañamiento. Uno de los elementos más importantes, en este sentido, es la aplicación de la cartografía digital a los ferrocarriles y la adopción del sistema de referencia geodésica estándar ETRS 89 y del sistema de información geográfica estándar recomendado por la norma ISO 119xx.

A pesar de todo, las aplicaciones profesionales se pueden poner en marcha y no hay problemas concretos que resolver antes de la implementación de las aplicaciones.

Las aplicaciones de seguridad son las que presentan mayores problemas en el camino de la implementa-

ción. La disponibilidad de la tecnología no es todavía completa, el marco normativo y la certificación de GALILEO no está aún disponible y, además, el usuario ferroviario sigue teniendo dificultades para una comprensión y gestión totales de la nueva tecnología. Aún sigue siendo necesaria la investigación para proporcionar una respuesta convincente a la integridad de la seguridad y a la interoperabilidad con las otras tecnologías (clásicas), concretamente con el ERTMS / ETCS.

8.1.1 Fortalezas y oportunidades de GALILEO

Las dificultades de la hoja de ruta de las aplicaciones hacia el GALILEO están especialmente relacionadas con las aplicaciones de seguridad.

Aplicación						
	Aptitud de las soluciones	Marco legal	Disposición del usuario	Impacto en la operación	Mercado potencial	
Comercial, mercados global, sistemas de información						
Localización y seguimiento	8	9	9	6	10	42
Monitorización de la flota y diagnóstico	7	9	8	7	10	41
Sistemas de información	6	8	8	5	6	33
Aplicaciones profesionales						
Topografía de la vía	7	5	5	9	6	32
Guiado de las máquinas de la vía	7	8	5	9	8	37 GNSS
Posicionamiento de precisión en la ingeniería civil	7	9	9	3	3	69
Construcción de vía y mantenimiento de su geometría	6	8	6	8	5	33
Localización de fallos en la vía y en la catenaria	8	6	5	9	8	36
Aplicaciones relacionadas con la seguridad						
Supervisión de trenes	4	5	4	8	10	31
Control de trenes	3	3	6	9	10	31
Seguridad del trabajo en la vía	3	8	7	7	8	33 GALILEO

Tabla 2: Aspectos de la implementación de la tecnología por satélite para varias aplicaciones ferroviarias

Fortalezas	Oportunidades
Propiedad y control civil	Son posibles aplicaciones relacionadas con la seguridad
Garantía de servicio y continuidad del mismo	Sinergia con otra seguridad de otros sectores (certificación y acreditación)
Responsabilidad para el SoL	Interoperabilidad basada en estándares técnicos concretos para la localización
SoL – señales + integridad	Sistema de conducción para la armonización de la operación técnica y la interoperabilidad incrementada
Componentes locales estándar	Son posibles aplicaciones en lugares cerrados – cobertura completa
Disponibilidad general y continuidad	No se esperan interrupciones posibles de servicio debidas al GALILEO
Temporización (aplicaciones de temporización)	Nuevas aplicaciones para la sincronización y la criptografía, basadas en una temporización precisa
	Cartografía digital para ferrocarriles e información (GEORAIL)

Por eso, otro análisis basado en las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas -que se centre en las aplicaciones del GALILEO- ayudará a identificar las acciones a lo largo de la hoja de ruta.

Las fortalezas de GALILEO presentan mayores oportunidades de aplicaciones con elevado nivel de los requisitos de seguridad, continuidad del servicio e interoperabilidad. Esta observación debe ser tomada en cuenta, especialmente por lo que se refiere al cumplimiento por parte de los ferrocarriles de estándares que serán compartidos con otros modos de transporte.

8.1.2 Debilidades

Debilidades	Acción correctora
No está aún operativo	Pruebas importantes han utilizado GPS + EGNOS Las prestaciones de la tecnología por satélite han sido comprobadas en el entorno ferroviario y se ha creado una sensación de confianza Las especificaciones del HLDD están en línea con las prestaciones comprobadas No parece probable que el despliegue se retrase
El SoL será probablemente "de pago"	El uso de las infraestructuras para los servicios esenciales será tomado en consideración en el caso de los ferrocarriles El coste podría ser "simbólico"
Falta certificación	Las personas y empresas ferroviarias interesadas participarán en la certificación (2006 – 2007). Es necesario establecer una relación específica de certificación con la Empresa Operadora GALILEO y con la Autoridad de Supervisión GALILEO
Sistema no completamente especificado (componentes locales)	Los requisitos ferroviarios con respecto a la protección de la información relevante para la seguridad, enviada a través de canales abiertos, tienen que incluirse en la especificación común con el transporte por carretera, aéreo, fluvial y marítimo

8.1.3 Amenazas para las aplicaciones ferroviarias del GALILEO

Amenazas	Acciones
Retraso del sistema	<p>No hay nada que hacer. El retraso en el despliegue del sistema es poco probable y los efectos no son dramáticos si:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las aplicaciones están preparadas con antelación • Se logra completar otras medidas de acompañamiento (creación del marco normativo, resultados de la investigación...)
Resistencia a los cambios	<p>La aplicabilidad de la tecnología es suficientemente flexible. La mayor parte de las realizaciones pertenecen al ámbito del software. Los ferrocarriles deberían acordar la aplicación de estándares determinados funcionalmente (por encima de cualquier tecnología particular). La resistencia a tales cambios puede retrasar la aplicación, con las eventuales consecuencias económicas y de calidad del servicio.</p>
Exclusión de los ferrocarriles de la certificación del sistema	<p>El hecho de excluir de la certificación a los grupos de interés del ferrocarril creará desconfianza y suspicacias con respecto al sistema. Las acciones son:</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar la participación • Comprender los procedimientos específicos e intentar aplicar en la mayor medida posible estándares específicos ferroviarios Favorecer la difusión para la aceptación • Guiar los siguientes pasos hacia la integración con las autoridades •
Predominio de otros sistemas de posicionamiento dentro del sector ferroviario	<p>Nada que hacer. Otros sistemas predominarán si sus prestaciones y funcionamiento son mejores o si a iguales prestaciones sus costes de ciclo de vida son más bajos. La acción indicada es la creación de soluciones con buenas prestaciones y económicamente viables</p>
Evolución de otros sistemas de navegación por radio (UMTS, LORAN-C... nuevo GPS)	<p>Menos probable; nada que hacer, salvo la adaptación a las otras oportunidades</p>
No aplicación de los sistemas de referencia global en los ferrocarriles (ETRS 89)	<p>Hay que actuar para aplicar la referencia europea estándar, derivada de la referencia global WGS84, como requisito previo para una plena armonización de las aplicaciones. La ausencia del ETRS89 puede crear dificultades, pero no puede parar las aplicaciones del sistema</p>
Prueba no convincente de la seguridad alcanzable con el riesgo de integridad compatible con el SIL 4 (EN 50126)	<p>El riesgo de integridad de GALILEO puede no ser suficiente para todas las aplicaciones relacionadas con la seguridad de los ferrocarriles. Se deberán utilizar arquitecturas capaces de aumentar el SIL. El punto de arranque para alcanzar un SIL más elevado es el riesgo de integridad (bajo) proporcionado y garantizado por el GALILEO ($3,5 \cdot 10^{-7} / 150$ s). La prueba deberá hacerse de acuerdo con las normas EN</p>
Comportamiento económico no convincente en equilibrio con la tecnología clásica	<p>No hay caso genérico: cada aplicación pensada deberá identificar el uso económico de la tecnología en casos y condiciones concretas. La UIC proporcionará las líneas directrices para llevar a cabo tales análisis básicos (proyectos temáticos, área B)</p>

8.1.4 Promotores

Con el término promotores se designan las acciones y elementos organizacionales que podrían hacer más fácil la aplicación de las medidas, atenuando las debilidades y evitando el bloqueo creado por las amenazas potenciales.

Como promotores podrían identificarse:

- **Compartir las mejores prácticas** en el diseño, construcción y aplicación de sistemas ferroviarios "inteligentes" o de sistemas de operación de trenes basados en el GALILEO, es decir, la creación de una "plataforma real de conocimiento" para la introducción de la nueva tecnología
- **Mantenimiento -durante la fase de desarrollo de la tecnología- de un marco de colaboración "precompetitivo"** entre las industrias proveedoras del ferrocarril, las industrias aeroespaciales, las instancias académicas y los ferrocarriles, con el objetivo básico de seguir evaluando los requisitos de las aplicaciones, la adecuación de las tecnologías, la preparación de mapas de requisitos con las más amplias perspectivas de mercado;

- **Preparación de la disposición** del sistema ferroviario para introducir las concepciones de la calidad basadas en el uso de GALILEO como un "elemento constituyente" del sistema de seguridad de los ferrocarriles. Esto implica también la participación de los grupos de interés del ferrocarril en las acciones de comprobación, certificación y aportación de garantías del GALILEO SoL (posible PRS), con vistas a la preparación de las líneas directrices para la práctica y la implementación.
- **Monitorización continua** de la validación del GALILEO, de su despliegue y fases iniciales de operación por parte de los grupos de interés del ferrocarril, para sincronizar los esfuerzos de la comunidad ferroviaria en el programa GALILEO.

8.1.5 Hoja de ruta

La siguiente figura ilustra la ruta de migración y las opciones y acciones para evitar el bloqueo y hacer posible el logro de los objetivos.

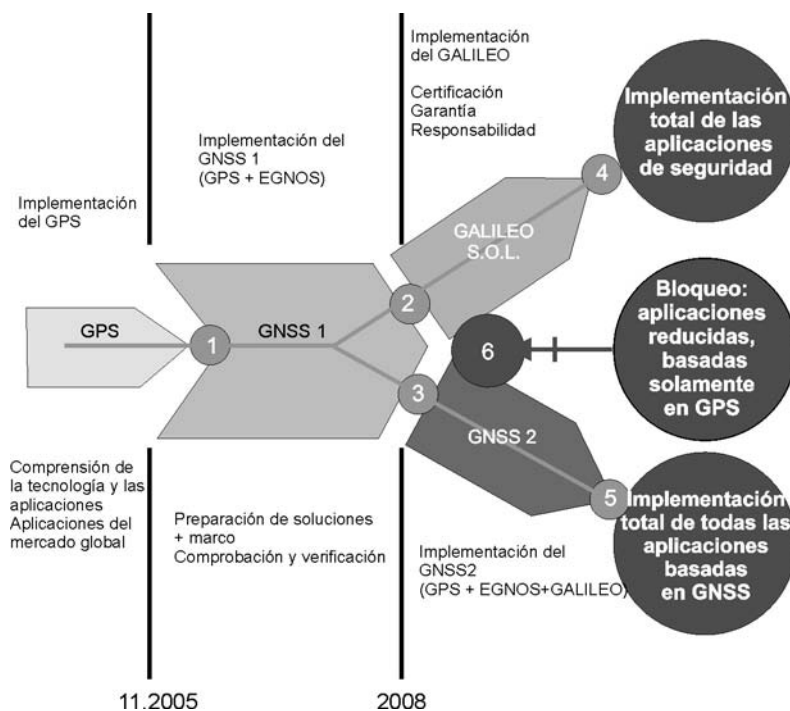


Figura 5: Hoja de ruta para la implementación del GNSS y el GALILEO en el ferrocarril

- Primera fase (hasta noviembre 2005)

La primera fase (I) está basada en el uso del sistema GPS. La comprensión de la tecnología y de la aplicación principal es una acción continua, que se lleva a cabo dentro de esta fase.

Los objetivos de esta fase ya se han alcanzado en su mayor parte. Éstos son:

- La tecnología de navegación por satélite es ahora aplicable al sistema ferroviario
- Las clases de aplicación y los requisitos básicos de funcionamiento y prestaciones se han seleccionado y aceptado en principio
- La industria suministradora del ferrocarril y otras industrias no tradicionales son conscientes de la existencia de un mercado ferroviario para las aplicaciones de la tecnología por satélite. Este mercado no está aún cuantificado de forma concreta,
- Las pruebas -si bien aún no totalmente concluyentes- con respecto a la capacidad de la tecnología por satélite para proporcionar seguridad suficiente y para que sea implementada eficientemente, en comparación con la tecnología clásica, ya han sido realizadas y han demostrado la disponibilidad para el funcionamiento en el entorno ferroviario
- Se han llevado a cabo algunas aplicaciones piloto para chequear soluciones de principio para una seguridad y fiabilidad más exigentes (odometría, baliza virtual, localización en la vía para aplicaciones de señalización), pero no ofrece aún soluciones y equipamientos concretos. También es cierto que los ferrocarriles no han fijado aún opciones decisivas para la implementación en esta fase
- Los servicios de GALILEO, sus prestaciones y las futuras estructuras de su operación han sido reconocidas y aceptadas por la comunidad ferroviaria
- Se han estructurado centros de conocimiento en Francia y Alemania. Los ferrocarriles son conscientes de los desafíos de la implantación de las nuevas tecnologías

- Siguiete fase (2006 - 2008)

Otro itinerario de la hoja de ruta es el uso común y la fase caracterizada por el sistema GNSS-I (formado por la suma del GPS y el EGNOS). En el mismo período tendrán lugar las pruebas con los primeros satélites GALILEO y la verificación, certificación, validación y despliegue final del sistema.

La misma fase se caracterizará también por:

- La finalización del diseño de GALILEO y la validación de su HLDD (Documentos de Definición de Alto Nivel)
- La finalización de las acciones preparatorias de la GJU (Empresa Común GALILEO) para la selección y concesión del despliegue del sistema y la posterior operación de la Galileo Operating Company (Empresa Operadora Galileo)
- La preparación de las pruebas "en órbita" del segmento en tierra del sistema GALILEO, que se iniciarán en noviembre de 2005 y terminarán a finales del 2006
- La validación de GALILEO para su utilización en las comunidades de usuarios

Los objetivos de esta fase son:

1. Alcanzar la capacidad total de aplicación del GNSS-I (aplicaciones basadas en el GPS, pero que podrían beneficiarse de la aumentación e integridad del EGNOS -ausencia de garantías para el GPS y su continuidad en servicio-) y de los "extras" de GALILEO Servicio abierto y GALILEO Servicio comercial (llegada al punto 3, donde el camino queda abierto para el uso completo de GNSS-2 (GPS + EGNOS + GALILEO Servicio comercial y Servicio abierto)
2. Reconocer e integrar los servicios de GALILEO como requisito previo para la construcción de aplicaciones relacionadas con la seguridad
3. Proporcionar soluciones industriales para aplicaciones GALILEO que cumplan los requisitos de integridad, garantía de servicio y responsabilidad, con pruebas convincentes de la seguridad y la eficiencia económica
4. Certificar el sistema GALILEO como un elemento constituyente de las aplicaciones ferroviarias
5. Preparar el marco normativo para las aplicaciones de seguridad basadas en el GALILEO y la disposición de los usuarios ferroviarios para su implementación

El logro de los objetivos 2 a 5 llevaría al punto 2, donde el potencial completo de GALILEO puede ser utilizado dentro del sistema ferroviario.

Mediante la adopción de este enfoque se puede acometer correctamente la atenuación de las debilidades actuales, identificadas en 9.3.

Si se fracasa en la reducción de las amenazas, se puede llegar a un punto muerto en el que el GNSS-2 sólo sería aplicado en parte, pero se retrasarían las aplicaciones del GALILEO al ferrocarril e incluso podría ser imposible aplicarlas.

Consecuentemente, el objetivo final de la hoja de ruta del GPS al GALILEO es doble:

- habilitar la utilización plena del GNSS-2
- habilitar la utilización plena del GALILEO para aplicaciones relacionadas con la seguridad.

También es importante identificar objetivos parciales a lo largo de la hoja de ruta, así como acciones que eviten el empeoramiento de las debilidades del GALILEO y el bloqueo de sus beneficios potenciales.

Está claro que las acciones de la siguiente fase de la hoja de ruta son decisivas para alcanzar los puntos 3 y 2. Las acciones de atenuación y las acciones dirigidas a los puntos 2 - 5 se deberán llevar a cabo para evitar el bloqueo.

Consideramos que estas acciones deberían estar incluidas en el plan de acción, donde se pueden identificar algunas prioridades.

9. Conclusión

GALILEO es el sistema que logra el compromiso óptimo de satisfacción de los requisitos de todos los modos de transporte y también de todos los otros sectores donde puede aplicarse. En esta situación se han identificado debilidades inherentes. El Grupo de Aplicación de la tecnología considera que las debilidades de GALILEO no son críticas y que las acciones decisivas, llevadas a cabo por la comunidad de los transportes y por los ferrocarriles, a través de sus grupos de interés, pueden atenuar suficientemente los riesgos potenciales.

Existe una necesidad particular de participar en el proceso de validación y certificación del sistema GALILEO. La complejidad del sistema y su dimensión mundial hacen imposible repetir el proceso de certificación para cada modo de transporte y todavía menos probable la repetición de la certificación para las diferentes clases de aplicaciones ferroviarias. Por ello, los usuarios del ferrocarril tienen que implicarse activamente para asegurar que el sistema incluye los requisitos de dependencia y satisface las especificaciones del diseño.

La certificación proporcionará también las herramientas y los métodos que permiten la verificación de las prestaciones a nivel de usuario. Por ello, la certificación debería ir acompañada de la especificación de los receptores de referencia (para cada una de las clases de aplicación) y de las metodologías de verificación.

10. Recomendaciones para la acción

Esta sección enumera las acciones prioritarias de los ferrocarriles y la industria para evitar que en el futuro se produzca un bloqueo de la introducción plena de los GNSS y GALILEO en aplicaciones ferroviarias. Dichas acciones son:

10.1 Certificación para aplicaciones de seguridad

Los grupos de interés del ferrocarril deberán participar en el proceso de certificación de GALILEO (2006 - 2007) y tener la oportunidad de incorporarse al proceso de validación. Se debería establecer una relación de certificación específica con la Empresa Operadora GALILEO y con la Autoridad de Supervisión GALILEO

10.2 Uso económico

La comunidad ferroviaria, en cooperación con la industria del sector, debería identificar los beneficios económicos de la tecnología del GALILEO en los casos y condiciones concretas. La UIC ayudará en esta acción, proporcionando las directrices para llevar a cabo este análisis básico (siguiente fase del proyecto GALILEO, área temática B).

10.3 Aplicación de Georail

La referencia europea estándar ETRS 89, derivada del sistema de referencia global WGS84, debería aplicarse como un requisito previo para la plena armonización de las aplicaciones.

10.4 Realización de acciones de promoción

La aplicación de las acciones de promoción en la sección 9.5 acelerará y facilitará el proceso de integración total de la tecnología GALILEO en el sistema ferroviario.

Apéndice A: Servicios GALILEO y sus prestaciones proyectadas

Los servicios y prestaciones de GALILEO se han extractado del documento de requisitos de la Misión GALILEO (UE / ESA 2004).

A.1 Servicio Abierto

GALILEO Servicio abierto proporciona señales de posicionamiento, navegación y temporización a las que se puede acceder de manera gratuita. Este servicio es adecuado para las aplicaciones de navegación del mercado global, tales como la navegación en los coches y las aplicaciones de posicionamiento con teléfonos móviles. El Servicio Abierto proporciona también un servicio de temporización muy preciso (UTC), si se utiliza con receptores en localizaciones fijas. Este servicio de temporización se puede utilizar para aplicaciones tales como la sincronización de una red o para aplicaciones científicas.

Las prestaciones y comportamientos del Servicio Abierto se indican a continuación. Los objetivos de las prestaciones del Servicio Abierto son los de los Servicios Críticos para las Vidas Humanas, con la excepción de la integridad (el servicio abierto y los de seguridad para las vidas humanas usan señales comunes). A través del análisis de los requisitos de usuario se puede encontrar un encaje entre los objetivos de prestaciones establecidos de ese camino y las necesidades de las aplicaciones de usuario.

A.2 Servicio Comercial

El Servicio comercial proporciona valor añadido con respecto al Servicio abierto.

Las capacidades específicas de GALILEO, que pueden ser explotadas por el Servicio comercial, están relacionadas en su mayor parte con el diseño de la señal, que soporta:

- la difusión de datos de valor añadido encriptados en las señales de GALILEO Servicio abierto,
- diferentes aplicaciones locales muy precisas (exactitud de un valor por debajo del metro), utilizando la señal abierta (opción encriptada), superpuesta con la señal PRS en E6.

Las prestaciones de estos servicios se definirían por los proveedores de servicios, basándose en la calidad de la difusión de los datos comerciales¹⁰ y de las prestaciones proporcionadas por los componentes locales.

Servicio abierto			
Tipo de receptor	Portadoras	Frecuencia única	Frecuencia dual
	Computa integridad	No ¹	
	Corrección ionosférica	Basada en modelo simple	Basada en mediciones de frecuencia dual
Cobertura	Global		
Exactitud (95%) ²		H: 15 m	H: 4 m
		V: 35 m	V: 8 m
Integridad	Límite de alarma	No aplicable	
	Tiempo para la alarma		
	Riesgo de integridad		
Riesgo de continuidad:	$8 \times 10^{-6} / 15 \text{ s}$		
Precisión de temporización wrt UTC / TAI	No definido	50 ns ³	
Certificación / responsabilidad	No	No	
Disponibilidad	99% - 99,9%		

A.3 Servicios críticos para las vidas humanas

Los requisitos de las prestaciones de los Servicios Críticos para las Vidas Humanas están fundamentalmente fijados por los requisitos de la aviación y son compatibles con los requisitos del Enfoque del Guiado Vertical (APV-II), tal como han sido definidos por la ICAO. A través de la fase de definición, se ha comprobado que las necesidades de prestaciones de otros modos de transporte (carretera, ferrocarril, marítimo) están parcialmente cubiertas por estos requisitos. Si bien las aplicaciones de seguridad ferroviaria, en las que el localizador es usado como un dispositivo primario, necesitarían más integridad (SIL 4 en la gama de riesgo de integridad de 10-9 a 10-11 / hora), la integridad SoL puede ser el elemento básico para derivar arquitecturas SIL 4.

Sería posible un servicio crítico para las vidas humanas de una sola frecuencia, con un nivel de prestaciones similar al servicio de frecuencia dual y utilizable como modo degradado en el caso de interferencia local de una frecuencia GALILEO, siempre que éste transmitiera un mapa detallado de la ionosfera, como hace el EGNOS.

El área de cobertura del servicio de integridad de GALILEO es global y, en este sentido, la arquitectura del sistema está siendo optimizada para ese requisito. Se analizarán las opciones para la implantación de la integridad, con el fin de tener en cuenta las limitaciones de la certificación y la responsabilidad.

A.4 Servicio público regulado

El servicio público regulado se proporciona sobre frecuencias dedicadas, con el fin de asegurar la capacidad para una mayor continuidad del servicio colocado bajo el control de la UE y de los gobiernos de los Estados miembros para:

- aplicaciones públicas dedicadas a la seguridad nacional y/o europea, como la policía, protección civil, cumplimiento de la ley, algunos servicios de emergencia, GMES y otras actividades gubernamentales,
- **algunas aplicaciones reguladas o críticas de energía, transportes y telecomunicaciones (aquí se pueden incluir aplicaciones ferroviarias críticas),**
- actividades económicas e industriales que se consideran de interés estratégico para Europa.

El servicio público regulado es sólido, en el sentido de que es resistente a las interferencias, perturbaciones provocadas y otras agresiones, accidentales o intencionadas. Estará limitado a la UE y otros Estados participantes, autorizados por los Estados miembros. Los Estados miembros autorizan a los usuarios a través de la implantación de técnicas de acceso adecuadamente controladas. Del control de la distribución de los receptores se encargan los Estados miembros.

Servicios críticos para las vidas humanas		
Tipo de receptor	Portadoras	Frecuencia dual (frecuencia única en evaluación)
	Computa integridad	No
	Corrección ionosférica	Basada en mediciones de frecuencia dual
Cobertura	Global	
Exactitud (95%)		H: 4 m
		V: 8 m
Integridad	Límite de alarma	HAL: 12 m VAL: 20 m
	Tiempo para la alarma	6 segundos
	Riesgo de integridad	2×10^{-7} / 150 s
Riesgo de continuidad:	8×10^{-6} / 15 s	
Precisión de temporización wrt UTC / TAI	50 ns	
Certificación / responsabilidad	Sí	
Disponibilidad	99% - 99,9%	

Servicio público regulado		
Tipo de receptor	Portadoras	Frecuencia dual
	Computa integridad	Pendiente de definición
	Corrección ionosférica	Basada en mediciones de frecuencia dual
Cobertura	Global	
Exactitud (95%)		H: 4 m
		V: 8 m
Integridad	Límite de alarma	Nivel pendiente de definición
	Tiempo para la alarma	Mismo nivel que en el SoL
	Riesgo de integridad	
Riesgo de continuidad:	$8 \times 10^{-6} / 15 \text{ s}$	
Precisión de temporización wrt UTC / TAI	50 ns	
Certificación / responsabilidad	En análisis	
Disponibilidad	99% - 99,9%	
Robustez de la señal	Alta (TBD)	

Calendario

48 meses		24 meses	20 años
Desarrollo y validación		Despliegue	Operaciones y mantenimiento
1.100 millones de euros		2.300 millones de euros	220 millones de euros por año
1 satélite de pruebas y 4 satélites operacionales		26 satélites	Operaciones de rutina y reposición
Infraestructura en tierra		Infraestructura en tierra	
CE/ESA	Empresa común	Concesionario GALILEO / (Autoridad de Supervisión GALILEO)	

Apéndice B: Comentarios técnicos

Estos comentarios reflejan las discusiones técnicas y las conclusiones alcanzadas durante las reuniones del Grupo de Aplicación GALILEO.

a) El uso de GALILEO para aplicaciones de información se acelerará por las combinaciones de las tecnologías de localización y telecomunicaciones, actualmente incluidas en la ruta de migración del GNSS. La tecnología UMTS incluye el dispositivo de posicionamiento GNSS (GALILEO) en los dispositivos de telecomunicación y de tecnologías de la información (IT) de la próxima generación. El resultado debería ser una mayor accesibilidad de dichos dispositivos a bajo coste (debido a la amplitud del mercado).

b) Si bien las pruebas a escala real han tenido éxito, la tecnología sigue haciendo esfuerzos por encontrar soluciones para la combinación optimizada del posicionamiento por satélite con las herramientas del lugar de trabajo (ejemplo: un vehículo por control remoto posicionado por medio de un receptor LRTK o RTK y tecnología láser, o el uso de "marcas" fijadas en objetos fijos al lado de la vía, posicionamiento vía satélite de la máquina de trabajo y el uso de medidas muy precisas, por láser, para la alineación). Para los detalles, véase el proyecto de la UIC "Guiado de las máquinas en la vía".

c) El uso de la descripción de coordenadas de la vía (CNTD: descripción digital de la vía, basada en sus coordenadas) no es aún de uso generalizado en los ferrocarriles europeos. La UIC recomienda (véase el proyecto GEORAIL de la UIC) la implementación gradual del CNTD en la red ferroviaria europea, utilizando el ETRF89 como un único marco de referencia para Europa, compatible con los sistemas de posicionamiento global (WGS84). Se propondrá una recomendación de la UIC (directrices) para la introducción gradual de la CNTD.

d) El uso de herramientas de software como soporte para la descripción basada en coordenadas de la geometría de la vía y su concatenación a lo largo de la geometría de la vía de referencia no ha alcanzado todavía una aplicación general. La UIC recomendará el despliegue de las experiencias positivas actuales de SBB, DB y SNCF.

e) La tecnología que puede incluir combinaciones de detectores, sensores, IT y localización aún no está totalmente madura, si bien la función de localización se puede realizar ahora ya con el nivel de prestaciones necesario.

f) La baliza virtual puede utilizar el sistema GNSS (GPS + EGNOS) si se utiliza sólo como apoyo

(aumento de la disponibilidad de la localización con balizas de vía) para las situaciones de "no lectura" de la baliza de vía. En este caso se trata de un sistema de seguridad secundario (tipo supervisión).

g) La aplicación de baliza virtual no necesita una cobertura completa. El emplazamiento de cada baliza se podría seleccionar en "áreas a cielo abierto", siempre que el lugar seleccionado sea compatible con los requisitos de localización dentro de la aplicación concreta que se quiera implantar. Las aplicaciones "de bajo coste" de sistemas operacionales compatibles con el ETCS y basados en las arquitecturas de referencia del ETCS nivel 3 podrían cumplir con la supresión de las balizas "reales" de la vía, siempre que el RBC acate la especificación estándar con respecto a los mensajes intercambiados con el tren que circula.

h) El sistema GALILEO tiene la capacidad para proporcionar una continuidad total del servicio, integridad inicial [con un nivel de riesgo de integridad de $3,5 \cdot 10^{-7}$] como punto de partida que habilita para construir arquitecturas de integridad SIL 4 e implementación de componentes locales de GALILEO para lograr: una supervisión regional de la integridad con un comportamiento mejorado (reducción del tiempo para la alarma a un segundo, reducción del riesgo de integridad, mayor exactitud a través de la aumentación local) y habilitadores de la difusión de las señales en interior (cobertura total). De esta forma se podría esperar que GALILEO cumpliera los requisitos de la aplicación al más alto nivel.

i) No se han podido realizar pruebas a escala real con la baliza virtual y los proyectos orientados a las aplicaciones ferroviarias, que fueron recientemente seleccionados por la GJU para producir demostraciones convincentes, tienen un potencial muy escaso. Por ello, no se puede hacer una evaluación final de la correspondencia entre los requisitos y los comportamientos reales (basada en una demostración a escala real). Somos de la opinión de que sigue habiendo un alto potencial de aplicabilidad, pero resulta necesario centrar la investigación en demostradores convincentes.

j) Actualmente no hay una tecnología disponible para la baliza virtual. Se han propuesto principios (proyecto GADEROS de la UE, la baliza virtual FRS de la UIC, SRS y documentos de arquitectura de referencia), pero la aplicación en el ETCS de a bordo se ha retrasado. La necesidad de acelerar la implementación del ETCS en su descripción estándar, basada en la tecnología clásica, podría no tomar en consideración los cambios o adapta-

ciones posiblemente necesarios. La firma del Memorando de Entendimiento respecto a la implementación del ETCS compromete a la UIC y a otros grupos de interés en la defensa de las normas existentes. A pesar de todo, el potencial de la baliza virtual existe y los mecanismos que llevan a un enfoque estándar se incluyen en el Memorando de Entendimiento.

k) Las tendencias en la migración de las tecnologías indican un elevado potencial para la armonización de los sistemas operativos de bajo coste, basados en el estándar del ETCS aplicación de nivel 3, donde una parte importante del equipo de a bordo y del RBC cumple totalmente los requisitos del ETCS especificado actualmente. Las tendencias se justificarían por el logro de una masa crítica del equipo ETCS básico de a bordo (ordenador vital integrado a través de radio e interfaces hombre-máquina y tracción-frenado), que harían posible el uso alternativo de la localización clásica y la basada en satélites. La utilización del RBC, nivel 3, para aplicaciones de bajo coste puede usar la baliza virtual como un modo de minimizar y -en el caso extremo- hacer innecesaria cualquier modificación básica del software crítico para la seguridad. Es bien conocido que la mayor parte del coste del equipamiento corresponde a la certificación del software crítico para la seguridad.

l) El actual marco regulador y legal no proporciona aún, en el caso del ferrocarril, las herramientas ni las disposiciones adecuadas para la validación y certificación de las aplicaciones de seguridad que incluyen al GALILEO como un sistema primario en una macrofunción con responsabilidad crítica para la seguridad. En nuestra opinión, la estrategia para la implementación del marco necesario exigirá:

m) La utilización total de las normas y regulaciones existentes (incluyendo las ETI de la UE) si se quiere validar y certificar la aplicación al nivel pretendido.

n) La definición y creación de interfaces (estándar) de referencia del usuario con respecto al sistema GALILEO. Esta interfaz se especificaría como receptor de referencia, de forma consecuente con las condiciones de recepción en el entorno ferroviario. Serviría como referencia estándar para cualquier otra solución de fabricación, si el fabricante tuviera que proporcionar la prueba de que el nivel de RAMS del receptor de aplicación cumple la especificación "estándar". El receptor de referencia podría ser un dispositivo "virtual", de software solamente.

o) La participación de los ferrocarriles a través de sus grupos de interés técnicos y con las autoridades nacionales de seguridad en el proceso de validación y certificación, donde los ferrocarriles pue-

den considerar un enfoque común para esta validación y certificación junto con otras aplicaciones críticas para la seguridad (como ocurre en la aviación). Las empresas de servicio de GALILEO colaborarán con los organismos técnicos y las autoridades nacionales de seguridad dentro del calendario previsto para las pruebas y el despliegue del GALILEO, para definir el marco y las acciones de esta certificación y validación.

p) La conclusión de acuerdos específicos de garantía y responsabilidad entre la autoridad responsable de la seguridad ferroviaria y el proveedor de servicios GALILEO (concretamente SoL y PRN), en los que se establecería una interfaz funcional común para la implementación de la supervisión, la determinación de las prestaciones y avisos.

q) La utilización del receptor por satélite como un sensor adicional para la odometría de a bordo podría hacer uso del GNSS; en este caso, el odómetro por satélite no es un dispositivo de seguridad primario. El receptor GNSS es un sensor equivalente a otros dispositivos existentes de medida de la velocidad (odómetro sobre el eje, radar Doppler). Por ello, no es obligatorio el uso de un alto nivel de SIL y la seguridad de una elevada continuidad de servicio (sólo posible con GALILEO). A pesar de todo, el uso de GALILEO proporciona ventajas incontestables, dadas sus mejores prestaciones de cobertura y continuidad del servicio.

r) La odometría asistida por satélite proporciona una buena correspondencia entre los requisitos y los resultados realmente logrados. La medida de la velocidad con los receptores GNSS existentes es una función fiable.

s) Las aplicaciones no estándar (no ETCS) tienen un buen potencial para ser atendidas hoy por el GPS y en general por el GNSS. La misión relacionada con la seguridad de la macrofunción de la localización de trenes de dichas aplicaciones puede ser menos exigente si se trata de un sistema secundario de seguridad. Un ejemplo es el uso de localización por satélite para sustituir la actual función humana de "bloqueo telefónico" en las líneas secundarias.

t) La tecnología para sistemas operacionales simplificados en líneas secundarias (operación por radio) se podría seguir mejorando con la introducción de sistemas de a bordo para el control del tren, para la supervisión y el refuerzo de la autorización de movimiento.

u) Todavía no se ha logrado que el usuario ferroviario esté dispuesto a implementar la función (basada en GALILEO) de la localización, crítica para la seguridad. Además de la falta de demostra-

ción de la seguridad y de la eficiencia económica, no es fácil aceptar que la seguridad se base en un sistema global no controlado por la seguridad ferroviaria. Se podría imaginar la necesidad de cambiar la mentalidad actual de basar la seguridad sólo sobre sistemas heredados, totalmente propios y controlados, bajo la responsabilidad directa del Administrador de infraestructuras o de la Compañía operadora de trenes. La base de la seguridad en un sistema global necesita la implementación de una relación específica entre la gestión de seguridad del ferrocarril y la gestión de la seguridad del sistema global (en este caso, GALILEO). Esto se puede identificar como un problema de "disposición del usuario" para aceptar que las responsabilidades sean compartidas con otro sistema (global) de seguridad. Esta disposición no se ha alcanzado aún.

v) En una próxima fase del proyecto habría que evaluar también el volumen de mercado para las aplicaciones. La categoría para aplicaciones profesionales sólo puede constituir un pequeño segmento de mercado.

w) Habría que añadir algunas aplicaciones, como sistemas de supervisión de trenes, de protección del personal de mantenimiento, etc., basados en el GNSS.

x) El GPS por sí solo puede cumplir completamente los requisitos de aplicaciones de información.

y) (Respecto a la utilización de GPS solamente para todas las aplicaciones profesionales): el GPS por sí solo, con sensores de ayuda, puede cumplir completamente los requisitos de estas aplicaciones. En general, se puede alcanzar una exactitud elevada por las estaciones locales de referencia del GPS y el posicionamiento se puede llevar a cabo por medio de un postprocesado.

z) (Respecto a la utilización de GPS solamente como sensor para ETCS / sensor de odometría): La integración del GPS con un odómetro puede cumplir los requisitos de esta aplicación. Los requisitos de seguridad para el radar Doppler, como sensor adicional para la distancia y la velocidad, son bajos. La continuidad del servicio no es un problema serio para esta aplicación. A título de comparación, la continuidad de servicio del radar Doppler también puede verse influenciada por la meteorología.

aa) (Respecto a la utilización de GPS solamente para aplicaciones no ETCS): el GPS solo (en realidad, también con sensores de ayuda) puede mejorar el sistema actual, pero no sustituirlo. Los requisitos de seguridad para un sistema superpuesto son bajos. La continuidad del servicio del GPS no es un problema serio para esta aplicación.

En el peor de los casos, la operación puede volver al sistema antiguo.

bb) (Respecto a la utilización de GPS solamente para la supervisión de la vía): el GNSS + EGNOS puede no tener valor añadido para la supervisión de la vía, puesto que la seguridad del GPS + EGNOS no es suficiente para esta aplicación.

cc) La tecnología que utiliza GNSS deberá estar disponible ahora (no disponible para utilizar GALILEO).

Apéndice C: DEFINICIONES DE NOCIONES CRÍTICAS

Definiciones básicas de acuerdo con las normas ferroviarias CENELEC:

Integridad de seguridad [EN 50129] - Es la probabilidad de que un sistema relacionado con la seguridad alcance sus características de seguridad requeridas, en todas las condiciones indicadas, con un entorno operacional definido y dentro de un período de tiempo igualmente definido.

Disponibilidad [EN 50129] - Es la capacidad de un producto para estar en situación de llevar a cabo una función requerida, en unas condiciones dadas, en un instante de tiempo concreto o a lo largo de un intervalo de tiempo determinado, partiendo de la hipótesis de que se han proporcionado los recursos externos necesarios.

Nota: en las normas ferroviarias CENELEC no está definido el término "continuidad de servicio" ("riesgo de continuidad"), que se usa en la definición del Galileo de alto nivel o generalmente en aplicaciones de aviónica relacionadas con la seguridad.

Definición de Aviónica:

Integridad [FRP90] - es la capacidad del sistema para proporcionar avisos a su debido tiempo a los usuarios, cuando el sistema no deba ser utilizado para la navegación.

Continuidad del servicio - es la probabilidad de que el sistema siga operando, dentro de las especificaciones, durante un intervalo de tiempo especificado.

Términos relativos a la exactitud

Es necesario distinguir los siguientes términos referentes a la exactitud del TPL:

- *Exactitud requerida (RA) / Exactitud horizontal (HA)* - viene indicada por la distribución estadística (95% del tiempo, 2s).
- *Error de posición (PE)* - es el error instantáneo real de la determinación de la posición del tren. Ocasionalmente puede ser más alta que la RA (95%).
- *Nivel de protección (PL)* - es la garantía instantánea de la exactitud. El PL es calculado (estimado) en tiempo real por el sistema y es un valor conocido para el usuario.
- *Límite de alerta (AL) / Límite de alerta horizontal (HAL)* - es el máximo error de posición (PE) admisible del localizador de la posición del tren.

Términos referentes a la integridad

La integridad se describe por medio de los siguientes términos:

- *Límite de alerta (AL) / Límite de alerta horizontal (HAL)* - véase anteriormente. Nota: el sistema compara continuamente AL con PL.
- *Tiempo para la alarma (TTA)* - es el tiempo máximo permitido entre la aparición de la condición de alarma y la generación de la alarma en la salida del sistema.
- *Tasa de riesgo de integridad (IRR) - Tasa de peligro tolerable (THR)* - es la aparición de un fallo no detectado de la exactitud especificada por intervalo de tiempo dado (1 hora, de acuerdo con la norma EN 50129; para la aviónica también 150 s, 30 s y 15 s). Corresponde a la probabilidad de detección fallida (P_{MD}), que es la probabilidad de que se produzca un fallo no detectado.

El riesgo de integridad (P_{MD}) aparece cuando el error de posición estimado por el TPL está fuera de la región

de tolerancia (es decir: se ha superado el HAL), pero el sistema no genera la alarma. No utilizar durante el intervalo de tiempo especificado TTA.

· *Continuidad del servicio* - es la probabilidad de que el localizador del tren opere dentro de las especificaciones (exactitud e integridad) a lo largo de un intervalo de tiempo especificado.

· *Riesgo de continuidad (discontinuidad)* - es la probabilidad de que el sistema se vea interrumpido de forma no intencionada y no proporcione la función de determinación de la localización de trenes para la operación que se desea realizar. Esto ocurre cuando:

1. El nivel de protección supera el límite de alerta $PL > HAL$
2. La actualización de la posición no se genera dentro del intervalo de tiempo especificado, por ejemplo: 5 segundos
3. Es generada una alarma de integridad por el sistema
4. No se recibe una información de la integridad dentro del intervalo de tiempo especificado (TTA) - por ejemplo, 1 segundo
5. No está asegurado que el sistema tenga suficiente información para la decisión - por ejemplo, del monitor de redundancia.

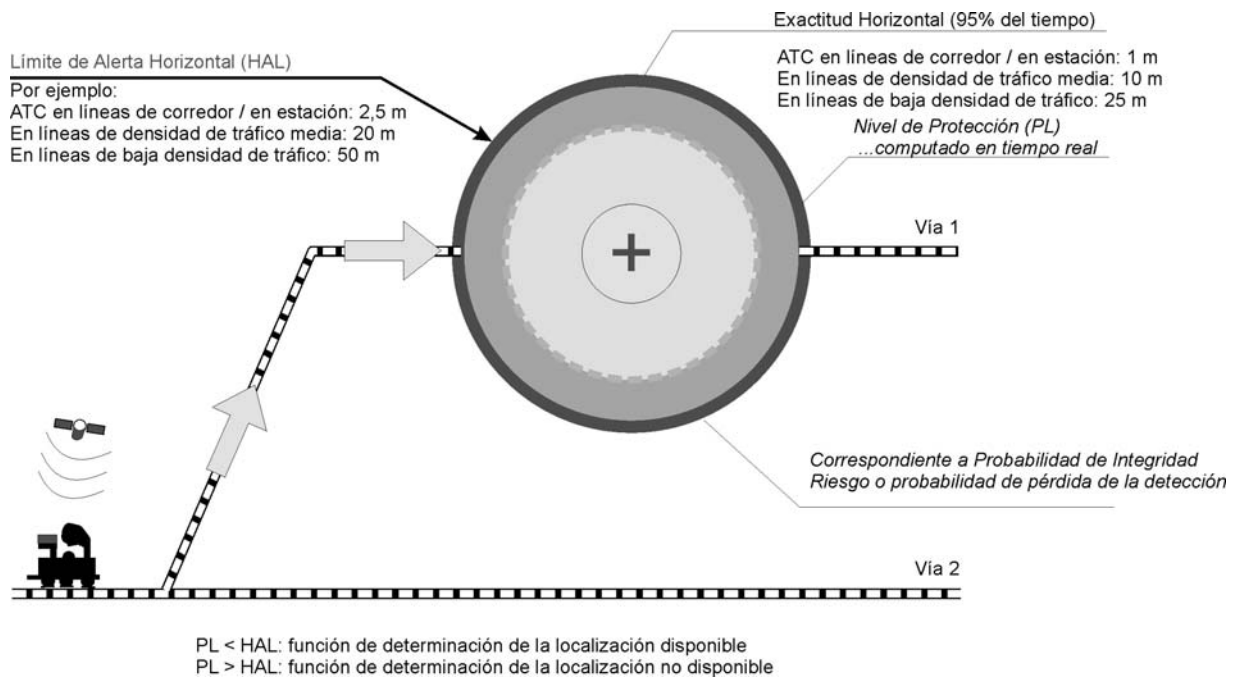
La función de determinación de la posición del tren está disponible cuando:

1. El nivel de protección no excede del límite de alerta horizontal ($PL \leq HAL$) y la información sobre el vector de movimiento (posición, velocidad, cabeza de avance y hora) está disponible
2. El estado del monitor de integridad del TPL es correcto
3. El chequeo de redundancia (suficiente información) para una función dada es correcto
4. La estimación / predicción a corto plazo (por ejemplo, para un intervalo de 150 segundos) de la redundancia reconoce ausencia de eventos de discontinuidad.

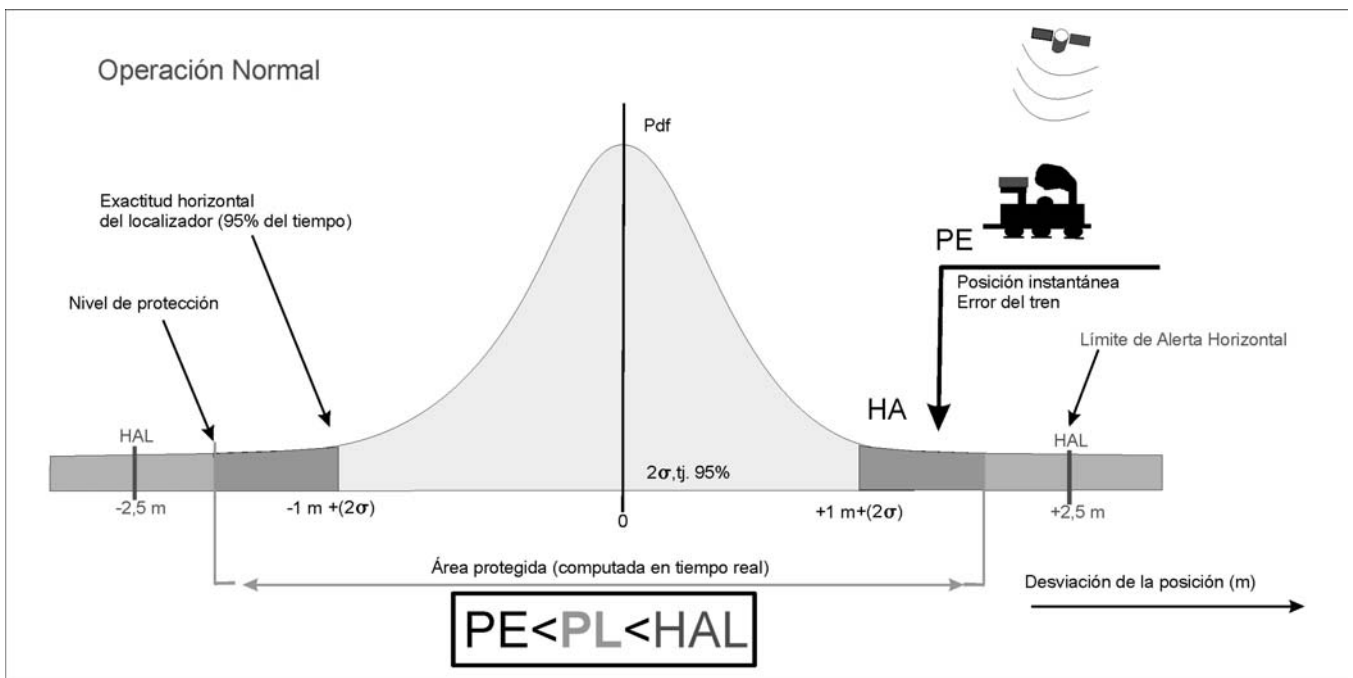
	Descripción del estado	Condición	Nota
Función TPL	Operación normal	$PE < PL \leq HAL$	No hay fallo
Disponible	¿Se ha perdido la detección!	$PL \leq HAL < PE$	¡Estado peligroso!
$(PL \leq HAL)$	¿Evento de integridad?	$PL < PE \leq HAL$	PE está desconectado correctamente
Función TPL	Alerta verdadera	$HAL < PE < PL$	Estado de seguridad
No disponible	Alarma falsa	$PE < HAL < PL$	Conexión demasiado conservadora
$(PL > HAL)$	¿Evento de integridad?	$HAL < PL < PE$	PE está desconectado correctamente

Tabla 3: Estados de seguridad, integridad y disponibilidad del localizador de la posición de trenes

La relación entre exactitud, integridad, continuidad y disponibilidad se muestra en las figuras siguientes.

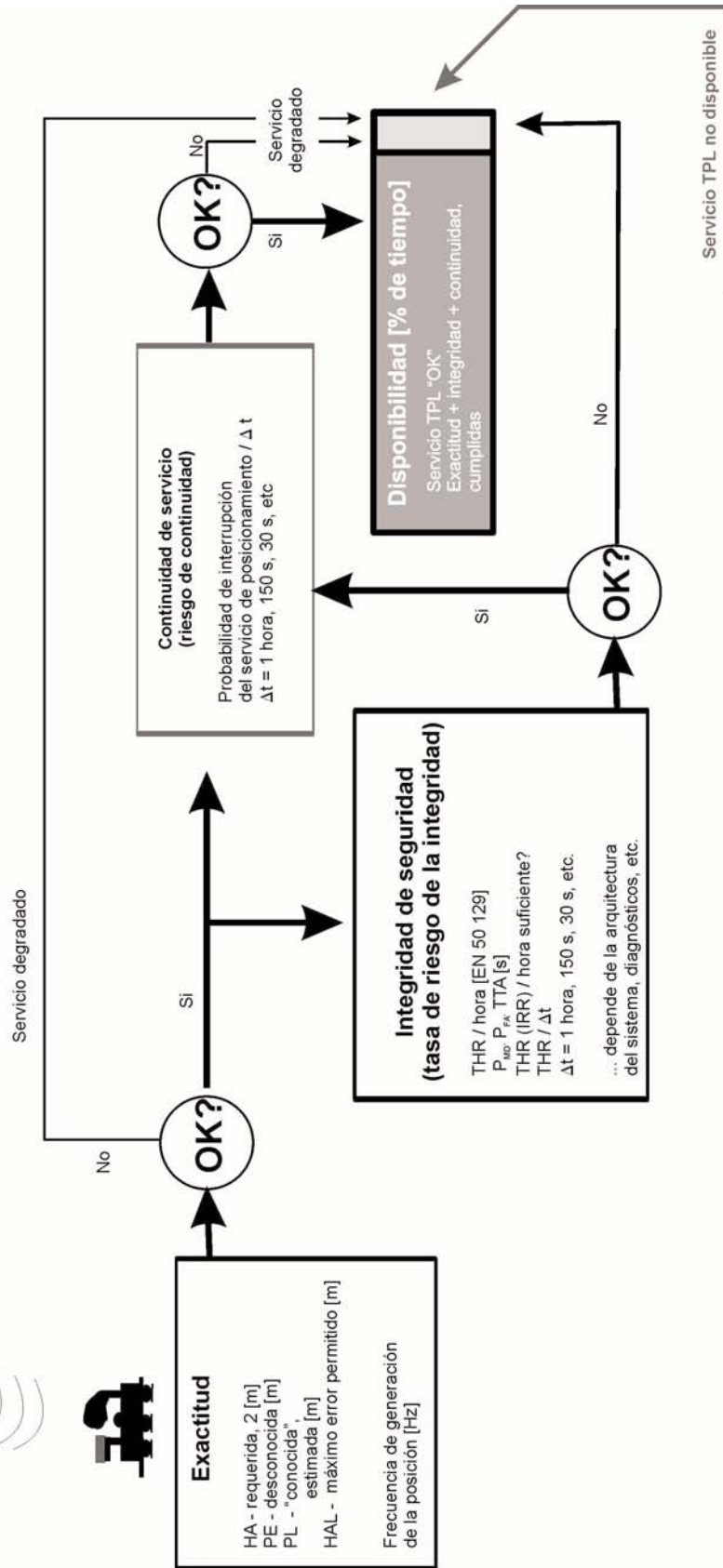


(a)



(b)

Exactitud, Integridad, Continuidad y Disponibilidad del Servicio de TPL



Nota: Δt depende de la duración de la función crítica; por ejemplo, discriminación de la vía, maniobras, aproximación a cruce de vías, etc.

Apéndice D - Referencias

- 1) Requisitos ferroviarios para GNSS (GALILEO); Documento ERRI / UIC, 2001
- 2) APOLO - proyecto UE, informe final, 2002
- 3) GADEROS - proyecto UE, informe final, 2004
- 4) INTEGRAIL - proyecto UE, informe final, 2003
- 5) RUNE - proyecto UE, informe final, 2003
- 6) LOCOPROL/LOCOLOC - proyecto UE/ESA, presentaciones resumidas para publicación
- 7) GEORAIL - fase 1 y 2, proyecto final UIC; informes 2003 y 2004
- 8) TMG - guiado de máquinas de vía, proyecto UIC, informe final 2005
- 9) Baliza virtual - FRS, SRS, requisitos de su arquitectura y escenarios de referencia para su aplicación - Documentos ERRI / UIC, 2003.

Documentos de Definición de Alto Nivel de GALILEO, UE/ESA, 2003

Preparado por el Grupo de trabajo "GALILEO, Aplicaciones ferroviarias"

Notas

¹ Posición con un error que excede el límite de exactitud de la aplicación, error de velocidad > límite tolerado de la aplicación para la medida de la velocidad.

² Los requisitos de este ejemplo no están estrictamente justificados por una aplicación determinada: son sólo indicativos.

³ Otra interpretación demuestra que el requisito meta del ETCS para la exactitud está dado por $\pm 5 \text{ m} + 2\%D$, siendo D la distancia recorrida desde la última calibración del odómetro. No hay un requisito de exactitud transversal para el ETCS, puesto que la discriminación entre vías paralelas está garantizada por el número de identidad individual de la baliza. Sin embargo, el requisito de exactitud transversal podría ser deducido del requisito de integridad: de acuerdo con el requisito de riesgo de integridad de $< 10 \text{ E-11/h}$, correspondiente a 8s, para la localización del tren, y suponiendo que la distancia entre dos vías paralelas adyacentes sea de 4 m, la desviación estándar del posicionamiento por GNSS debería encontrarse al nivel de 0,25 m.

⁴ No hay un término de límite de alarma en el ETCS. Utilizaríamos el "intervalo de confianza" como término. El nivel de confianza puede ser definido con 8s o 10 E-11. El intervalo de confianza, definido como límite de error para la localización a lo largo de la vía, puede ser en la práctica muy superior a 25 m. Un riesgo para la localización a lo largo de la vía ocurre solamente si el intervalo de confianza no se ha estimado de forma suficientemente grande. Un riesgo para la detección de la vía ocurre si no se puede asegurar la exactitud de 2 m para un 8s.

⁵ La opinión de RSSB (Reino Unido) es favorable a la utilización de aplicaciones que comiencen con el odómetro basado en GNSS. Los costes y requisitos de diversidad indican que podría funcionar con el servicio abierto GPS y señales de GALILEO con aumentación - ya sea de área amplia (EGNOS) o diferencial (esto es muy atractivo para el Reino Unido y está disponible en la mayor parte de Europa, pero no es "europeo")-. De aquí es de donde viene en parte la integridad de la seguridad. El uso de INS y otros sensores para la continuidad es esencial, como también lo es el uso de una base de datos de coordenadas de la vía con una tolerancia mejor que 20 cm a 2s. El algoritmo será específico ferroviario, dados los problemas particulares de visibilidad que afectan a la aplicación ferroviaria. El gran beneficio para las funciones ATP es dependiente de ello y de la elevada precisión en la medida de la velocidad.

⁶ Un ejemplo de sistema de bajo coste es el control por radio de la línea local Gmunden - Vochdorf, sobre cuya concepción de la seguridad, basada en el posicionamiento de los trenes por medio de satélite, ha informado la Universidad de Ciencias Aplicadas de Wels, concretamente el profesor B. Stadlmann.

⁷ En Estados Unidos, el sistema de operaciones de la Línea de la costa Este está basado en el PTS asistido por satélite GPS.

⁸ El LRK con postprocesado no necesita un enlace de radio.

⁹ Ejemplo: en el caso de las aplicaciones comercial y mercado global, la localización por satélite se combina con la comunicación por radio y dispositivos de "inteligencia" programada. En el caso de aplicaciones de control de trenes, el riesgo de integridad de GALILEO SoL puede no ser suficiente y se emplean técnicas para la cualificación de la seguridad de la información sobre localización.

¹⁰ Los proveedores de servicios comerciales tomarán decisiones sobre los servicios ofertados, por ejemplo: datos de integridad, correcciones diferenciales para áreas locales, etc., que dependerán de las características finales de los servicios ofertados por GALILEO.