



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA EN MOVILIDAD Y TRANSPORTE**

**Trabajo Terminal de Grado**

**“Propuesta para la estandarización de un sistema ATP (Protección Automática de Trenes) para el sistema ferroviario de México”**

Que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN MOVILIDAD Y TRANSPORTE**

Presenta:

**Ing. Aldo Arturo Iturbe Alvarez**

**Directora: Dra. Lourdes Loza Hernández**

**Codirector: Dr. David Joaquín Delgado Hernández**

**Tutor: Dr. Juan Roberto Calderón Maya**



Toluca, México

Febrero, 2025

Agradezco al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por el apoyo económico otorgado, para la realización de mis estudios de posgrado.



## Contenido

Glosario:.....	5
Abreviaturas y Acrónimos.....	9
Resumen: .....	11
Introducción .....	12
Planteamiento del Problema.....	14
Objetivos.....	17
Justificación .....	18
Hipótesis.....	18
Alcances y Limitaciones .....	19
Capítulo 1. Los Sistemas ATP como parte de la seguridad y protección en el ferrocarril .....	21
1.1 Antecedentes.....	21
1.2 La importancia del sistema ATP en el ferrocarril, su relación con el ERTMS y la señalización.....	22
1.3 Sistemas de protección ATP .....	26
1.4 Introducción a los Sistemas de Control de Trenes .....	30
1.5 Otros sistemas de control de trenes.....	33
1.6 Distintos sistemas señalización en Europa .....	35
Capítulo 2. Sistemas de seguridad externos al ATP.....	38
2.1 Antecedentes.....	38
2.2 Aparatos de vía para la seguridad del ferrocarril .....	40
2.3 Principales sistemas auxiliares de detección .....	43
Capítulo 3 Diagnóstico de la situación actual .....	45
3.1 Antecedentes de la situación actual .....	45
3.2 Características de los tramos de vía en México.....	48
3.3 Señalización ferroviaria en México .....	50
3.4 Señalización ferroviaria de cruces .....	52
3.4.1 Cruces a nivel .....	52
3.4.2 Sobre los cruces de ferrocarril .....	54
3.4.3 De los sistemas de control de tráfico.....	55
3.5 Sección segunda del tránsito de trenes.....	56
3.6 Ventajas del sistema actual.....	60
Capítulo 4. Propuesta del ERTMS como un ATP estándar de señalización y control ferroviario .....	61

4.1 Introducción al ERTMS.....	61
4.2 Funcionamiento y componentes del sistema ERTMS nivel 1.....	63
4.3 ERTMS nivel 2.....	66
4.4 ERTMS nivel 3.....	68
4.5 Ventajas de un sistema ERTMS.....	69
4.6 Desventajas del sistema ERTMS.....	71
4.7 Beneficio social .....	72
4.8 Sostenibilidad .....	72
CONCLUSIONES .....	74
Recomendaciones .....	75
Trabajos Futuros.....	76
REFERENCIAS .....	77

## Glosario:

**Automotor:** Consiste en un tren conformado de vehículos ferroviarios que pueden funcionar sin locomotora externa de tracción, debido a la presencia de su propio motor. (ADIF, 2024)

**Agujas ferroviarias:** Son las partes móviles que forman parte de la vía férrea, o el carril, y tienen la particularidad de moverse en posición derecha e izquierda. (Let,2024)

**Bloqueo:** Sistema, con el propósito de garantizar que los trenes viajen por la misma vía y en la misma dirección manteniendo una distancia segura para evitar colisiones. Trata de evitar que dos trenes viajen simultáneamente en la misma dirección por la misma vía. Es imperativo que los trenes no viajen en direcciones opuestas en la misma vía para evitar posibles percances. (Renfe, 2024)

**Cantón:** Un segmento de vía, donde solo se permite operar un tren en circunstancias de tráfico normales.

**Cruce a nivel o paso a nivel:** Lugar donde una línea de ferrocarril se cruza con una carretera, calle o autopista.

**Circuito de vía:** circuito eléctrico o electrónico cuya principal función es detectar si un tren se encuentra ocupando un determinado tramo de vía.

**Derecho de vía:** es un segmento de terreno que se requiere para la construcción, ampliación, mantenimiento, cuidado y para el correcto uso de una vía pública ferroviaria, cuyas dimensiones y especificaciones determine la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Diario Oficial de la Federación, 1995).

**Empresa Ferroviaria (EF):** La titular de una licencia que se ajusta a la legislación

pertinente y su ocupación principal es ofrecer servicios de transporte de pasajeros o mercancías por ferrocarril.

Enclavamiento: Mecanismo que permite la creación de vías seguras para que los trenes viajen a través de las áreas de las estaciones, se basa en la correlación entre la ubicación de varios componentes de la vía, las barreras ubicadas en los pasos a nivel (si corresponde) y las instrucciones que transmiten estas señales. Esta interdependencia garantiza el funcionamiento fluido y seguro del sistema ferroviario.

Itinerario: Planificación de un trayecto para la realización de un desplazamiento ferroviario, garantizando que el tren entre, pase o salga de una estación, con las agujas posicionadas correctamente (ADIF, s.f.).

Locomotora: Máquina ferroviaria que tiene la capacidad de moverse de forma independiente mediante tracción térmica o eléctrica, y está diseñada principalmente con el fin de arrastrar otros vehículos ferroviarios detrás de ella.

Unidad múltiple: Tren con unidades múltiples, no se requiere de una locomotora para su arrastre, siendo que los motores están incorporados en los vagones del propio tren.

Maniobra: Es el proceso de movimiento en el ámbito del transporte ferroviario, y se puede dividir en varias tareas distintas. Estos incluyen la adición o eliminación de vehículos de un tren, la formación o disolución de un tren, la clasificación de vehículos o materiales y el transporte de un tren o vehículos individuales a lo largo de una vía o entre vías dentro de los límites de las maniobras necesarias.

Radiotelefonía: Medio de comunicación empleados entre vehículos, estaciones, puestos de mando y el personal en la carretera.

Trayecto: Sección de una línea comprendida entre las señales de entrada de dos

estaciones. Si se usa en un sentido más general, también puede referirse al área de vía entre dos estaciones situadas una al lado de la otra.

Tren: Una unidad o varias unidades de tracción, conectadas o no a vehículos ferroviarios, que sean claramente identificables y que operen entre dos o más puntos designados.

Vagones: Vehículos ferroviarios sin tracción propia habilitados para el transporte de mercancías.

Contadores de ejes: Mecanismo de seguridad electromagnético diseñado para detectar, contar y regular el número de ejes que atraviesan la vía, compuesto por pedales direccionales y subsistemas (Digital, 2020).

Desvíos: Son mecanismos que permiten dividir una única vía en dos.

Traviesas o Durmientes: Las traviesas, también conocidas como durmientes de ferrocarril, facilitan el cruce de dos vías sin permitir el paso de una a otra.

Escapes: Vía férrea auxiliar conectada en ambos extremos para evitar colisiones y facilitar el cruce de los trenes, o para almacenar equipo ferroviario (Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, 2023).

Toperas: Dispositivos ubicados al final de las vías férreas, diseñados para detener la circulación de trenes. Pueden ser de metal o de hormigón (Departamento de transporte terrestre, 2022).

Señalización lateral: Son todas aquellas señales laterales a la vía, que intervienen en la conducción de cualquier locomotora o automotor en vías férreas.

Señalización en cabina: Son señales que se ven representadas en la cabina de

conducción a través de una pantalla llamada DMI (Interface Machine Display por sus siglas en inglés).

Puesto de mando: Lugar donde se regula la circulación ferroviaria.

Puesto de bloqueo: Se trata de la señalización ubicada en la vía que ayuda a dividir la extensión del cantonamiento (RENFE, 2003).

Puesto de banalización: Se refiere al grupo de instalaciones cuyo objetivo es permitir, a través de escapes protegidos por señales correspondientes, la transferencia de vías de circulación de los trenes (RENFE, 2003).

Puesto de Cantonamiento: Señal ubicada directamente en la vía para dividir la longitud del bloqueo (Boletín Oficial del Estado de España, 2015).

Vías de circulación: Se utilizan en las estaciones para el ingreso, salida o tránsito de los trenes. Cualquier otra vía, en caso de existir, se conoce como vía de servicio (Boletín Oficial del Estado de España, 2015).



## Abreviaturas y Acrónimos.

ATO: Automatic Train Operation. Consigna de instalaciones, transitoria. Gerencia operativa (RENFE, 1992)

ATP: Automatic Train Protection. Sistema de Protección Automática de Trenes (RENFE, 1992).

ARTF: Agencia Reguladora de Transporte Ferroviario (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2023).

BSL: Bloqueo de Señalización Lateral (ADIF, 2023)

BT: Bloqueo Telefónico (Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, 2021)

ERTMS: European Rail Traffic Management System. Sistema Europeo de Gestión de Tráfico Ferroviario (Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, 2024)

SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, 2024)

GSM-R: Global System for Mobile-Railway. Sistema de Comunicación Digital Específico para Ferrocarril (Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, 2024)

CCD: Continuous Cab Signals (Burke et al, 2005)

CDT: Control directo de tráfico (SCT, 2019).

CMV: De control de mandato de vía (ADIF, 2023)

ATV: De Autorización de Tramo de Vía

AUV: Autorización de uso de vía (Departamento de transporte terrestre, 2022)

DMI: Drive Machine Interface (Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, 2024)

CBTC: Communications – Based Train Control (Schnieder, 2022)

## Resumen:

En Europa el sistema ferroviario de señalización y control ferroviario, llamado sistema ERTMS (European Rail Management System), ha logrado estandarizar este sistema en algunas de sus vías ferroviarias por todo Europa, el cual permite la interoperabilidad y el aumento de la capacidad de tráfico ferroviario; actualmente en México no existe un sistema que estandarice y facilite el tránsito de ferrocarriles, tanto de pasajeros como de mercancías, por tal motivo, en este trabajo se realiza un análisis del sistema mexicano ferroviario y el sistema ERTMS y sus niveles proponiéndolo como un ATP (Automatic Train Protection) único para el sistema ferroviario mexicano, así como sus beneficios y bondades que el sistema aporta.

En este documento se describen aspectos específicos sobre los sistemas de seguridad, señalización y control de trenes, además de mostrar un panorama de cómo se gestiona el tráfico ferroviario y el análisis de lo que las leyes y normas mexicanas exigen a los concesionarios como parte de la operación y seguridad del tráfico ferroviario. Así como también, las causas del abandono del sistema ferroviario en México, por qué ya no se cuenta con trenes de pasajeros y la importancia de regresar al uso de estos, con bases sólidas en temas de sostenibilidad y medio ambiente.

## Introducción

A la fecha, el sistema ferroviario de México comprende más de 15 distintos concesionarios que trabajan conforme a diferentes tipos de sistemas de señalización, lo cual plantea un conjunto de limitaciones y dificultades para el tránsito eficiente de trenes de carga y pasajeros en México. Aunado a esto, existe ineficiencia en la operación del sistema ferroviario, como lo es reemplazo de las locomotoras y maquinistas e incluso trenes completos al pasar de una concesión a otra.

La propuesta presentada en este trabajo se centra en presentar un sistema estándar de Protección Automática de Trenes (ATP) basado en el sistema europeo de gestión de tráfico ferroviario conocido como ERTMS (European Rail Traffic Management System), que permita mejorar y unificar la operación del sistema ferroviario en México. El ERTMS ha sido probado con éxito en Europa, permitiendo la interoperabilidad y el aumento de la capacidad ferroviaria al estandarizar los sistemas de señalización y control a lo largo de las vías.

Este documento proporciona un análisis detallado del sistema ferroviario mexicano, en donde se discuten casos técnicos y operativos asociados con ERTMS, se presentan los beneficios de la posible implementación. Además, se muestra el marco normativo y legal de los sistemas ferroviarios en México para identificar las áreas de oportunidad relevantes para la posible implementación de un ATP estandarizado.

En la sección de Planteamiento del problema se detalla, cómo los diferentes sistemas ferroviarios en el país han resultado en una fragmentación que no solo afecta la eficiencia operativa, sino que también representa un riesgo para la seguridad. Por lo anterior el objetivo principal del Trabajo Terminal de Grado es proponer al Sistema de Gestión de Tráfico Ferroviario Europeo (ERTMS) como un sistema de señalización y control (ATP - Automatic Train Protection) para estandarizar el sistema ferroviario en México, lo cual permitiría a los diferentes

operadores aumentar la interoperabilidad del sistema, con el complemento de reducir los sistemas de vías sin depender de múltiples protocolos de señalización. En el Capítulo 1 se describe al sistema ATP (Automatic Train Protection, por sus siglas en inglés), el cual se relaciona con la seguridad fundamental para los trenes (lo que evita que dos trenes colisionen), que trabaja en conjunto con la señalización en cabina, y a pesar de que hay otros sistemas que contribuyen a la seguridad ferroviaria, en este trabajo se defiende el ATP como paso previo al ERTMS.

Además, la propuesta considera las ventajas de los sistemas de señalización en cabina, que son de mayor seguridad debido al hecho de que informan continuamente al conductor sobre las condiciones de la vía y operabilidad del tren, actualizándose en tiempo real. Esto no solo mejora la toma de decisiones por parte del controlador, sino también reduce la probabilidad de cometer errores que pueden causar accidentes graves. También, los sistemas de señalización en cabina tienen una mejor interacción con el ATP, lo que crea un entorno de operación aún más seguro.

El Trabajo Terminal de Grado muestra los desafíos técnicos y económicos asociados a la implementación del ERTMS en México. Aunque tiene un alto costo inicial de instalación, los beneficios a largo plazo en términos de seguridad e incluso en términos de eficiencia compensan claramente la inversión. En Europa, la introducción del ERTMS aumentó la capacidad ferroviaria en un 30% y se espera que tenga un impacto similar en México. Esto se traduce en un número mucho mayor de trenes por hora sin comprometer la seguridad. Además, la implementación del ERTMS toma las cifras ya existentes en términos de intercambio de mercancías a un nivel completamente nuevo. La dimensión real que puede popularizarse gracias a la oferta de este sistema incluso permitirá a México mejorar las condiciones de transporte hacia América del Norte.

En el Capítulo 2, se muestra un análisis de los sistemas de seguridad externos al ATP; estos son los circuitos de vía y los contadores de ejes, usados para

complementar la protección proporcionada por el ATP, pues se ocupan de verificar si un tramo de vía se encuentra ocupado por un tren y verificar si no ocurren distancias cortas entre estos; los sistemas de detección auxiliar también se exploran en el Trabajo Terminal de Grado, que incluyen detectores de cajas calientes y frenos agarrotados, detectores de recorrido lento del eje del vagón y calibre de rueda.

El diagnóstico del sistema ferroviario mexicano se presenta en el Capítulo 3, donde se da una descripción detallada del estado actual de la infraestructura. A pesar de cierto progreso en lo que respecta al transporte de carga, México sigue rezagado en esta área en comparación con otros países. Por lo tanto, la implementación del sistema ERTMS no solo mejoraría la seguridad y eficiencia del transporte de mercancías en el país, sino que también permitiría la reintegración de trenes de pasajeros.

Finalmente, en el Capítulo 4 se describe la propuesta formal de ERTMS como sistema estándar de ATP en México. Se muestran los tres niveles de ERTMS, desde el nivel 1 que depende de la señalización lateral hasta el nivel 3 que emplea cantones móviles y comunicación ininterrumpida de radio. Las ventajas del ERTMS, como una mayor seguridad, el incremento en la capacidad de tráfico y los menores costos de mantenimiento a largo plazo, lo convierten en una solución viable y sostenible para el sistema ferroviario mexicano.

Con esta propuesta, se espera que el sistema ferroviario de México logre una transición hacia un modelo más seguro, eficiente y competitivo, aprovechando las lecciones aprendidas de la experiencia europea con el ERTMS y adaptando esta tecnología a las necesidades específicas del país.

#### Planteamiento del Problema.

De acuerdo con Brown (2015) en la historia ferrocarrilera en México, el presidente Anastasio Bustamante dio inicio en 1837 a la construcción de la primera línea

ferroviaria que conectaría el puerto de Veracruz con la capital mexicana. La responsabilidad de este proyecto recayó en Francisco Arriaga, quien era un ex ministro de Hacienda, y tuvo un costo aproximado de \$6,500,000 en pesos mexicanos (MXN). No obstante, no fue sino hasta el 16 de septiembre de 1850 cuando se inauguraron los primeros 13 km, y tres semanas después se abrió este tramo inicial al público (Instituto Nacional de Antropología e Historia [INAH], 2015).

En la actualidad, los ferrocarriles son útiles para transportar carga en grandes volúmenes, información del “Anuario estadístico ferroviario del 2019”, emitido por la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF), en 2019 el servicio público de transporte ferroviario de mercancías movió con éxito 125.2 millones de toneladas, lo que supone un aumento del 5% respecto al año anterior. Los tres sectores de productos más importantes que representaron la mayor parte de la carga transportada fueron el industrial, el agrícola y el de minerales con niveles de concentración del 48.2%, 27.1% y 11.6%, respectivamente. Además, las toneladas-kilómetro reportadas para 2019 ascendieron a 89.1 mil millones, lo que representa un aumento del 1.2% con respecto a los 88 mil millones transportados el año anterior (Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, 2019).

Con respecto al transporte de pasajeros en 2019, el Servicio Público de Transporte Ferroviario de Pasajeros transportó un total de 57.5 millones de pasajeros, lo que supone un descenso del 0.4% respecto al año anterior. Sin embargo, los trenes regulares interurbanos y turísticos especiales experimentaron un crecimiento en popularidad, con un aumento del 24% en el transporte de viajeros de 302,453 a 374,977 respecto al año anterior (Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, 2019).

El transporte ferroviario movió el 12.8% de todas las toneladas trasladadas por los modos aéreo, terrestre, ferroviario y marítimo, aumentando su participación en un 4.0% entre 1994 y 2019. En cuanto al transporte terrestre de carga (específicamente el ferrocarril y el transporte por carretera), el ferrocarril representó el 25.6% del total

de toneladas transportadas en 2019, con un aumento del 6.5% en su participación durante el período mencionado (Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, 2020).

De acuerdo con la ARTF en México, la infraestructura del ferrocarril está formado de varios componentes, entre ellos se incluyen 17,360 kilómetros de vías principales y secundarias concesionadas, 4,474 kilómetros de vías auxiliares como patios y pistas y 1,555 kilómetros de vías de titularidad privada. La suma de todos estos segmentos da un total de 23,389 kilómetros de vía explotados (Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, 2020).

La red ferroviaria dentro del territorio mexicano está constituida por 26,914 km, sus principales fronteras son Nuevo Laredo, Piedras Negras, Ciudad Juárez, Matamoros, Nogales, Mexicali, Tijuana y sus principales puertos son Veracruz, Manzanillo, Altamira, Lázaro Cárdenas, Coatzacoalcos, Tampico, Guaymas, Mazatlán y Topolobampo.

De acuerdo con el “Anuario Estadístico Ferroviario, 2019” las empresas que actualmente operan en el país son; Kansas City Southern de México, S. A. de C. V., Ferrocarril Mexicano, S. A. de C. V., Ferrosur, S. A. de C. V., Línea Coahuila-Durango, S. A. de C. V., Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec, SA de CV (FIT), Ferrocarril y Terminal del Valle de México, S. A. de C. V., Administradora de la Vía Corta, Tijuana-Tecate y Gobierno del Estado de Puebla (Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, 2019).

El tráfico ferroviario de la República Mexicana enfrenta un desafío importante: la incompatibilidad de distintos sistemas de señalización y control ferroviario instalados en las vías de cada estado o tramo concesionado, o en su defecto no se cuenta con ningún sistema. La existencia de más de 15 empresas con sistemas de señalización y control diferentes o inexistentes hace que el transporte ferroviario conflictúe entre los distintos estados del país, ocasionando que en los cambios de



cada tramo concesionado se tengan que intercambiar las locomotoras, maquinistas y algunas veces el tren completo.

Para que los trenes naveguen de manera estable y eficiente por un sistema ferroviario, es imperativo un sistema de señalización confiable. Este sistema es responsable de garantizar que el tráfico ferroviario se gestione de forma segura y que los trenes se mantengan a una distancia invariable entre sí en todo momento. Para superar este obstáculo, se analiza la situación actual en el ámbito ferroviario en México y proponer un sistema único de señalización y control estandarizado (ATP), como el sistema europeo de señalización y control ferroviario conocido como Sistema de Gestión de Tráfico Ferroviario Europeo (ERTMS - Rail Traffic Management System), que permita facilitar el tránsito de las diferentes empresas sobre la red ferroviaria en México.

## Objetivos

### *Objetivo general del Trabajo Terminal de Grado*

Proponer el Sistema de Gestión de Tráfico Ferroviario Europeo (ERTMS) para estandarizar el sistema de señalización y control (ATP - Automatic Train Protection) del sistema ferroviario en México.

### *Objetivos específicos*

- Describir los sistemas ATP y los distintos dispositivos de seguridad en el ferrocarril
- Revisar la literatura existente sobre la señalización y control ferroviario
- Diagnosticar la situación actual del sistema ferroviario en México
- Relacionar los sistemas de conducción y señalización de las empresas que operan con relación a la normatividad mexicana.
- Proponer al sistema ERTMS en el sistema ferroviario de México.

- Dar a conocer la importancia de la interoperabilidad de las circulaciones ferroviarias entre los diversos estados de la República Mexicana con un mismo sistema ATP.
- Contribuir al campo del conocimiento relacionado temas fundamentales y técnicos de los sistemas de control ferroviario, la gestión de tráfico y operación del sistema ERTMS.

## Justificación

Como se describió anteriormente en la definición del problema, el presente trabajo nace a raíz de la falta de un ATP (Automatic Train Protection) estandarizado en toda la red nacional de vías férreas para la circulación de los trenes, con un sistema que permita a los trenes fluir de forma ininterrumpida por las diferentes entidades y facilite la competitividad ferroviaria. La estandarización de este sistema traerá consigo fomentar la interoperabilidad entre las diversas compañías ferroviarias en México, impactando directamente en la economía del país, además de evolucionar y modernizar el sistema ferroviario a través del uso de nuevos sistemas de gestión de tráfico.

Con la implementación de un ATP único en las vías ferroviarias se incrementan los niveles de seguridad, se eleva la velocidad de circulación, se fomenta la interoperabilidad de las empresas en la red ferroviaria, se reduce el intervalo de flujo entre trenes y potencializa la competitividad del ferrocarril frente a otros medios de transporte, se reduce el número de accidentes y riesgo en el transporte de carga de mercancías. Además de poner a México a la vanguardia respecto a los países de Latinoamérica, elevándolo al nivel de exigencia de la Unión Europea y Norte América.

## Hipótesis

H<sub>1</sub>: La ausencia de un sistema único de ATP en el sistema ferroviario en México

causa la inoperatividad de las empresas concesionarias sobre la misma infraestructura ferroviaria del país.

H2: El despliegue del ERTMS en el sistema ferroviario en Europa demuestra que se incrementa la capacidad de tráfico y seguridad en la infraestructura ferroviaria del país o región en donde éste se implementa.

### Alcances y Limitaciones

El presente trabajo tiene como marco jurídico el contenido en las leyes mexicanas correspondientes a trasportación y conducción de vehículos de material rodante dispuestos en las leyes vigentes.

La “*Ley Reglamentaria Del Servicio Ferroviario*” artículo 12, menciona parte de las obligaciones que tienen las empresas al momento de adquirir una concesión de un proyecto ferroviario, el cual a la letra dice:

“el título de la concesión deberá contener como mínimo, en la fracción IV Los programas de inversión, construcción, explotación, conservación y modernización de la infraestructura”  
(Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario, 2020).

Mismas obligaciones que son estipuladas en el “*Reglamento Del Servicio Ferroviario*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 30 de septiembre de 1996, haciendo énfasis al Artículo 15 de la siguiente manera: los distribuidores deberán cumplir, al menos, con los compromisos de inversión establecidos en el plan de negocios, el cual deberá adjuntarse al título de concesión y actualizarse cada cinco años, enviando la copia correspondiente a la Secretaría. Se entiende que dicha actualización no deberá implicar la reducción de la inversión prevista en el plan de negocios original, a menos que la Secretaría lo autorice por escrito (Reglamento del Servicio Ferroviario, 2011).

En el plan de negocios del concesionario se incluirán mínimamente detalles como programas de inversión, construcción, explotación, conservación y modernización de la infraestructura. Además, habrá información sobre cómo mejorar la eficiencia y seguridad del servicio, junto con una estrategia para cumplir con los servicios sociales descritos en el título de concesión correspondiente.

Dentro de las limitantes en el desarrollo de este trabajo se tiene que, debido a la confidencialidad de algunas empresas no fue posible el acceso completo a la información que permita un análisis profundo en cuanto a sus sistemas de señalización y control ferroviario para ser plasmado en el presente Trabajo Terminal de Grado, por otro lado, y también tomando en cuenta que una propuesta es muy extensa por la complejidad del sistema ferroviario, se muestra solo las ventajas de la implementación.

Debido que este proyecto es una propuesta para la estandarización de un ATP para mejorar la interoperabilidad de las empresas ferroviarias del transporte en México, no se pretende llegar hasta la implementación de éste, sin embargo, sirve como base para futuros proyectos y toma de decisiones. Además, está dirigido a todas aquellas personas, compañías ferroviarias, inversionistas e instancias gubernamentales, interesadas en la modernización y construcción de vías ferroviarias.

Este proyecto es de alta importancia debido a que es un referente fundamental para la implementación de un sistema único de ATP para el sistema ferroviario en México, ya que contiene las bases, teóricas, operativas y jurídicas sobre las que se puede llevar a cabo. Impactando directamente en la economía del país, puesto que permitiría abrir nuevos caminos de interoperabilidad en el país, trayendo beneficios para todos los ámbitos y sectores que se relacionan con el transporte tanto para la movilidad de pasajeros como para trenes mercantes, facilitando y unificando la red de transporte ferroviario, abriendo paso en la construcción de un futuro hacia el desarrollo y modernización del sistema de transporte y uso de nuevas tecnologías.

## Capítulo 1. Los Sistemas ATP como parte de la seguridad y protección en el ferrocarril

En este Capítulo se muestran los antecedentes e importancia del sistema de señalización y control (ATP) en los sistemas ferroviarios, lo cual permite mejor desempeño y operatividad en el transporte tanto de carga como de pasajeros. También, se muestran los distintos sistemas de protección y de control, así como los distintos sistemas utilizados en Europa principalmente.

### 1.1 Antecedentes

El desarrollo de la señalización ferroviaria surgió como una respuesta lógica a la demanda de un mayor tráfico de trenes en las líneas ferroviarias, garantizando al mismo tiempo la seguridad tanto de los trenes como de sus pasajeros. El objetivo era permitir la circulación de trenes consecutivos minimizando el riesgo de accidentes.

El desarrollo de la señalización ferroviaria comenzó con el uso de banderas de colores para indicar si los trenes podían pasar o no. A medida que pasó el tiempo, surgieron las indicaciones mecánicas, que eventualmente evolucionaron a señales eléctricas. Este nuevo sistema implicó el uso de imágenes luminosas laterales a lo largo de las vías. Hoy en día contamos con sistemas de información electrónicos dinámicos y online que proporcionan instrucciones a los maquinistas a través de pantallas dentro de la cabina de conducción, como último avance en señalización ferroviaria.

La industria ferroviaria denomina señalización a sus distintos sistemas de control y protección de trenes. Este método de gestionar y dirigir el tráfico de trenes es similar al uso de semáforos en otros sectores del transporte, con imágenes que indican al conductor de un tren en particular si puede avanzar o no, además de dictar la velocidad a la que puede hacerlo.

## 1.2 La importancia del sistema ATP en el ferrocarril, su relación con el ERTMS y la señalización

En este apartado se describe al sistema ATP, como uno de los sistemas de control de trenes en el modo de conducción, que no permite rebasar el valor de la velocidad de seguridad y que trabaja conjuntamente con la señalización lateral o en cabina, y aunque existen algunos otros sistemas que ayudan a la protección del tren se toma como referencia en el presente trabajo al sistema ATP como modelo base, para la evolución y el entendimiento a el sistema de señalización y control de trenes ERTMS, además de ser necesarios en la conducción y gestión del tráfico ferroviario.

El sistema ATP es importante para la operación ferroviaria y garantizar la seguridad de los pasajeros y del vehículo ferroviario. Los primeros sistemas de señalización únicamente tenían equipamiento en vía y recaía en el maquinista la seguridad en la conducción respetando las indicaciones de las señales que se le presentaban a lo largo del trayecto. Al aumentar la velocidad esta tarea cada vez resultaba más complicada, ya que el maquinista tenía que estar pendiente de las señales a velocidades altas. Esto hizo necesario desarrollar múltiples sistemas de control y mando responsables de atender a los maquinistas en la conducción segura y de ahí nació la señalización en cabina.

### *Problemática de la señalización lateral*

Algunos de los problemas que presenta la señalización lateral y de las consecuencias acorde a los casos que se mencionan.

- Mala visibilidad: en caso de condiciones climáticas desfavorables. Las condiciones climáticas adversas como niebla, lluvia y nieve, pueden provocar una visibilidad reducida de la señalización, lo que da lugar a una mala interpretación de la información proporcionada o incluso a la imposibilidad de comprenderla en su totalidad. Para mitigar esto, se implementan restricciones de velocidad durante tales condiciones, lo que lleva a una

reducción en el flujo de tráfico y posibles retrasos.

- Rebase de señales en rojo: puede ocurrir debido a la falta de visibilidad provocada por las inclemencias del tiempo o por obstrucciones en la vía que impidan la claridad de la señal. Además, pueden producirse accidentes por descuido del conductor o por pérdida de tracción por parte del tren, lo que en última instancia puede provocar una colisión o descarrilamiento.
- Complejidad de la información: hay ocasiones en las que el conductor, ya sea por cansancio o por inexperiencia, puede no percibir con precisión toda la información que le transmiten las señales laterales.
- Alta velocidad: a velocidades altas del paso de una señal podría causar la falta de visión de ésta, debido al efecto túnel, un supuesto es, por el paso de una vía a velocidades altas las señales no puedan ser captadas por el maquinista, haciendo omisión de éstas al paso por una estación, agujas, cruzamientos o curvas en la vía, provocando un accidente grave, ya que no se respetarían los límites de velocidad permitidos en la vía.

Todas las situaciones anteriores suponen cada vez el aumento de un riesgo mayor, debido al incremento del tráfico ferroviario y la velocidad.

### *Los sistemas de señalización en cabina*

La señalización en cabina es un sistema de seguridad utilizado en el transporte ferroviario. Su finalidad es transmitir información sobre el estado y condición de la vía a la cabina, al compartimento del conductor o al compartimento del personal de una locomotora, vagón o unidad múltiple. Esta información se va actualizando continuamente y se ve reflejada en una pantalla situada enfrente de la cabina para la fácil lectura del conductor del tren o locomotora llamada DMI.

Como consecuencia de las amenazas y peligros mencionado en la señalización

lateral, se desarrollaron diferentes sistemas que dependen de cada momento y lugar de desarrollo. Se subdividen en 3 grupos:

- *Sistemas puntuales*: a lo largo del recorrido, los detalles sobre la señalización se transmiten a intervalos designados. Estas señales fueron las inaugurales que se crearon, destinadas principalmente a evitar que se pasaran por alto señales.
- *Sistemas puntuales de supervisión continua*: la evolución de los anteriores. Se produce únicamente a intervalos designados entre los puntos de recopilación de información, se supervisa de cerca el cumplimiento.
- *Sistemas continuos*: gracias a la transmisión continua de información, se realiza un seguimiento constante del estado operativo del tren.

Los sistemas anteriores fueron diseñados originalmente para evitar el peligro de ejecutar una señal roja, los sistemas ATP utilizan un proceso de dos pasos. En primer lugar, se emite un aviso al conductor para evitar posibles adelantamientos y, si el aviso no se escucha, se aplican automáticamente los frenos de emergencia. A medida que aumenta la demanda y la velocidad del tráfico ferroviario, también aumenta la complejidad de estos sistemas, incorporando alertas de otros riesgos potenciales como pasar por señales de precaución y cambios de velocidad. El control de velocidad es un aspecto crítico de tales sistemas, que monitorean continuamente la velocidad del tren y la reducen gradualmente a medida que se acerca a una señal de parada mediante el uso de curvas de frenado.

Los sistemas básicos de señalización de trenes solo muestran la señal del lado de la vía que se encuentra fuera del tren o de la carretera. Sin embargo, los sistemas más avanzados tienen la capacidad de mostrar información adicional, como la velocidad permitida, la proximidad de otros trenes y actualizaciones dinámicas sobre las condiciones futuras. Las señales de la cabina también se pueden incorporar a un sistema integral de protección del tren que puede activar los frenos



automáticamente en caso de que el operador no responda a una situación peligrosa.

El objetivo fundamental de un sistema de señales es mantener una distancia segura entre trenes, así como detener o desacelerar trenes ante un escenario potencialmente peligroso. El sistema de señalización en la cabina representa una mejora con respecto al sistema de señalización en la carretera, que utiliza señales visuales situadas encima o al lado del derecho de vía para monitorear el movimiento del tren. Proporciona al operador del tren un recordatorio constante de la señal anterior en la carretera o una visualización continua de las condiciones futuras (Antonio Puyol Gomez, 2022).

Los estándares de señalización en cabina se crearon en Europa y otras regiones del mundo país por país, lo que resultó en una interoperabilidad restringida, sin embargo, las nuevas tecnologías como el Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario (ERTMS) incluyen la señalización en cabina en su sistema representado en una pantalla (DMI), el cual se analizará en la propuesta de este documento.

Por otro lado, el ERTMS es un modelo implantado en la Unión Europea para la gestión del tráfico ferroviario, como iniciativa de la Unión Europea a finales de los años 80's e inicios de los 90's, siendo en 1990 cuando la Comisión Europea respaldó su creación, para convertirlo en el sistema ferroviario único en Europa, con el objetivo de garantizar la interoperabilidad de las redes ferroviarias a través de un estándar único a nivel europeo (Tribunal De Cuentas Europeo, 2017, 13).

El objetivo final de esta propuesta para el sistema ferroviario en México es crear un sistema ferroviario unificado donde los trenes puedan circular libremente por todos los estados de la República Mexicana. Los recientes avances y la participación de organizaciones europeas han hecho posible la instalación de sistemas ERTMS en un número cada vez mayor de líneas ferroviarias en todo el mundo.

Con relación al sistema ferroviario en México, actualmente esta comunicación férrea

no es posible debido a las diferencias de los sistemas de comunicación, electrificación y sistemas tecnológicos que existen entre las redes de cada uno de las diferentes empresas que están concesionadas, para operar sobre el territorio mexicano así como la falta de inversión, ya que cada tren o compañía utilizado por una empresa nacional o extranjera de ferrocarriles, tienen sus propios sistemas de control de tráfico, que éstos a su vez trabajan con su propia señalización. Los costos asociados a la implantación del sistema ERTMS son elevados y además añade una considerable complejidad técnica y operativa a los sistemas ferroviarios. Precisamente por eso el sistema pretende eliminar las barreras que existen, permitiendo un mejor rendimiento del transporte ferroviario y al mismo tiempo nivelando las condiciones entre el transporte por carretera y el ferroviario (Mafex, 2016, 1 de Septiembre).

Cabe mencionar que en Europa no se ha llegado a la meta para la estandarización del sistema ERTMS en toda su red ferroviaria, ya que conlleva inversión y presupuestos, pero se han hecho varios esfuerzos para alcanzar este objetivo.

### 1.3 Sistemas de protección ATP

En primer lugar, es importante definir en que consiste un ATP de acuerdo con el Ministerio de Fomento Español (Unión Europea). Para garantizar la seguridad de las operaciones de los trenes, el sistema ATP (Protección Automática de Trenes) se encarga de supervisar las actividades del conductor y ejecutar las medidas correctivas necesarias cuando sea necesario. Este seguimiento constante garantiza que la circulación del tren siga siendo segura y fiable (Más que Ingeniería, 2020).

ATP, o sistema automático de protección de trenes, es un término que también puede referirse al bloqueo automático de control. Este sistema se encarga de transmitir una secuencia de señales codificadas desde la vía a los trenes. Un ordenador de a bordo recoge estas señales teniendo en cuenta la longitud del tren, su curva de frenado y datos de la ruta, como perfiles de pendiente y límites de

velocidad máxima. Estas señales se recogen periódicamente, normalmente al inicio de un circuito de vía. El sistema sigue de cerca el progreso de cada tren, definiendo los límites máximos de velocidad según la ubicación del tren y las condiciones de la vía, como curvas o cercanía a estaciones. Asimismo, calcula la distancia prevista que el tren puede recorrer sin parar.

Utilizando esta información, el sistema ATP dentro de la computadora calcula persistentemente la velocidad más alta permitida y la muestra al operador. Además, si la velocidad no supera el máximo permitido, el sistema se abstendrá de tomar medidas restrictivas. De lo contrario, el sistema le avisará al maquinista mediante una señal sonora (señal de alerta) o visual (foco, led etc.) que está rebasando la velocidad y si el maquinista no actúa de inmediato a reducir la velocidad, el ordenador intervendría actuando sobre el equipo de frenado hasta frenar por completo el tren (Glosario Español de ALicante , 2014); (Dra. Aránzazu de Caballero, 2020).

El sistema ATP es un sistema de control basado en datos definidos por los itinerarios de los enclavamientos y la ubicación de los trenes en una red, para determinar los límites de velocidad de los trenes en un mismo tramo; también, activa el freno de emergencia del tren de forma automática y segura, para reducir su velocidad y detenerlo cuando sea necesario, por ejemplo, en caso de falta de comunicación en el tren tierra, rebase de una señal en rojo, error humano, sobrepase los límites de velocidad, etc., evitando el alcance de trenes, que causen accidentes o desastres.

### *Clasificación de los sistemas de protección ATP*

Cuando se trata de categorizar los distintos sistemas ATP según su funcionamiento, comúnmente se utilizan dos clasificaciones. La primera clasificación se refiere a la transmisión de información, mientras que la segunda clasificación se concentra en la utilización de dicha información por parte del propio ATP durante la transición. Esto permite una comprensión clara y concisa de los diferentes sistemas ATP.

### *Transmisión de la información*

Para que se lleve a cabo la transmisión de la información, debemos tomar en cuenta los enclavamientos que a su vez incorporan aparatos que permiten que el tren se mueva de forma segura, ya que están planificados y diseñados por los itinerarios. Estos itinerarios contienen la ruta o el recorrido que va a hacer un tren para entrar, salir o pasar por una estación o por una bifurcación.

En el puesto de mando se dirige la creación y terminación de rutas de trenes, así como se monitorea el movimiento del tren. El enclavamiento es responsable de examinar las directivas del puesto de mando para confirmar su exactitud y viabilidad. Tras la revisión y aprobación, envía implementos de campo, como órdenes de señales y agujas, para garantizar que todos los componentes estén colocados correctamente.

Para una comprensión integral del funcionamiento del enclavamiento, los objetos de campo son un componente crucial y necesitan una descripción.

### *Transferencia de la Información en un sistema ATP*

El paso de la información entre el enclavamiento y el equipo ferroviario es:

1. *Continuo*: la comunicación entre el tren y la tierra es continua, es decir, no hay interrupciones a lo largo de todo el recorrido, se realiza a través de los mismos rieles, mediante un cable ubicado en el centro del riel y mediante señales de radio.

2. *Puntual*: donde se hace uso de balizas que transmiten los datos al paso del tren en puntos específicos del riel, las cuales se ubican sobre los durmientes. Este tipo es el más actual utilizado en el sistema ERTMS, para los tipos de balizas siguientes:

*i. Balizas de datos fijos*: la transmisión de los datos es constante e inflexible.

ii. *Balizas de datos variables*: la transmisión de los datos se adapta a los niveles de tráfico.

Por otra parte, desde un enfoque funcional, los sistemas ATP (continuos y puntuales) pueden ser de velocidad máxima, donde la detención del tren se basa en la distancia entre secciones (dejando al menos una libre) como lo muestra la figura 1. Este sistema disminuye la capacidad de la línea, sin embargo, es de los sistemas más utilizados.

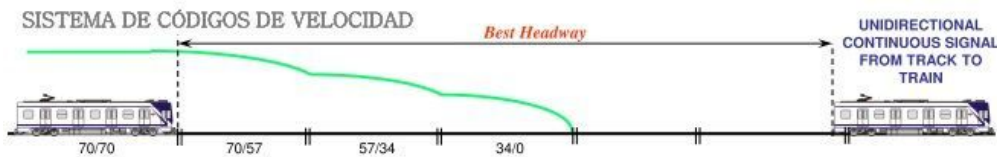


Figura 1. Sistemas ATP continuos y puntuales. Fuente tomada de (Más que Ingeniería, 2020).

Otro tipo de sistemas ATP continuo es el llamado de distancia objetivo, en el cual el tren se detiene a una distancia específica en metros del cantón ocupado (usualmente 50 metros) como lo muestra la figura 2. Lo anterior debido que el ATP detecta la distancia entre los cantones, acelerando el frenado del tren para evitar el acercamiento al tren más próximo, lo cual mejora el desempeño de la capacidad de la línea.

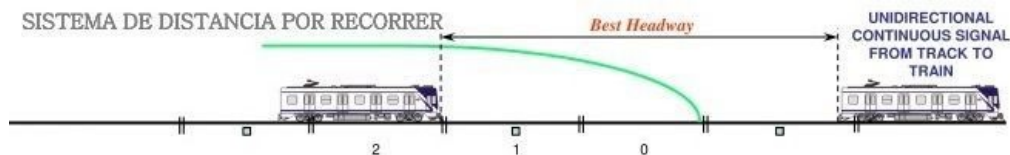


Figura 2. Sistemas ATP continuo de distancia por objetivo. Fuente tomada de (Más que Ingeniería, 2020).

3. *Sistemas de cantón móvil o sistemas continuos (CBTC)*: la comunicación entre trenes en trayectos idénticos es ininterrumpida, lo que permite que el sistema monitoree constantemente la ubicación y velocidad precisas de cada tren. Esto

permite designar la parada como la parte trasera del tren anterior, independientemente de la longitud de los bloques, como se muestra en la figura 3. Este sistema permite optimizar la capacidad de la línea.

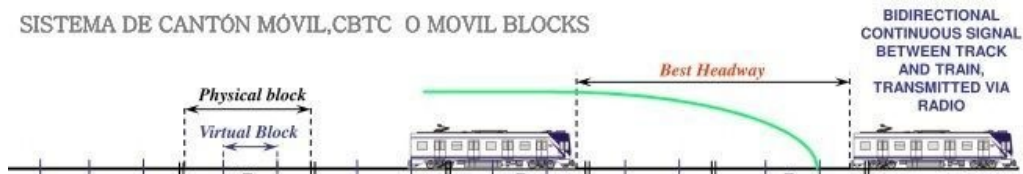


Figura 3. Sistemas de cantón móvil o sistemas continuos (CBTC). Fuente tomada de (Más que Ingeniería, 2020).

#### 1.4 Introducción a los Sistemas de Control de Trenes

Como parte de los sistemas de control de tráfico se da a conocer una pequeña introducción de la evolución de los sistemas de control desde los inicios. Los primeros aparatos no visuales para el apoyo de la señalización lateral en la conducción de trenes son muy antiguos, datan de 1842, los cuales eran una señal acústica denominada el “detonador” que consistía en señalar algún peligro inminente mediante la explosión de un petardo al paso de un tren por el dispositivo alertando al maquinista para tomar la acción necesaria, en su caso el frenado del tren (Museo del ferrocarril de Madrid, 2017); (EcuRed contributors, 2019).

A partir de 1850, tanto en Gran Bretaña como en Estados Unidos, surgió un nuevo desarrollo en el ámbito de las señales acústicas: la automatización por medios mecánicos. Para ello se utilizaban dispositivos que se instalaban junto a las vías y producían una señal acústica, normalmente en forma de gong. Cuando la señal indicaba que el tren debía detenerse, una barra entraba en contacto con las ruedas y sonaba el gong. Finalmente, el gong se trasladó a la propia locomotora, creando la primera versión de señalización de cabina.

En Francia se creó el "Cocodrilo" alrededor de 1872, un sistema de control de trenes diseñado para repetir señales laterales. Fue construido para durar más y todavía se

utiliza en la actualidad en los sistemas ferroviarios belgas y franceses. El nombre "Cocodrilo" se deriva de la configuración de la herramienta de rampa que se colocó entre los rieles. Este dispositivo se utiliza para crear conexiones galvánicas (electromecánicas) y transmitir datos a la locomotora.

Después de este suceso, la implementación del auténtico sistema inicial de control de trenes estaba a un solo paso. En el año 1870, el ingeniero jefe de Pennsylvania Railroad, Axel Vogt, introdujo un tubo de vidrio en la cabina, conectado al tubo del freno de aire. Cada vez que un tren omitía un semáforo en rojo, una palanca de señal se conectaba con el tubo de vidrio, causando su rotura y activando los frenos.

La empresa británica GWR introdujo el ATC (control automático de trenes) en 1906, que fue el primer sistema de control de trenes utilizado a gran escala. El Control de Tracción Automática (ATC) se basó en el diseño del sistema "Cocodrilo" francés, agregando desde un principio más funcionalidades como la visualización mecánica en la cabina, la activación automática del freno de emergencia y una señal acústica. Si bien el ATC y sistemas similares han sufrido varios cambios a lo largo del tiempo, el principio subyacente sigue siendo el mismo y sigue utilizándose en la actualidad.

El año 1920 marcó un momento significativo en la historia del control de trenes con la introducción del sistema CCS (Continuous Cab Signals) por parte del Ferrocarril de Pensilvania. Este sistema pionero ha servido de base para muchos sistemas contemporáneos, incluidos el ATB holandés y el BACC italiano. El CCS funciona utilizando contacto inductivo en lugar de contactos electromecánicos con piezas móviles que son propensas a averías. Este sistema implica un receptor en la locomotora y circuitos codificados en la vía. La aparición de la siguiente señal en la cabina se indica mediante luces de colores, que se han utilizado desde el inicio del sistema. Inicialmente, el CCS incorporaba un dispositivo de intervención automática de frenos, que posteriormente fue desactivado por algunos operadores.

Las señales de cabina anunciadas por la CCS eran tan precisas que ciertas

empresas ferroviarias estadounidenses optaron por eliminar sus señales laterales en un esfuerzo por reducir sus gastos. Después de la Primera Guerra Mundial, la Unión Soviética heredó el sistema CCS. Es importante señalar que, en términos de longitud de líneas operativas, el sistema CCS es el sistema predominante a nivel mundial.

En Alemania, Siemens se embarcó en la creación de Indusi, el primer sistema de control práctico integral que incluía el seguimiento de la curva de frenado. La inducción se utiliza para transmitir información, al igual que en el CCS americano, pero exclusivamente en distintos puntos, utilizando circuitos magnéticos presentes tanto en las señales como en la locomotora. Debido a su fiabilidad, diseño sencillo y capacidad para detener el tren antes de llegar a un punto peligroso, Indusi y sus variantes se convirtieron en el sistema de control más ampliamente utilizado en una parte significativa de Europa, abarcando países como Alemania, Austria, Polonia, la antigua Yugoslavia, Rumania y Turquía.

La transferencia de datos a través de transpondedores es una tecnología relativamente reciente. Los sistemas ASFA de España y EBICAB de Suecia se basan en esta tecnología, con el primero utilizando la versión EBICAB 900. Aún más avanzada es la transmisión inalámbrica, empleada por el sistema europeo ERTMS y sus precursores, el FFB (FunkFahrBetrieb) y el FZB (FunkZugBeeinflussung) de Deutsche Bahn.

Los tres sistemas de control, originados en el Crocodile francés, el CCS estadounidense y el Indusi alemán, han evolucionado de maneras únicas en varias compañías ferroviarias. Los avances modernos en estos sistemas implican el uso de cálculos de perfiles dinámicos en tiempo real para determinar la velocidad.

En el año 1990, la red europea de vía ancha tenía en funcionamiento un mínimo de treinta sistemas distintos de control de trenes. Aunque estos sistemas compartían orígenes y ascendencia común, eran casi completamente incompatibles entre sí. El



desarrollo del ERTMS, así como de las eurobalizas, es crucial para poner fin a la "torre de Babel de las normas".

### 1.5 Otros sistemas de control de trenes

Existen otros sistemas de control de trenes los cuales se relacionan entre si como se muestra en el esquema de la figura 4.

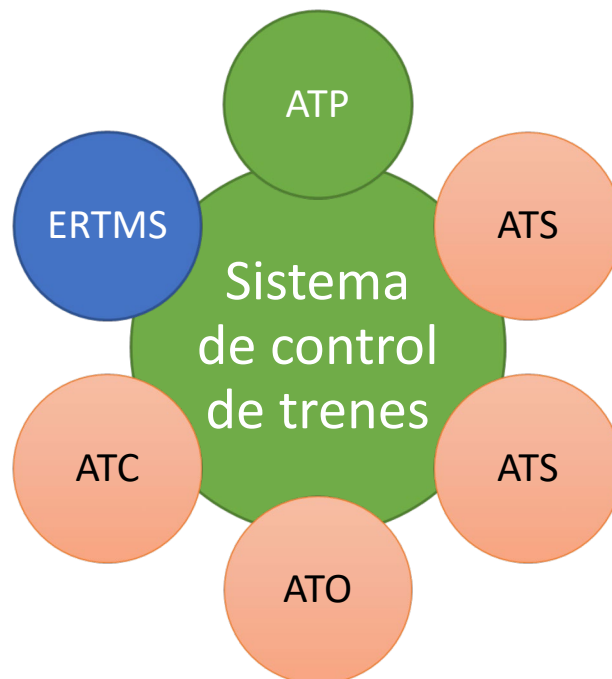


Figura 4. Sistema de control de trenes. Fuente elaboración propia.

- *ATS Parada automática de trenes (Automatic Train Stop).*

La activación de un freno de emergencia (parada automática de trenes) se consigue mediante la transmisión mecánica de información. Este método todavía se utiliza en determinadas líneas de metro de Estados Unidos y Gran Bretaña.

- *ATS Supervisión automática de trenes (Automatic Train Supervision).*

El concepto de ATS (Supervisión Automática de Trenes) es un término amplio que sugiere la gobernanza centralizada de los movimientos de trenes individuales. Un centro de supervisión monitorea las condiciones y movimientos de cada tren,

emitiendo directivas para las maniobras necesarias. Antiguamente esta gestión se realizaba mediante el intercambio de mensajes telefónicos, pero actualmente el control se realiza mediante sistemas informatizados. Otro término para ATS es Control de Tráfico Centralizado (CTC).

- *ATO Operación automática de tren (Automatic Train Operation).*

El sistema de conducción automática que incorpora la comunicación entre los elementos de la vía y los componentes del tren puede enviar señales que dicten o influyan en su velocidad. Todo este proceso está automatizado, a excepción de las puertas del tren y el orden de salida. El sistema ATO funciona de manera similar al sistema ATP, pero el primero asume tanto la aceleración como el frenado, haciéndolos más suaves y precisos. Este sistema elimina la necesidad de un conductor, pero aún se requiere un conductor debido a la incapacidad de solucionar cualquier mal funcionamiento que pueda ocurrir. Para garantizar un frenado preciso en las estaciones, la ATO se comunica con el tren mediante balizas. La primera baliza indica que se acerca un punto de frenada, mientras que las siguientes balizas reposicionan el tren y ajustan la curva de frenada.

Para regular la velocidad, primero se debe determinar la velocidad de deriva. La velocidad de deriva se refiere a la velocidad a la que el tren deja de tirar y el motor ya no suministra par (fuerza) a los ejes, lo que permite que el tren se deslice y finalmente se detenga con la aplicación de los frenos.

Al implementar este sistema, los horarios de viaje pueden ser más consistentes, lo que resulta en mejores tiempos de viaje y una mayor capacidad de pasajeros. La instalación del ATP es crucial ya que permite que la ATO tome el control del tren, anulando así la influencia del conductor. Aunque la mayoría de los sistemas ATO permiten el control manual por parte del conductor, es importante tener en cuenta que la velocidad máxima estará limitada por el ATP.

- *ATC Control automático de tren (Automatic Train Control).*

El ATC, que es la combinación de los sistemas ATP y ATO, abarca una variedad de funciones. Estas funciones constan tanto de procesos automatizados como de aquellos que requieren intervención humana. Hay dos métodos para ejecutar ATC:

i. La transferencia de datos a un tren puede ocurrir a través de varios medios, incluidos circuitos de vía, bucles de control o balizas. Una vez recibida, esta información se traduce en comandos de aceleración, frenado o mantenimiento de la velocidad. Este proceso se conoce como bloqueo totalmente cantonizado.

ii. El método de bloqueo de móviles, también conocido como Señalización Basada en Transmisión (TBS), se realiza mediante transmisión de radio. Un mapa a bordo del tren determina la ubicación del tren, que se pone a cero al inicio de cada viaje y se verifica mediante balizas ubicadas a lo largo de la ruta. Con este método el área de cobertura de la Protección Automática de Trenes (ATP) es más amplia. En caso de fallo de la transmisión por radio, el tren parte de la base de que el tren precedente se ha detenido en el último lugar conocido y se detendrá a una distancia segura detrás de él.

Aunque muchos países han adoptado su propio sistema de control, como se podrá comprender el objetivo de todos los sistemas es garantizar una conducción segura que minimice los errores del maquinista en la conducción y las incidencias que se puedan suscitar en los centros de control y de mando. Dando paso a que los accidentes de ferrocarril vayan disminuyendo con la mejora de dichos dispositivos a través de su funcionamiento e ir mejorando en sus áreas de oportunidad.

## 1.6 Distintos sistemas señalización en Europa

En la figura 5 se aprecian los diferentes tipos de señalización y control de trenes que tiene la Unión Europea, y haciendo mención en algunos países como España que tienen hasta tres tipos de señalización como lo es el EBICAB, LZB, ASFA, y ahora el ERTMS nivel 1 para líneas de cercanías con velocidades no mayor a 200km/h y el ERTMS nivel 2 para sus trenes de alta velocidad que llegan hasta los

350 km/h y los 400 km.

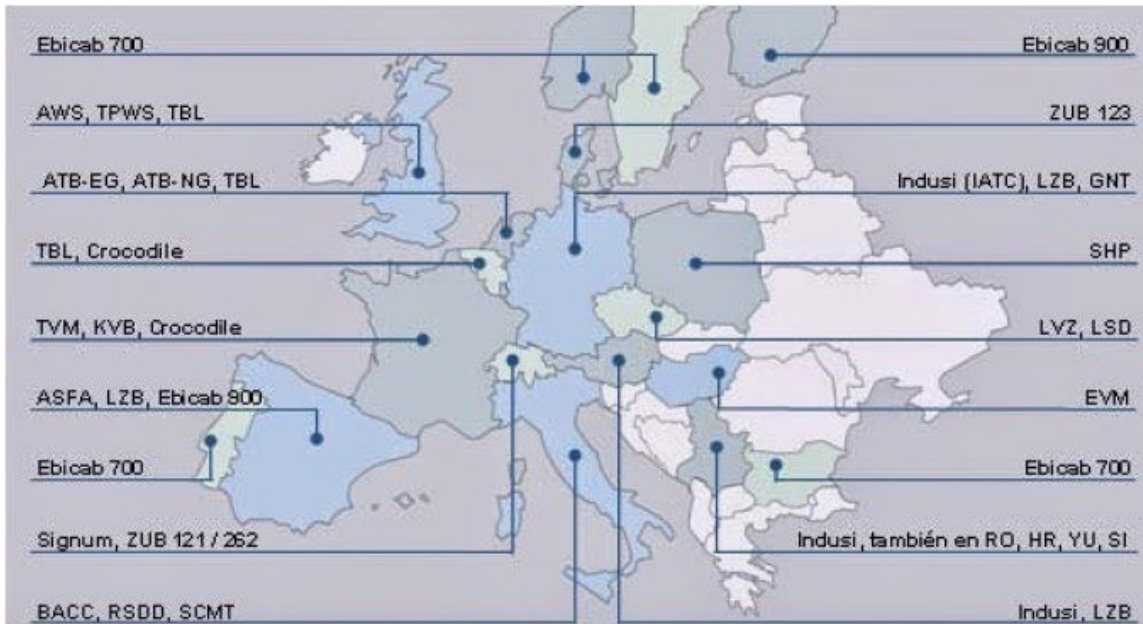


Figura 5. Sistemas de señalización en la red europea. Fuente tomada de (Ribes, 2011).

El Parlamento Europeo hace hincapié en la cuestión de la seguridad y la señalización ferroviaria, señalando que todavía existen aproximadamente 30 sistemas nacionales de señalización diferentes en uso. Estos sistemas son especialmente frecuentes en zonas con tráfico predominantemente local y nacional, donde los sistemas de clase B (aquellos distintos del ERTMS) siguen siendo útiles. La complejidad de estos sistemas es parcialmente responsable de las disparidades y fragmentación de los gastos asociados con la implementación del ERTMS. Un obstáculo para el despliegue del ERTMS y el tráfico ferroviario entre países en la Unión Europea surge de la existencia de sistemas de clase B. La razón es que la implementación de un sistema de este tipo requiere autorizaciones de seguridad más costosas y exigentes para los operadores de redes de transporte, lo que afecta negativamente a la competitividad del transporte ferroviario y supone una amenaza para la compatibilidad técnica y operativa entre los ferrocarriles de todo el mundo. Además, estos sistemas generan gastos suplementarios para el sector, incluidos los costos de mantenimiento.

Se destaca el avance gradual del proceso de desmantelamiento de los sistemas de señalización clase B. Es lamentable que algunos estados miembros no hayan incorporado planes para desmantelar estos sistemas en sus estrategias nacionales de implementación del ERTMS. Es preocupante el hecho de que no exista ningún requisito legal ni un calendario a nivel de la Unión para el desmantelamiento de los sistemas de clase B.

Para garantizar que el despliegue del ERTMS sea rápido y eficaz, es necesario fijar objetivos claros y ejecutables. Los administradores de infraestructura deberían enfrentar consecuencias si no cumplen con estos objetivos, independientemente de si se les proporcionaron los recursos y la financiación necesarios para completar la tarea de manera oportuna.

## Capítulo 2. Sistemas de seguridad externos al ATP

En este apartado se describen los sistemas de seguridad externos de un sistema de protección automática de trenes, tomando en consideración que la seguridad debe ser un componente siempre presente en cualquier sistema ferroviario. Esto incluye todos los aspectos del sistema, desde la infraestructura y los trenes que la utilizan, hasta los responsables de su funcionamiento y las directrices que los rigen.

### 2.1 Antecedentes

Desde los inicios del transporte ferroviario, la seguridad ha sido un elemento integral que no puede separarse de él. Esto se debe a que los inicios del transporte ferroviario han estado marcados por incidentes catastróficos que podrían derivarse de la aceptación de riesgos en cualquier aspecto, desde el despacho y control de trenes hasta defectos en los sistemas de señalización.

Sin duda, la llegada del ferrocarril ha supuesto una evolución continua de las normas de seguridad, encaminadas a minimizar la probabilidad de posibles peligros y mitigar los riesgos de accidentes derivados de los movimientos de trenes en zonas autorizadas.

Al principio, las primeras medidas de seguridad fueron la implementación de normas de tráfico y señales laterales en las carreteras. Estas medidas fueron eficaces para disminuir la prevalencia de situaciones peligrosas y riesgos en el ferrocarril. Posteriormente se tomaron acciones para combatir los peligros causados por el error humano. Para ello se desarrollaron diversos sistemas de seguridad, entre ellos enclavamientos, bloqueos, sistemas de señalización en cabina y diversos dispositivos de vía que sirven para mejorar la seguridad ferroviaria.

La implementación de varios componentes ha permitido una disminución

significativa del riesgo y el correspondiente aumento de la seguridad dentro de la industria ferroviaria. El esfuerzo continuo para mejorar la seguridad implica la identificación y mitigación de nuevos riesgos, así como la reducción continua de los preexistentes. Para lograr este objetivo, se han establecido organizaciones y estándares para crear y promover medidas de seguridad innovadoras que deben cumplir todos los involucrados en el sector ferroviario.

Al discutir la cuestión de la seguridad ferroviaria, se reconocen dos patrones de seguridad distintos. El primer patrón está asociado a las funciones del equipo, mientras que el segundo patrón está asociado al diseño del equipo.

La seguridad funcional se refiere a garantizar el funcionamiento seguro de los trenes que circulan por una red ferroviaria. Las tareas asociadas con la circulación y el movimiento de trenes son realizadas por múltiples equipos, cada uno de los cuales requiere la habilidad y capacidad necesarias para desempeñar sus funciones de manera competente.

La seguridad técnica es una parte integral para garantizar la seguridad de un sistema ferroviario, ya que es responsable de la seguridad funcional de los equipos. El diseño del equipo debe cumplir con los estándares de seguridad para evitar responsabilizar la seguridad funcional del sistema en caso de cualquier mal funcionamiento.

La noción de "Fail Safe" es un componente de la seguridad técnica que merece discusión. A continuación, profundizaremos en su significado e implicaciones.

En la industria ferroviaria, el concepto "Fail Safe" es una medida de seguridad crucial que se considera obligatoria. Se trata esencialmente de un estado de "fallo seguro" por el que, en caso de mal funcionamiento del equipo, el sistema permanece en un estado de seguridad equivalente a su estado anterior.

La seguridad ferroviaria ha utilizado durante mucho tiempo el concepto de "Fail Safe". Originalmente, este término se interpretó como equipo que nunca experimentaba fallas. Sin embargo, la definición de "Fail Safe" ha evolucionado con el tiempo y ahora se refiere a la probabilidad de evitar fallas en un escenario permitido. En caso de fallo, el objetivo es pasar a una situación lo más limitante posible.

En el campo de la electromecánica, el concepto anterior se basaba en un diseño altamente confiable que utilizaba configuraciones robustas y fuentes de alimentación de respaldo. Estos diseños eran tan fiables que se consideraba inexistente la probabilidad de fallo. Sin embargo, con la llegada de la electrónica, que no permite la posibilidad de una probabilidad cero, fue necesario crear una nueva definición.

La última idea tiene en cuenta la posibilidad de fracaso, aunque es muy remota. Los diseños actuales se basan en dos conjuntos de equipos, ya sean iguales o diferentes, y tienen configuraciones redundantes. Estos conjuntos deben alinearse en su producción o someterse a un seguimiento constante mediante diversos procedimientos.

Es importante reconocer que la utilización de ambos conceptos de diseño no es mutuamente excluyente. La elección de aplicar uno u otro depende del equipo específico que se esté diseñando. Por ejemplo, la filosofía "Fail Safe" se puede observar en diversos contextos, como la incorporación de filamentos duales con diferentes intensidades en las señales de los semáforos o la composición estructural de los sistemas de señalización ferroviaria contemporáneos.

## 2.2 Aparatos de vía para la seguridad del ferrocarril

Como complemento de los sistemas de protección para el ferrocarril y aunque algunas veces no trabajan juntamente con los sistemas de protección son



importantes para la comprensión del documento presente ya que ayudan a la conducción segura y minimizar accidentes como se describen en la sección siguiente.

- Circuitos de vía

Desde que surgió la señalización ferroviaria, la detección de la presencia de un tren se ha considerado crucial. Para satisfacer esta necesidad, las vías se dividen en tramos de diferentes longitudes, conocidos como bloques, estando cada tramo separado de sus vecinos mediante juntas aislantes situadas entre los carriles. El circuito de vía funciona según el principio de una señal eléctrica que pasa a través de los rieles. Las ruedas y ejes del tren crean una conexión eléctrica con los rieles, que se utiliza para identificar la presencia del tren (conocido como cortocircuito ruedas-rieles).

Aunque la detección de presencia es una función clave de los circuitos de vía, no es la única función que cumplen. Estos circuitos también desempeñan un papel crucial en la regulación de la velocidad de los trenes y garantizar la seguridad al transmitir comandos de velocidad tanto a los equipos en vía como a los trenes. De modo general, el funcionamiento del circuito de vía se resume de la siguiente manera:

Si un tren X trata de acercarse demasiado a la parte trasera del próximo tren Y, la información provista por los circuitos de vía se usa para enviar una orden de disminución de velocidad al tren X o para detenerlo, previniendo así una colisión potencial (Scalise, 2014).

- Contadores de ejes:

Como componente indispensable de la infraestructura ferroviaria, los sistemas electrónicos de contador de ejes se consideran mecanismos de seguridad, creados

con el propósito de garantizar el mantenimiento de condiciones de seguridad. Cualquier mal funcionamiento o anomalía que pudiera surgir de estos sistemas está diseñado para afectar a la seguridad de la instalación ferroviaria.

Los sistemas de contadores electrónicos de ejes se utilizan, de igual modo que los circuitos de vía, para detectar la presencia de tren dentro de los cantones o secciones de vía definidas. Su funcionamiento no depende de las condiciones de la vía, por ello están especialmente indicados para secciones de vía de difícil aislamiento y problemas de shuntaje (ADIF, Suministro de sistemas de contadores, 1999).

#### *Funcionamiento de un sistema de contador de ejes*

En mecanismo de seguridad en los sistemas ferroviarios, un contador de ejes detecta el paso de los trenes midiendo el recuento de cada juego de ruedas o ejes. Estos contadores están incorporados a los sistemas de señalización de los ferrocarriles y su función principal es determinar si porciones significativas de la vía están ocupadas por tráfico. Esta información luego se puede transmitir a los puntos de control de señales que la utilizan para modificar las señales del sistema según sea necesario.

Para instalar un contador de ejes en un tramo de vía se necesitan dos puntos de detección, uno en cada extremo del tramo. Estos puntos de detección están equipados con dos sensores individuales cada uno, lo que permite al contador determinar la dirección y el paso del material rodante que pasa por encima. Cada vez que una rueda o un eje de tren pasa por un punto de detección, el circuito del contador suma uno a su cuenta.

Inicialmente, el primer detector almacena el número total de ejes detectados hasta que el tren avanza hacia el segundo punto de detección. Tras la activación del segundo detector, el recuento total se reduce en uno. Si el resultado final es cero, entonces la sección siguiente se considera desocupada. Es decir, los mismos ejes

que pasaron al principio del detector si fuesen 50 serían los mismos ejes que tendría que contar al final (50) y en dado caso que hubiese una discrepancia de valores el sistema alertaría al maquinista y a los centros de control indicando que hay una anomalía en el cantón. Esto también pudiera darse en situaciones donde la composición del tren es muy extensa, donde pudiese también darse el caso de desprendimiento del material o escape y aunque no es el objetivo del contador ya que como objetivo es indicar que un tramo o sección de vía está ocupado (figura 6).



Figura 6. Sistema contador de ejes. Fuente tomada de (Frauscher, 2022).

### 2.3 Principales sistemas auxiliares de detección

Para garantizar un viaje en tren seguro y cómodo, es esencial contar con sistemas de detección sofisticados que puedan identificar cualquier factor externo que pueda degradar el rendimiento del ferrocarril. Estos factores podrían provocar una disminución de la velocidad o incluso una interrupción del movimiento de los trenes. La notificación en tiempo real de este tipo de incidentes es fundamental para una circulación óptima de los trenes.

Los detectores de vías son fundamentales para garantizar la seguridad y fiabilidad del transporte ferroviario. Proporcionan protección contra amenazas externas como la caída de objetos o pendientes inestables que podrían suponer un peligro para el tráfico de trenes. Estos dispositivos monitorean constantemente las condiciones de la ruta ferroviaria, la infraestructura, los factores ambientales y el estado de los

trenes, y transmiten esta información al centro de control para una acción rápida y efectiva.

- Detector de cajas calientes y frenos agarrotados (DCC)

El sistema DCC consta de una secuencia de sensores que se encuentran en la vía del tren. Estos sensores están diseñados para supervisar la temperatura tanto de los ejes como de los frenos del tren, y para identificar posibles agarrotamientos de los frenos. Si la temperatura supera el umbral establecido, el sistema enviará una señal ordenando al tren que desacelere su velocidad o, en casos extremos, que se detenga por completo sin demora.

- Detector de caída de objetos (DCO)

El objetivo principal del detector de objetos es identificar si un objeto cae a la carretera. Normalmente se encuentra en pasos elevados y entradas de túneles. Si el detector detecta un objeto, enviará inmediatamente una señal al sistema de señalización, que ordenará al tren que se detenga inmediatamente. Además, el detector notificará tanto al Centro de Regulación y Control (CRC) como al Centro de Control de Tráfico (CTC) (García et al., 2016).

- Detector de obstáculos en la vía en pasos a nivel

El sistema de detección de obstáculos en pasos a nivel está diseñado para identificar automáticamente posibles peligros para los trenes que pasan, evitando así que se produzcan accidentes.

## Capítulo 3 Diagnóstico de la situación actual

En este capítulo se presentan algunos antecedentes de la situación actual del sistema ferroviario en México, así como el marco normativo, incluyendo leyes como la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario y las normas específicas sobre señalización ferroviaria, para subrayar que no hay regulación actual que requiera el uso de un mismo sistema de señalización y control a las concesionarias que se desplazan en el sistema ferroviario en México. Por otro lado, se realiza un diagnóstico de las limitantes en materia de seguridad y control de tráfico con las que cuenta el sector ferroviario y finalmente se mencionan ventajas del sistema actual abordando las leyes sobre los sistemas de control y señalización.

### 3.1 Antecedentes de la situación actual

Dentro del ámbito de la movilidad ferroviaria, una pregunta que suele pasar desapercibida es por qué no existen trenes de pasajeros en México, a pesar de su uso en muchas otras potencias mundiales. Durante el porfiriato se construyeron más de 20.000 kilómetros de vías férreas, según datos de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario en 2020. Posteriormente, Lázaro Cárdenas nacionalizó la industria ferroviaria. Los trenes no sólo facilitaron la comunicación en todo el país, sino que también trajeron desarrollo económico dondequiera que llegaron, beneficiando a las poblaciones locales de diversas maneras.

En 1995, como señala la publicación del blog de Polemon (2021), el Dr. Ernesto Zedillo Ponce de León realizó reformas a la constitución y tomó el control de los trenes, que eran considerados un área estratégicamente importante para la nación. Los políticos de la época afirmaron que los trenes necesitaban importantes subvenciones gubernamentales para seguir funcionando. Como resultado, la política anterior fue privatizar el sistema ferroviario y venderlo a empresas extranjeras, bajo el supuesto de que las empresas privadas mejorarían el servicio. Sin embargo, en 1997, un artículo de “Sin embargo” (2021), reveló que el expresidente Dr. Ernesto Zedillo Ponce de León vendió los derechos de vía a una

transnacional, provocando que el sistema ferroviario en México fuera desmantelado y entregado a diversas empresas. Kansas City Southern fue una de las empresas más grandes entre ellas. Posteriormente, el escritor se convertiría en director ejecutivo de esta empresa luego de fungir como presidente de México. El sistema ferroviario fue entregado a la empresa extranjera por 1.400 millones de dólares, básicamente subastando los derechos de vía y el control del ferrocarril en el centro y noreste de México. Desafortunadamente, el servicio de trenes no mejoró, sino que desapareció.

A partir de 1997, el transporte de pasajeros por ferrocarril se detuvo, ya que las empresas extranjeras centraron su atención únicamente en el transporte de mercancías. Este cambio dejó a quienes dependían de los trenes para su transporte personal sin un medio de viaje confiable.

Según el Dr. Zedillo, la era de los trenes de pasajeros había llegado a su fin y era más práctico utilizar autobuses para el transporte interurbano. Sin embargo, esta afirmación ignora los esfuerzos de los países asiáticos y europeos por mantener sus servicios de trenes de pasajeros. Esta política debió considerar alternativas más allá del modelo de transporte estadounidense, que ha demostrado que viajar en tren no sólo es más asequible, sino también más respetuoso con el medio ambiente. Prueba de ello, es la implementación por parte de la Unión Europea del ERTMS (Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario) para estandarizar los sistemas de conducción, permitiendo viajes en tren sin interrupciones entre países. Además, los países asiáticos han ampliado la distancia de sus viajes en tren de 800 km en 2007 a 38.000 km en 2020 (SANCHIS, 2020), mientras que México no ha logrado ningún avance en este mismo período.

La incorporación de trenes de pasajeros a la infraestructura de transporte de nuestra nación tiene el potencial de disminuir significativamente el tráfico en muchas de las carreteras en México, así como de reducir la cantidad de gases de efecto invernadero nocivos y contaminantes emitidos a la atmósfera. Desde los días de la

era del Porfiriato hasta 1997, los trenes han jugado un papel crucial en la interconectividad de el país, sus ciudades, carreteras y gente, e incluso fueron un componente vital del movimiento revolucionario de 1910, fomentando el crecimiento de la economía nacional. Sin embargo, la administración actual, a diferencia de sus homólogas de China, Europa y Japón, no ha optado por los trenes de pasajeros como modo de transporte viable.

Como se mencionó anteriormente, en México el transporte ferroviario es solo de carga, lo cual desafortunadamente, este acuerdo beneficia a las empresas extranjeras y no a los ciudadanos. Durante ese tiempo, las leyes no responsabilizaban a las empresas transnacionales por el incumplimiento de sus promesas o por sus abusos. En consecuencia, la infraestructura prometida nunca se materializó y los precios se mantuvieron altos. Además, el transporte ferroviario de pasajeros ha desaparecido. En esencia, los derechos de vía en México son propiedad de Estados Unidos.

Los beneficios potenciales de contar con una mayor cantidad de trenes de pasajeros en México son numerosos. Una mayor conectividad en todo el país conduciría inevitablemente a una economía más eficiente. Además, aliviar el tráfico tanto en las carreteras como en los aeropuertos sería bienvenido para los viajeros.

Dicho lo anterior, es por lo que en este Trabajo Terminal de Grado se proponen las bases y se muestran los beneficios de contar con un sistema único de señalización.

El principal objetivo de esta propuesta es describir un estándar unificado que permita a los trenes circular sin problemas por todo México, utilizando el sistema ERTMS como único mecanismo de señalización. Además, la propuesta considera la funcionalidad y ventajas de este sistema, fomentando así la competitividad del ferrocarril frente a otros modos de transporte.

### 3.2 Características de los tramos de vía en México

La figura 7 muestra un mapa de la distribución de las vías ferroviarias en la República Mexicana y su simbología.



Figura 7. Distribución de las vías ferroviarias en México. Fuente: Anuario Estadístico de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes 2020.



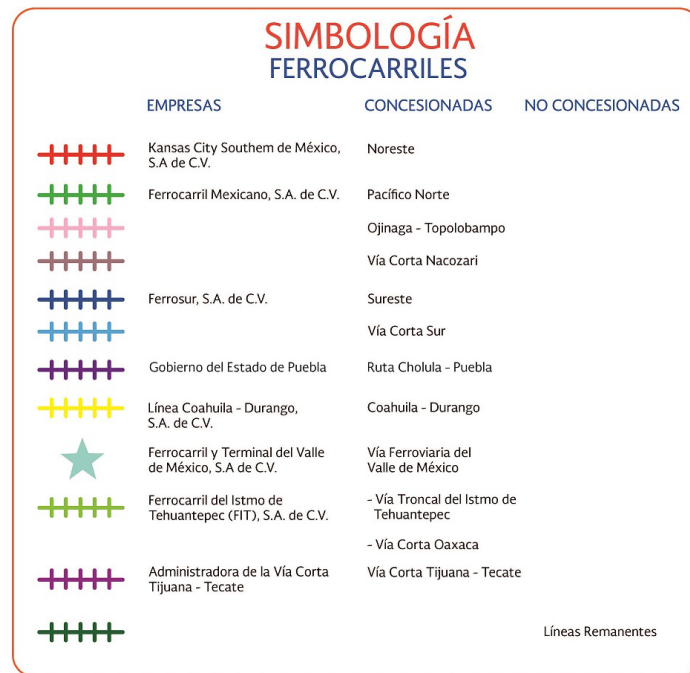


Figura 8. Simbología Anuario Estadístico del Sector Comunicaciones y Transportes 2020.

A partir de 2018, la empresa Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec (FIT) experimentó un cambio significativo en su título de asignación. Este cambio implicó la integración de la Línea Chiapas Mayab a su red existente, ampliando efectivamente sus operaciones.

Dentro del sistema ferroviario mexicano, se cuenta con 20,829.9 km de vía de los cuales 17,642.6 km son vías concesionadas, que representan el 84.7% del total de kilómetros. Dentro de este margen la empresa que más kilómetros tiene a su cargo es la empresa Ferrocarril Mexicano, S. A. de C. V. con una participación en el pacífico norte del 33%, 4.5% del tramo Ojinaga- Topolantongo y un 1.5% de vía corta en Nacozari dando un total del 39% del total de vías equivalente a 8,130.5 km., teniendo con menor participación al Gobierno de Puebla con alrededor de 700 o 70 km de vías siendo no significativo.

Se analiza los 3,183 kilómetros de vías que no están incluidos en los acuerdos de concesión. Estas vías sirven para conectar varios centros de transporte, como

terminales federales de pasajeros y carga, aeropuertos, estaciones de ferrocarril y puertos marítimos, con puertos fronterizos, parques industriales, bases militares, puestos de avanzada de la Policía Federal, instalaciones de la Cruz Roja Mexicana y centros de protección civil. Además, las vías restantes incluyen aquellas que ya no están en uso o han sido abandonadas.

### 3.3 Señalización ferroviaria en México

En este apartado se mencionan las leyes y normas referentes a la señalización que intervienen en el sistema ferroviario nacional.

Reglamento Del Servicio Ferroviario Ernesto Zedillo Ponce De León, presidente de los Estados Unidos Mexicanos, en ejercicio de la facultad que me confiere el artículo 89, fracción I, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Ley Reglamentaria Del Servicio Ferroviario, Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de mayo de 1995 TEXTO VIGENTE Última reforma publicada DOF 06-11-2020.

NOM-034-SCT2-2011 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-034-SCT2-2011 "Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas "

NORMA Oficial Mexicana NOM-050-SCT2-2017, Disposición para la señalización de cruces a nivel de caminos y calles con vías férreas.

Las leyes y normas oficiales mexicanas mencionadas anteriormente consideran las señales que intervienen en la circulación de los trenes por vías de interés general, es decir, los casos donde intervengan con la circulación de carreteras, como los cruces a nivel, la semaforización y generalidades de los sistema de control de tránsito, son todos aquellos sistemas que autorizan el movimiento de los trenes, siendo estos equipados en las locomotoras y en la infraestructura vial, para el

despacho correcto de trenes. Con el propósito de interpretar y diagnosticar la situación actual y posteriormente proponer y comparar estas señales con el sistema ERTMS, que en su mayoría llevan la señalización y la semaforización en cabina y en su modo degradado la señalización lateral visual, los cuales se analizarán y describirán más adelante.

Como primera instancia, cabe mencionar en este capítulo, que dentro de una ley podemos encontrar artículos que nos llevan a Normas oficiales de otros documentos que intervienen con la señalización y la circulación ferroviaria.

Iniciando con el reglamento del servicio ferroviario, artículo 35 (FERROVIARIO, 2022) describiendo que las señales son todas aquellas que “comprenden las placas, anuncios o cualquier tipo de instalación en el derecho de vía para indicar algo o para regular la marcha de los trenes” (Diario Oficial de la Federación, 2011), así como, en su caso, los sistemas para operarlas.

Y en su artículo 28 párrafo segundo que a la letra dice:

*... “Las Vías Férreas deberán contar con las señales y Centros de Control de Tráfico necesarios para su segura y eficiente operación” ... (Diario Oficial de la Federación, 2011)*

Entendiendo que cada compañía que tenga a cargo tramos ferroviarios será libre de instalar sus propias señales dentro de los tramos que tenga concesionados, siempre salvaguardando la seguridad del material rodante y de la circulación.

Este mismo reglamento, indica que los concesionarios deberán elaborar un reglamento interno de transporte, como los menciona en su artículo 97 índice I (FERROVIARIO, 2022) y donde dentro del primer índice de la misma ley, el artículo 99 especifica los requisitos de señalización en las normas de transporte. El reglamento debe incluir las definiciones de diversas señales utilizadas para las

operaciones ferroviarias, tales como señales manuales, sonoras, fijas, luminosas, semiautomáticas y automáticas, así como señales de precaución, y en el índice V de este mismo artículo, que deberá definir su sistema de control de trenes, mencionando este punto ya que también se analiza en secciones posteriores.

### 3.4 Señalización ferroviaria de cruces

#### 3.4.1 Cruces a nivel

Dentro de las normas que intervienen con los sistemas de alertamiento, dispositivos de seguridad, señales y semáforos a instalarse se encuentra la NORMA Oficial Mexicana NOM-050-SCT2-2017, "*Disposición para la señalización de cruces a nivel de caminos y calles con vías férreas*", con el objeto de brindar mayor seguridad a los usuarios y al mismo tiempo resguardar las vías generales de comunicación conforme a los métodos establecidos.

La norma en cuestión incluye directrices específicas para determinar la distancia mínima absoluta requerida para que no haya obstáculos en un paso a nivel. Estas pautas garantizan que la visibilidad de los trenes que pasan nunca se vea comprometida por ninguna obstrucción, como árboles o maleza, que pueda estar presente en el derecho de vía o en sus alrededores inmediatos, interpretando que, desde el punto de conducción de algún material rodante sobre la vía, este tendrá que observar el cruce a nivel desde los 75 metros en línea recta y lateralmente tendrá despejado 15 metros de visibilidad de cada lado como se puede observar en la figura 9.

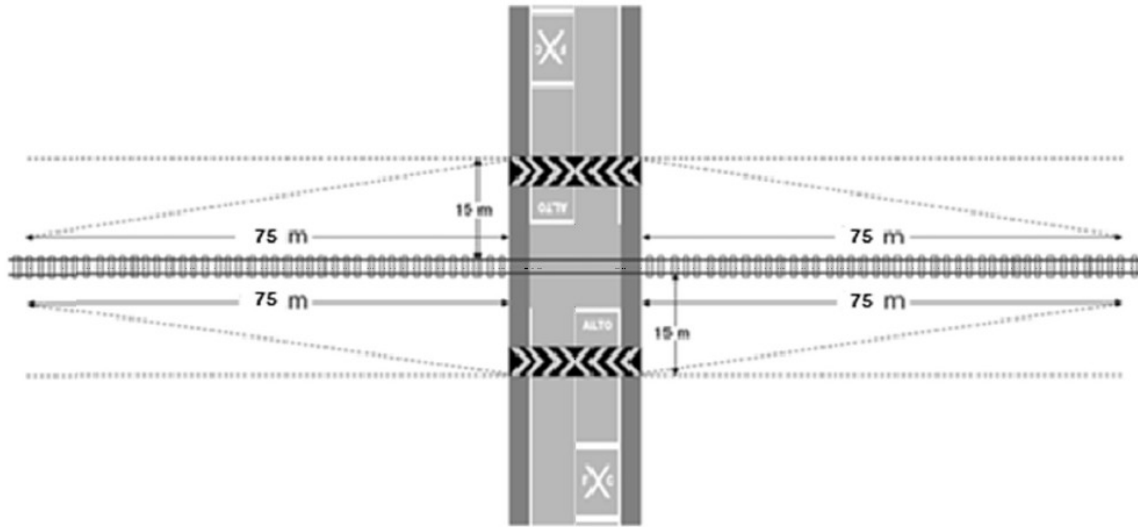


Figura 9. Distancias mínimas libres de obstáculos en cruces a nivel. Fuente tomada de la NORMA Oficial Mexicana NOM-050-SCT2-2017, “Disposición para la señalización de cruces a nivel de caminos y calles con vías férreas”, de las disposiciones numeral 5 subíndice 5.3

En cuanto a las vialidades indica que, estas tendrán que cruzar las vías férreas en ángulos rectos, ya sea en curva, en intersección o algún acceso, mencionando que este diseño geométrico aumenta la visibilidad y la seguridad de los cruces a nivel y que, en algunos casos especiales tras algunos estudios de ingeniería, podrá tener un ángulo de esviaje no mayor a los 30 grados.

Según las especificaciones indicadas en la NOM-034-SCT2-2011 para la señalización horizontal y vertical en carreteras y vías urbanas, se debe colocar un semáforo de tipo SEM-4.6 A en todos los sentidos de circulación en las intersecciones de tipo A. En cuanto a las intersecciones Tipo B, se deberá instalar un semáforo tipo SEM-4.6 en todos los sentidos de circulación. Finalmente, para las intersecciones Tipo C, los usuarios deben recibir un aviso antes de acercarse al cruce; lo que nos hace analizar sobre lo mencionado en esta norma, aspectos que se involucren con vías férreas, siendo esta mencionando; sobre las medidas de las rayas y distancias mínimas de la señal de “alto” a las que deben colocarse los semáforos antes mencionados en los cruces a nivel con carreteras. Ambos ilustrados en la figura 10.

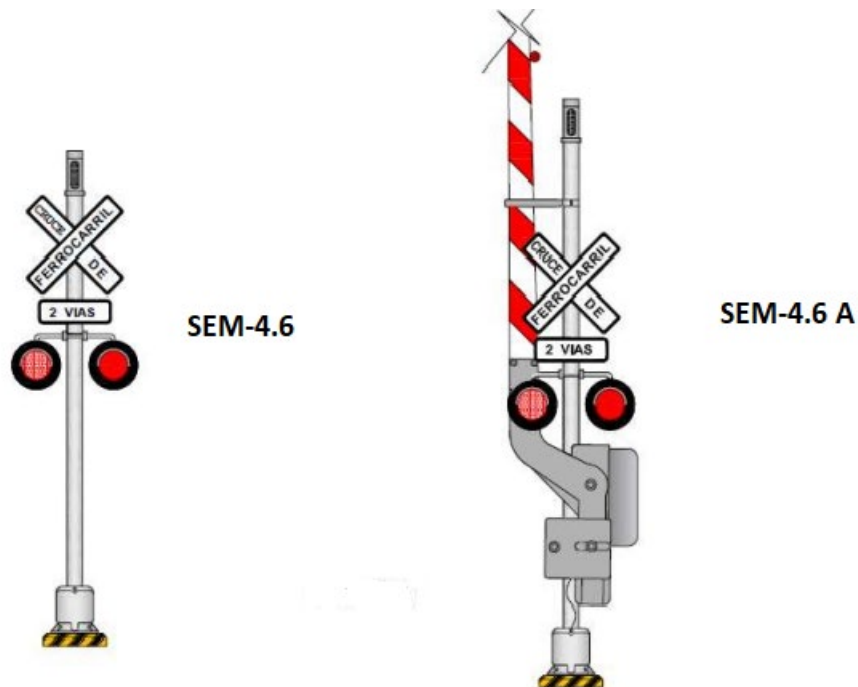


Figura 10. Semáforos y barreras para indicar la aproximación de equipo ferroviario. Fuente: tomada del inciso C 2.1 Doc. Proyecto de NOM-050-SCT2-2015 "Disposición para la señalización de cruces a nivel de caminos y calles con vías férreas."

### 3.4.2 Sobre los cruces de ferrocarril

La norma incorpora señales que brindan información sobre los cruces ferroviarios. En los casos en los que no exista señal de tráfico ni barrera, la señal recomendada es la señal informativa SIR "CRUCE FERROVIARIO", la cual debe ser colocada longitudinalmente al inicio del cruce donde deben detenerse los vehículos. Esto se aplica tanto a los cruces a nivel de calles como a los cruces elevados, comúnmente conocidos como "la línea alta", señal siempre acompañada por la indicación restrictiva SR-6 "ALTO", representada en la figura 11.

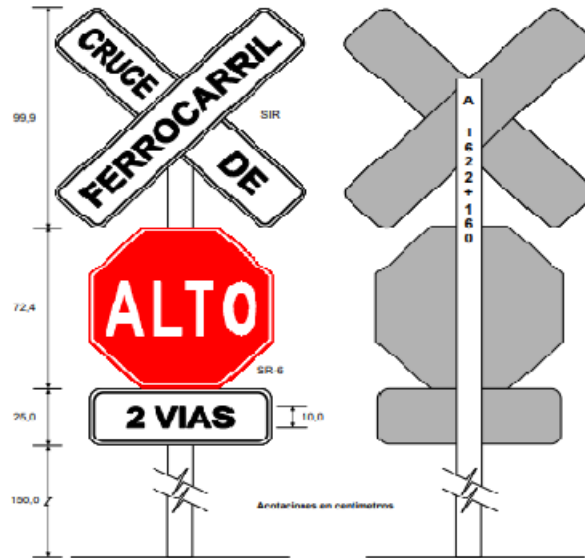


Figura 11. SIR "Cruce de ferrocarril". Fuente: Tomada de inciso B.2.2.4 de la NOM-034-SCT2-2011.

### 3.4.3 De los sistemas de control de tráfico

ARTÍCULO 32. Menciona que los centros responsables del control del tráfico tienen a su disposición las herramientas, la tecnología y los procedimientos operativos necesarios para garantizar la expedición segura y eficiente de los trenes, incluida la planificación de rutas y la gestión de ocupación de tramos. Además, emplean sistemas de información que permiten monitorear en tiempo real los envíos de carga y su paradero, todo dentro de los límites del sistema de control de tráfico ferroviario autorizado por el concesionario.

En el año de publicación de este artículo, se promulgó una ley que exigía que los centros de control de tráfico se estructuraran de manera que facilitara el intercambio rápido de información entre concesionarios. Además, estos centros deben tener la capacidad de examinar la utilización de los equipos e instalaciones ferroviarios para garantizar que se utilicen de manera eficiente. EL ARTÍCULO 33 describe estos requisitos para garantizar el funcionamiento eficaz del sistema ferroviario.

Art 34. La prestación de servicios y sistemas de telecomunicaciones puede ser

realizada por el propio concesionario o permisionario, o contratando los servicios de terceros autorizados a través de una red de telecomunicaciones. En cualquiera de los casos, es imprescindible cumplir con la normativa pertinente en la materia.

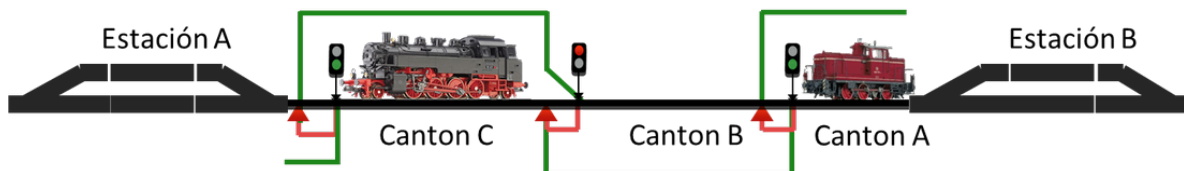
### 3.5 Sección segunda del tránsito de trenes

Para que un tren pueda circular libremente en una vía con seguridad, se deben de cumplir varios factores y procedimientos. Iniciando por los tipos de bloqueo ferroviario en función a los cantones. El acantonamiento es la técnica utilizada desde los inicios del ferrocarril hasta la actualidad para gestionar la circulación de múltiples trenes simultáneamente en una vía, asegurando una separación mínima entre ellos para permitir un frenado adecuado y prevenir choques o colisiones.

El propósito del acantonamiento o sistema de bloqueo es utilizar la infraestructura vial para mejorar la circulación de forma segura y dinámica. (Cuanto más cantones, más fluida y dinámica será la circulación). La distancia entre un cantón suele estar determinada por las necesidades operativas, pudiendo ser desde unos pocos metros hasta varios kilómetros.

El principio fundamental de este modo de transporte consiste en crear obstáculos a lo largo del camino de una estación a otra, con cada obstáculo separado por señales ferroviarias que permiten o prohíben el viaje dependiendo de si el obstáculo siguiente está vacío u ocupado. La representación visual de este proceso se puede observar en la Figura 12.

Figura 12. Cantones de Bloqueo.



Fuente: Tomada de (Tres Carriles, 2022).

Como se puede apreciar en la figura 12, al expedir un tren de la estación B a la



estación A, el tramo de vía se dividirá en tres cantones. Esto permitirá que dos o más trenes (según el número de cantones) puedan circular de forma consecutiva, siendo regulados por señales que protegen cada cantón para evitar posibles colisiones entre trenes. Si no se implementa el acantonamiento, solo un tren, en condiciones normales, podría desplazarse de una estación a otra con seguridad.

Después de esta breve descripción de los distintos tipos de bloques que se basan en cada cantón específico, podemos examinar las regulaciones para el servicio ferroviario. El Artículo 95 de este reglamento exige que para que un tren pueda ser despachado o expedido, los operadores deben tener disponible uno de los siguientes sistemas de control del tráfico ferroviario en todo su territorio ocupado.

- I. El sistema ferroviario estándar se basa en órdenes escritas para autorizar el movimiento de los trenes. Este sistema permite priorizar los trenes con mayor superioridad.

Este sistema estándar, conocido como bloqueo, es quizá el más sencillo tecnológicamente hablando. Solo permite expedir o despachar un tren de una estación a otra. Un agente de seguridad o el encargado de la estación solicitará permiso de circulación a la estación siguiente a través de órdenes escritas llamadas telégrafos. Se indica que hasta que el tren llegue a la estación de destino completo y sin anomalías, no se podrá expedir otro.

Las limitaciones de este sistema son evidentes en su incapacidad para dar cabida a importantes cargas ferroviarias, incluso en rutas que abarcan más de 50 km. Si bien el tema está abierto al debate, es importante reconocer la posibilidad de que se produzcan errores humanos, especialmente cuando las rutinas se arraigan, se emplean prácticas peligrosas o cuando surgen distracciones. Por ejemplo, un agente de tráfico puede liberar un tren sin la autorización adecuada de la estación de destino, lo que provoca colisiones u otros accidentes.

- II. Sistemas por tramos específicos, aquel en el que la circulación de trenes es autorizada a través de órdenes verbales mediante el sistema de radiocomunicación, tales como los sistemas de control directo de tráfico "CDT"; de control de mandato de vía "CMV"; de autorización de tramo de vía "ATV" y de autorización de uso de vía "AUV" (DOF, 2016).

Durante los años setenta, Ferrocarriles Nacionales de México implantó en casi toda la línea ferroviaria del país un sistema de despacho de trenes CDT (Control Directo de Tráfico), que eliminó al antiguo, que se basaba en órdenes enviadas por telégrafo, que databa de los años 1899 y 1901. (Curiel, 2000).

El CDT como lo menciona en el punto II, es un sistema de bloqueo el cual permite despachar un tren mediante una orden verbal o un sistema de radio comunicación, lo cual puede ser un teléfono o algún sistema de radiocomunicación donde los encargados de circulación se tendrían que ponerse de acuerdo mediante el uso de esta tecnología, a través de procedimientos como el que autorice el tramo de vía, o la autorización de uso de vías u ocupación de una vía mediante un teléfono.

Cuando se trata de bloqueo eléctrico manual, existen dos tipos de cabezales de circulación colateral que se pueden utilizar. Estos cabezales están equipados con un sistema eléctrico y un panel de control en cada estación, lo que permite un bloqueo efectivo.

En el contexto de las operaciones ferroviarias, los medios convencionales para solicitar y conceder acceso a la vía implican la comunicación verbal. Sin embargo, este método ha sido reemplazado por una llamada eléctrica y una luz piloto que se ilumina. La respuesta a esta llamada incluye la provisión de una señal verde de salida de la estación a la que se ha solicitado el acceso a la vía, indicando que se ha concedido el acceso a la vía.

- III. El sistema de seguimiento de la entrada de trenes funciona de la siguiente

manera: cuando una estación quiera reservar vía y no haya trenes ocupando el tramo de vía, activará eléctricamente la señal de salida de la vía adyacente. Esta acción garantiza que no se enviarán más trenes y, a la hora de salida programada, la estación pondrá su señal de salida en verde y liberará el tren con la orden designada. Esta técnica se implementó inicialmente en el año 1964.

Al igual que el bloqueo del sistema estándar tiene muchas carencias y siempre en función del factor humano, el cual siempre estará en duda y es un tema tan delicado como lo es la seguridad del ferrocarril.

Por último, el cuarto sistema.

- IV. En este sistema se utilizan métodos electromecánicos, electrónicos o computarizados en sistemas de control de trenes basados en señales que gobiernan el movimiento del tren de forma remota desde un centro de despacho. Varios sistemas entran en esta categoría, incluido el control de tránsito centralizado (CTC), el control de tráfico centralizado (CCT) y el tráfico ferroviario centralizado (SCTT).

El párrafo anterior no menciona a los sistemas ATP, sin embargo los conceptos que expone conforman elementos que integran un ATP como lo es el ERTMS, parte medular de la propuesta para la estandarización de un ATP.

Y dando seguimiento a este mismo artículo (95) se menciona que el concesionario podrá implementar otro sistema de control de tránsito o sistema de señalización y que tendrá que elaborar el manual correspondiente, sometiéndolo a la aprobación de la Agencia Reguladora del Transporte, una vez aprobado éste deberá formar parte de su reglamento interno de transporte como ya se menciona el artículo 99 (FERROVIARIO, 2022).

### 3.6 Ventajas del sistema actual

Después de haber realizado el análisis de las leyes versus los sistemas de control y señalización que la ley impone, se mencionan algunas de las ventajas del sistema actual:

- Al no existir una ley que exija más allá de un sistema moderno, el costo de la operación en los sistemas estándar y el sistema por tramos específicos es relativamente bajo debido al poco uso de nueva tecnología y cableado como lo es el cableado por fibra óptica.
- El limitado uso de nueva tecnología conlleva a bajo costo en el mantenimiento y operación de los sistemas.
- La inversión necesaria para hacer uso de servicios de comunicación como el GSMR (Sistema Global de Comunicaciones Móviles), internet, es relativamente nula debido a la infraestructura que actualmente se encuentra instalada.
- El requerimiento de recursos financieros destinados a la capacitación de personal dedicado a actividades de manejo y control por parte de las empresas concesionadas es reducido, debido a que no es necesario.

## Capítulo 4. Propuesta del ERTMS como un ATP estándar de señalización y control ferroviario

Este capítulo describe el sistema ERTMS como sistema para estandarizar el ATP en México. Se muestran los tres niveles de ERTMS, desde el nivel 1 que depende de la señalización lateral hasta el nivel 3 que emplea cantones móviles y comunicación ininterrumpida de radio. Las ventajas del ERTMS, como una mayor seguridad, el incremento en la capacidad de tráfico y los menores costos de mantenimiento a largo plazo. Se argumenta que la implementación de ERTMS no solo mejorará la infraestructura ferroviaria mexicana, sino también convertirá a México en un líder en ferrocarriles en América Latina reduciendo barreras comerciales y movilidad interna.

### 4.1 Introducción al ERTMS

El ERTMS tiene varios objetivos principales: i. asegurar la seguridad en el tráfico ferroviario, ii. mejorar la interoperabilidad entre los diferentes ferrocarriles nacionales y facilitar el transporte entre los concesionarios y sus tramos concesionados, iii. reducir los costos de operación y mantenimiento de los sistemas de señalización, y iv. aumentar la capacidad de los trenes. Todos estos factores contribuyen a la infraestructura y confiabilidad del sistema de transporte ferroviario (Tribunal de cuentas europeo, 2017).

Entendemos por ERTMS al sistema de gestión de tráfico ferroviario que puede expedir o despachar trenes de manera más eficiente y seguro, a través de sus componentes y tecnologías adaptadas a la infraestructura y a las locomotoras.

Existen 3 tipos de niveles de ERTMS; en este apartado se describe el funcionamiento de sus componentes y la forma de operar. Cabe señalar que cada nivel ascendente es la evolución de su sucesor, por ello es importante caracterizar el funcionamiento de cada nivel.

De acuerdo con (Alonso Andino, 1998) la definición del ERTMS nivel 1 es la siguiente:

“ERTMS nivel I: está dado en cantones fijos que se complementan con señales en la vía (señalización lateral) como son las (señales fijas, señales de entrada, de salida etc.), este sistema de Protección Automática del Tren utiliza transmisión vía-tren discontinua o semicontinua, con un control de la velocidad del tren continuo.”

Esto significa que el conductor o maquinista de tren, debe atender las señales que se encuentran en el camino y respetar las velocidades que le va indicando en el DMI, de no hacerlo el tren detendrá frenará automáticamente.

Para el mejor entendimiento del funcionamiento de este nivel es necesario describir algunos principios generales de circulación ferroviario.

Para que un tren pueda circular en condiciones seguras, se necesitan de tres principales componentes que estén operando en condiciones óptimas:

- 1.- Un sistema ATP (descrito en el Capítulo 2 del documento)
- 2.- Un sistema de vigilancia como lo es el hombre muerto
- 3.- Radio comunicación

Los enclavamientos, aunque son ajenos al sistema ERTMS son sistemas que permiten establecer itinerarios seguros para la circulación de los trenes ya que es el encargado de controlar la circulación la señalización y los desvíos (Structuralia, 2021); (RCF, 2015).

Un itinerario es la ruta que seguirá un tren, incluidos los preparativos para la salida, las maniobras, el paso o la parada en las estaciones y la garantía de que los

interruptores necesarios estén en sus posiciones adecuadas. Para mantener informado al personal de conducción sobre el progreso del tren, se crea un documento que describe los horarios, las paradas, la velocidad y las restricciones de velocidad (RCF, 2015).

Las agujas ferroviarias son componentes integrales de la vía férrea que permiten a los trenes cambiar de dirección. Son móviles y normalmente funcionan moviéndose entre dos posiciones: izquierda o derecha. Estos puntos se pueden controlar de forma manual o remota y su función principal es dirigir los trenes a lo largo de una ruta específica, creando así un desvío (Más que Ingeniería, 2020).

Dispositivo hombre muerto, es sabido que en algunos otros medios de transporte como en el caso del avión en todos los vuelos de pasajeros y comerciales se requiere de un piloto y un copiloto, en el caso de los trenes la mayoría de las veces el maquinista va solo en sus recorridos, es por eso que en el ámbito ferroviario se instaló dicho dispositivo que consiste en supervisar al maquinista mediante un pedal que se encuentra por debajo del panel de control, que por regla el maquinista tiene que presionarlo cada 30 segundos, de esta manera el dispositivo detectara que el maquinista se encuentra vivo y puede seguir con la marcha del tren. En caso de no hacer esta tarea se activará el freno de emergencia frenando en la totalidad el material rodante salvaguardando la integridad de los pasajeros, de la carga y del propio maquinista.

#### 4.2 Funcionamiento y componentes del sistema ERTMS nivel 1

El sistema de Nivel 1 depende en gran medida de los enclavamientos para funcionar correctamente. Estos enclavamientos proporcionan información esencial sobre la posición de la aguja, el estado de la señal y la ruta a los dispositivos LEU (unidades electrónicas estandarizadas). Luego, los dispositivos LEU codifican esta información y la envían a las balizas situadas a lo largo de la carretera. En última instancia, los enclavamientos sirven como columna vertebral de las operaciones del

sistema de Nivel 1 (Pedro de la Rubia Moreno, 2012). La figura 13 muestra un dispositivo LEU.



Figura 13. LEU (Unidades electrónicas normalizadas). Fuente: tomada de (Mermec, s.f.).

Las balizas o eurobalizas; son unas pequeñas cajas generalmente de color amarillo, situadas en medio de los carriles de la vía (figura 14), y su función principal es proporcionar al tren información, como el perfil de vía y la señalización, esto pasa cuando un tren se aproxima o se sitúa de bajo de la baliza, los datos de la eurobaliza se van actualizando gracias a los dispositivos LEU (ADIF, Dirección de la seguridad en la circulación, 2008).



Figura 14. Eurobaliza. Fuente: tomada de (Mundo Ferroviario, 2022).

Cuando un tren cruza sobre la baliza, esta información es enviada a través de un lector que la transmite a una computadora a bordo de la locomotora, conocida como



EVC (European Vital Computer), la cual es un conjunto de procesadores vitales que recibe tanto la información del entorno (balizas) como la interna del tren (sensores) (GEOTREN, 2022). La figura 15 muestra físicamente un EVC.



Figura 15. EVC (European Vital Computer). Fuente: fotografía tomada de (Mermec, s.f.).

Una vez procesada dicha información se da la orden de AO (autorización de movimiento) que significa que el tren puede moverse con seguridad hasta el siguiente punto de la vía, indicando al maquinista toda esta información relevante representada en el DMI (Drive Machine Interface) que simplemente una pantalla situada al frente del panel de control (Comission, 2009), la figura 16 muestra un ejemplo.



Figura 16. DMI (Drive Machine Interface). Fuente: elaboración propia fotografía tomada en Madrid, España (2017).

Aquí se indicarán al maquinista las velocidades máximas por la que se puede circular en dicho tramo de vía y su punto de frenado. Si llegando al punto de frenado este no recibiera una nueva AO el tren debe de reducir la velocidad haciendo una curva de frenado hasta llegar a la velocidad de cero y parar en el punto de parada y esperar una nueva AO.

En caso de que el maquinista no atendiera las indicaciones que se le ordenan en el DMI como rebasar el límite de velocidad en dicho tramo o rebasar la baliza sin un AO el sistema procedería a tirar automáticamente del freno de emergencia frenando el tren en la medida que pueda frenar lo más pronto posible.

En el nivel uno toda la información que se le valla indicando al tren está pensando antes o preprogramado, ya que los componentes principales están configurados para ejecutar una supervisión continua y las comunicaciones son puntuales y unidireccionales por lo que las señales verticales son necesarias.

#### 4.3 ERTMS nivel 2

Como definición del ERTMS nivel 2:

*...” Nos menciona que los cantones para este ATP son fijos y es necesaria una pantalla o bien como ya mencionada en este documento como DMI en cabina, en este sistema las señales laterales son opcionales. Este sistema de protección Automática del Tren emplea un sistema de comunicación radio bidireccional continuo y una transmisión discontinua, que permite una velocidad continua controlada a bordo del tren. En este sistema es preciso equipar la vía los Centros de Bloqueo de Radio (RBC), que a su vez se intercomunican entre sí y que establecerán las comunicaciones con los trenes” ... Alonso Andino (1998)*

Con base en la definición anterior, en el nivel 2 se siguen usando las balizas y las señales son opcionales, por lo general cuando se instala o se pone en marcha el

sistema nivel 2, en muchas ocasiones ya se cuenta con la señalización lateral (semáforos, y señalización en general), y solamente para confirmar la ubicación de los trenes. Puesto que la comunicación con el tren se da por medio de una antena de transmisión de radio inalámbrica llamado GSM-R (Global System for Mobile-Railway). La figura 17 muestra un Sistema de Comunicación Digital Específico para Ferrocarril, que provee a los trenes de radiotelefonía y línea de datos (RCF, 2015).



Figura 17. Antena GSM-R (Global System for Mobile-Railway). Fuente: Fotografía tomada de Fasmetrics (2018).

Las antenas a su vez están trabajando conjuntamente con el RBC (radio block centre) que son una serie de ordenadores y dispositivos recibiendo información sobre la posición del tren, identificando así el área en la que cada tren puede circular con todas las garantías de seguridad (figura 18) y así enviar una nueva AO (Autorización de movimiento). Estos dispositivos y ordenadores se encuentran dentro de unas oficinas que actúa como una unidad de seguridad centralizada de trabajo posicionada estratégicamente en algún lugar fuera de la vía (Comisión Europea, 2022; Indra, 2022; Torres, 2013).

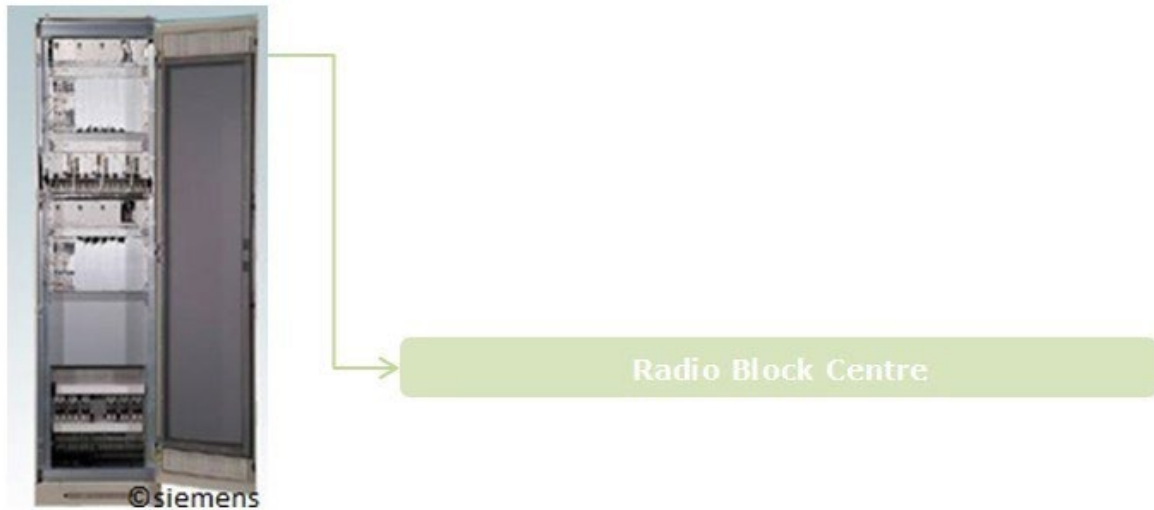


Figura 18. RBC (Radio block Centre). Fuente tomada de (Comisión Europea, 2022).

Ahora comprendemos que en este nivel la comunicación es constante y de doble vía, por lo que no se requieren señales laterales ni indicaciones.

#### 4.4 ERTMS nivel 3

Como definición del ERTMS nivel 3:

Este sistema implementa cantones móviles (virtuales) y mantiene un control continuo de la velocidad a bordo del tren. En este sistema la ubicación del tren se lleva a cabo por el mismo tren. Similar que en el nivel 2, se utilizan Centros de Bloqueo de Radio. Además, que este sistema automático de control de trenes mantiene una comunicación vía radio bidireccional continuo y una de transmisión discontinua (Alonso Andino, 1998)

Con el nivel 3, los trenes podrán emitir propiamente su ubicación exacta, lo que permitirá crear virtualmente cantones móviles y mejorar la suficiencia de las líneas, permitiendo reducir las instalaciones fijas y por lo tanto los costos de mantenimiento e inversión serán menores.

Este nivel aún sigue en pruebas y por lo tanto no se cuenta con ninguna información donde se indique su despliegue en ningún país de la Unión Europea.

#### 4.5 Ventajas de un sistema ERTMS

La implantación del ERTMS (Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario) no sólo consigue el objetivo principal de mejorar la interoperabilidad sustituyendo los sistemas nacionales, sino que también garantiza la seguridad, la puntualidad y la fiabilidad. Estas mejoras conducen a beneficios económicos, sociales y ambientales. Además, ERTMS facilita la transición de modelos analógicos a digitales, lo que lo convierte en un sistema versátil y valioso para los ferrocarriles (Tribunal De Cuentas Europeo, 2017, 13).

- **Mayor seguridad**

El ERTMS se encuentra entre los grupos ATP de más alto nivel de seguridad, debido a su monitoreo constante en las velocidades de los trenes.

- **Mayor capacidad**

Al utilizar ERTMS, los trenes pueden estar más espaciados o tener tiempos mínimos de viaje más cortos, lo que aumenta la capacidad de los trenes. El grado de esta ventaja depende de una variedad de factores, incluidos los atributos de la vía y los sistemas preexistentes para proteger los trenes antes de la introducción del ERTMS.

- **Mayor rendimiento**

Las especificaciones de los componentes y subsistemas del ERTMS son bastante exigentes. Sin embargo, los componentes superan estos rigurosos estándares, lo que en última instancia resulta en menos fallas y un mayor nivel de puntualidad.

- **Creación de un mercado uniforme para el transporte ferroviario**

El transporte ferroviario en Europa se enfrenta a un desafío debido a la presencia de sistemas Nacionales o "Clase B", que lo están retrasando respecto al transporte por carretera en términos de competitividad. Sin embargo, una vez que el ERTMS esté plenamente implantado, contribuirá al progreso de los servicios ferroviarios

transfronterizos y nacionales, siempre que otros países también lo incorporen a sus sistemas ferroviarios. Esto es especialmente relevante para países vecinos como Estados Unidos, Canadá y países latinoamericanos.

- **Reducción potencial de los costos de mantenimiento**

La disminución de costos puede atribuirse a la reducción del número de componentes necesarios sobre el terreno. Esto es especialmente cierto para el nivel ERTMS 2, ya que la necesidad de señales luminosas es opcional. Además, el ERTMS nivel 3 puede operar prescindiendo de la mayoría de los sistemas de detección de trenes en tierra, lo que lo hace aún más rentable. Es importante señalar que este sistema aún no se ha implementado en muchas áreas, lo que resulta en que cada vez menos líneas lo utilicen.

- **Recursos Humanos**

Muchas corporaciones ferroviarias se enfrentan al problema del envejecimiento de la fuerza laboral y, al mismo tiempo, enfrentan la dificultad de encontrar reemplazos adecuados. Para abordar este problema, la adopción del ERTMS, que implica la digitalización de los enclavamientos y la automatización de la operación de trenes (ATO), puede resultar una solución viable.

- **Digitalización**

La digitalización del sistema ferroviario es posible gracias al ERTMS, concretamente al subsistema de transmisión por radio del próximo Future Railway Mobile Communication System (FRMCS). Esta tecnología es un facilitador importante, ya que permite el despliegue de ATO y otros avances.

- **Otros beneficios**

La implementación del ERTMS tiene el potencial de mejorar la competitividad del sector ferroviario mediante la implementación de un mercado de suministro abierto.

Además, la utilización de un sistema estandarizado que haya sido verificado también puede reducir los costos asociados con la producción. (Europea, 2022).

#### 4.6 Desventajas del sistema ERTMS

- **Costos**

Por ser un sistema de alta tecnología requiere alta inversión en el despliegue, como la adquisición de todos los componentes que se requieren para su operación

También influye en el presupuesto de las compañías la capacitación del personal en materia de técnicos, operadores, maquinistas y demás personal necesario para su despliegue.

Además, los costos también recaen en el desmantelamiento de los sistemas pasados y en caso de que se pueda hacer una migración al sistema ERTMS esto también implicaría un costo adicional sin mencionar los costos medioambientales derivados del período de construcción.

- **Desacuerdos**

Podría causar desacuerdos entre las empresas que actualmente operan y aunque este sistema pretenda estandarizar un solo sistema de control, protección y señalización siempre el factor humano es discrepante en la toma de decisiones y resolución de problemas.

En el supuesto que en algún punto el gobierno federal de la República Mexicana decidiera desatinar algún presupuesto para el despliegue del ERTMS y las compañías o los nuevos concesionarios no ocuparan correctamente el presupuesto traería una nueva problemática.

#### 4.7 Beneficio social

Los países que han decidido invertir en la adquisición del sistema ERTMS y desde una perspectiva costo beneficio, han contribuido en el beneficio social en el ahorro de tiempo, reducción de accidentes y la liberación de capacidad de la infraestructura alternativa como lo son las carreteras y viajes aéreos, es decir, reducción de la congestión.

Es importante desde un punto de vista social, el compromiso de las autoridades y de las empresas involucradas en el despliegue del ERTMS por realizar una consulta social que permita conocer las necesidades y afectaciones de sus propiedades de la población alrededor de la infraestructura, así como de los beneficios que la población obtendrá con la modernización.

#### 4.8 Sostenibilidad

Aunque el ERTMS por si solos no muestra un impacto en concreto de un impacto ambiental positivo, si se puede ver reflejado en el uso del tren con respecto a otros medios de transporte como lo muestra el informe anual sobre transporte y medio ambiente del 2020 la agencia “European Environment Agency” (EEA) que revela que, en el 2018, el sector del transporte estuvo a cargo de la emisión de una cuarta parte de los gases de efecto invernadero en la Unión Europea. La mayoría de estas emisiones, el 72%, se debieron al transporte por carretera. Mientras tanto, el transporte marítimo y aéreo contribuyeron con el 14% y el 13% de las emisiones, respectivamente. Los trenes diésel fueron responsables de sólo el 0,4% de las emisiones.

Al considerar el impacto del transporte en el medio ambiente, es importante tener en cuenta no sólo las emisiones directas que contribuyen al calentamiento global y la contaminación del aire, sino también las emisiones producidas durante la producción, transmisión y distribución de la energía utilizada por los trenes y aeronave. Además, el transporte también puede generar emisiones de



contaminantes del aire a través de fuentes distintas a los tubos de escape. Estas fuentes incluyen el desgaste de frenos, ruedas, neumáticos y vías de ferrocarril.

En el sector europeo del transporte de pasajeros, tanto el transporte ferroviario como el aéreo desempeñan un papel crucial, y el informe profundiza en sus respectivos impactos. El análisis ha llevado a la conclusión de que el transporte ferroviario es el modo de transporte más práctico y eficiente, a menos que se viaje a pie o en bicicleta. El informe destaca los efectos significativos de las emisiones de la aviación en términos de distancia recorrida por los pasajeros. Sin embargo, el informe también señala que volar puede no ser la opción más perjudicial si no se utiliza un coche de gasolina o diésel, especialmente si solo viaja una persona (European Environment Agency, 2021)

En cuanto a sostenibilidad, el Parlamento Europeo considera que el ERTMS es un elemento clave para alcanzar los objetivos climáticos de la Unión en el próximo período de programación. De acuerdo con la metodología de seguimiento climático de la Unión, el ERTMS representa el 40 % de la contribución a los objetivos medioambientales y climáticos. También es crucial destacar que el Parlamento aboga por asignar fondos a políticas específicas, como el 30 % de la financiación para la política de cohesión e InvestEU, así como el 37 % del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia y el 60 % del mecanismo "Conectar Europa", que deberían dirigirse a iniciativas que aborden la urgente preocupación del cambio climático.

Se destaca que el ferrocarril es actualmente el medio de transporte masivo más sostenible y energéticamente eficiente, tanto para pasajeros como para mercancías. Sin embargo, se observa que aún no se está aprovechando todo su potencial, a pesar de los avances positivos que se están logrando en la industria, como el crecimiento constante de los volúmenes de pasajeros y carga ferroviaria. (PARLAMENTO EUROPEO, 2021).

## CONCLUSIONES

Después del desarrollo de este Trabajo Terminal de Grado se concluye que, el despliegue en México del ERTMS como un ATP, para el sector ferroviario se verá beneficiado en varios aspectos, uno de los más importantes a considerar es el tema de seguridad, ya que muestra tecnologías y sistemas más avanzados, que están pensados en la prevención de accidentes y errores humanos, que lamentablemente siempre han estado presentes en el ferrocarril a lo largo de la historia de los trenes. Estos nuevos sistemas tuvieron la fortuna de ser probados en laboratorios antes de su implementación, infiriendo que en el pasado se recurría más a la práctica antes de someterlos a estudios de laboratorio de pruebas.

A través del análisis de la situación actual en México en temas de señalización y control de trenes, se logra dar a conocer, que las leyes y normas mexicanas no exigen a los concesionarios la evolución de sus sistemas de control de tráfico, por lo tanto, no se les ha dado el impulso necesario en las últimas décadas. Y que no se le ha dado el seguimiento correcto,

Con la implantación del ERTMS se establecerá un espacio ferroviario unificado, esto es crucial para preparar la industria ferroviaria para la era digital y, al mismo tiempo, aumentar la rentabilidad del transporte ferroviario. La densidad de operación en una sola línea aumentará y disminuirá la necesidad de equipos en las vías para localizar los trenes como circuitos de vía, contadores de ejes y eurobalizas. Estos requisitos son necesarios para que el ferrocarril sea competitivo frente a otros modos de transporte.

La estrategia de movilidad sostenible es elogiada por reconocer el papel vital del ERTMS en el establecimiento de un sistema de transporte inteligente y eficaz que se alinee con los objetivos climáticos. Esto incluye garantizar una capacidad adecuada, una gestión del tráfico y una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero tanto para el transporte de pasajeros como de carga, lo que en

última instancia consolidará a los trenes como un modo competitivo de transporte masivo y de mercancías.

Debido que actualmente en México solo existe un sistema desplegado del ERTMS nivel 1 operando en la línea del tren suburbano del valle de México, a nivel internacional se toma como evidencia bases de datos y resultados estadísticos europeos para demostrar que la operatividad de los sistemas ferroviarios aumenta considerablemente al ser implementado adecuadamente. Lo cual queda verificada mediante datos referentes a la capacidad del tráfico ferroviario, que después de haber desplegado este sistema en la Unión Europea ha traído grandes beneficios de interoperabilidad a su comunidad (todos los países miembros de la Unión), como lo afirma en la resolución el parlamento europeo en su informe de “seguridad y señalización ferroviaria: evaluación de la situación actual de implantación del ERTMS” después de haber desplegado el ERTMS en Europa aumento la capacidad ferroviaria hasta un 30 %. (PARLAMENTO EUROPEO, 2021).

Apuntando que el beneficio será correspondido en la implementación en México en sus vías ferroviarias.

## Recomendaciones

Se estima necesario una reforma a la legislación del sector ferroviario para impulsar a los concesionarios que operan actualmente en el sistema ferroviario mexicano; a la evolución de sistemas de digitalización, señalización, control y gestión del tráfico ferroviario, que ponga al ERTMS como modelo primordial y así como también para que el ERTMS forme parte de una cláusula clave, en las nuevas licitaciones de operación y concesión en materia de transporte por ferrocarril. Siendo fundamental que opere directamente esta normativa en el sistema ferroviario mexicano.

Para superar las barreras técnicas que impiden el progreso en la industria ferroviaria, la recomendación es realizar investigaciones y estudios destinados a promover la interoperabilidad y facilitar la transición hacia un mercado más ágil y

eficiente. Al hacerlo, el sistema ferroviario mexicano será más sustentable, digitalmente avanzado, competitivo, confiable y atractivo para los usuarios.

Para facilitar la colaboración eficiente y la utilización óptima de los recursos, es imperativo establecer nuevas instituciones o reforzar las existentes que puedan gestionar eficazmente la evolución del sistema, la implementación de nuevos avances tecnológicos, la ejecución de planes de migración y el despliegue del ERTMS.

### Trabajos Futuros

Proponer este documento a la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte como iniciativa para mejorar la circulación del transporte ferroviario en México y facilitar la toma de decisiones en futuros proyectos, a través de las políticas públicas que se promuevan para la modernización de los sistemas de señalización y conducción ferroviario.

Con estas bases podrían desarrollarse trabajos de investigación sobre la señalización, control y gestión del tráfico ferroviario, dispositivos de seguridad etc., del ERTMS en el TIMT (Tren interurbano México-Toluca). Ya que estará desplegado cuando se inicie operaciones.

Este trabajo contribuye con la literatura, ofreciendo a los interesados en temas de seguridad y control en transporte ferroviario, para dar un mejor entendimiento de los sistemas mencionados, considerando el supuesto de un despliegue el ERTMS en cualquiera de sus niveles en la República Mexicana.

## REFERENCIAS

- ADIF. (26 de Abril de 1999). *Suministro de sistemas de contadores*. Obtenido de [http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/25DC16A9CC80D7F1C1257F4C00511D43/\\$FILE/ET%2003.365.310.6.pdf?OpenElement#:~:text=El%20sistema%20contador%20electr%C3%B3nico%20de,por%20la%20Explotaci%C3%B3n%20de%20RENFE](http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/25DC16A9CC80D7F1C1257F4C00511D43/$FILE/ET%2003.365.310.6.pdf?OpenElement#:~:text=El%20sistema%20contador%20electr%C3%B3nico%20de,por%20la%20Explotaci%C3%B3n%20de%20RENFE).
- ADIF. (Marzo de 2008). *Drección de la seguridad en la circulación*. Obtenido de Seguridad Ferroviaria: [https://www.seguridadferroviaria.es/recursos\\_aesf/4CAB0E7F-4C5F-404A-A2DC-3E033FDD2BC9/144051/033ETASFAdigital2008.pdf](https://www.seguridadferroviaria.es/recursos_aesf/4CAB0E7F-4C5F-404A-A2DC-3E033FDD2BC9/144051/033ETASFAdigital2008.pdf)
- Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario. (26 de Agosto de 2020). *Anuario Estadístico Ferroviario 2019*. Obtenido de Secretaaria de Comunicaciones y Transporte: <https://www.gob.mx/artf/documentos/anuario-estadistico-ferroviario-2019>
- Alonso Andino, C. R. (1998). *Sistema ERTMS*. Obtenido de Ovuc: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/10655>
- Antonio Puyol Gomez. (02 de 2022). *SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD EN LA CIRCULACIÓN*. Obtenido de <https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/10656/CC%2041%20art%2042.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Brown, B. (02 de Julio de 2015). *Instituto Nacional de Antropología e Historia, Chihuahua*. Obtenido de <http://www.inahchihuahua.gob.mx/articulos.pl?id=68>
- CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. (2011, 15 de Diciembre). *REGLAMENTO DEL SERVICIO FERROVIARIO*. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/html/wo88705.html>
- CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. (2020, 06 de Noviembre). *LEY REGLAMENTARIA DEL SERVICIO FERROVIARIO*. Diario Oficial de la Federeacion Mexicana. Obtenido de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lrsf.htm>
- Comisión Europea. (05 de 04 de 2022). *Comisión Europea*. Obtenido de Movilidad y Transporte : [https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms/how-does-it-work/subsystems-and-constituents-ertms\\_es?etrans=es](https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms/how-does-it-work/subsystems-and-constituents-ertms_es?etrans=es)
- Comission, E. (10 de Diciembre de 2009). *Safe Driver Machine Interface (DMI) for ERTMS automatic train control*. Obtenido de <https://cordis.europa.eu/project/id/31413>
- Curiel, R. (01 de Septiembre de 2000). *Velex*. Obtenido de <https://app.vlex.com/#WW/vid/79231525>
- Digital, C. (27 de Enero de 2020). *ADMAIOREM*. Obtenido de <https://www.admaiorem.com/concentrador-de-contadores-de-ejes-ferroviarios/>
- Dra. Aránzazu de Caballero, D. R. (26 de 09 de 2020). *Sistemas de Señalización para el Control Automático de Sistemas Ferroviarios*. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/545/html>
- EcuRed contributors. (Noviembre de 2019). *Sistema de control de trenes*. Recuperado el 27 de 10 de 2020, de [https://www.ecured.cu/index.php?title=Sistema\\_de\\_control\\_de\\_trenes&oldid=3575129](https://www.ecured.cu/index.php?title=Sistema_de_control_de_trenes&oldid=3575129)
- Europea, C. (2022). *Mobility and Transport*. Obtenido de [https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms/what-are-benefits\\_es](https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms/what-are-benefits_es)
- European Environment Agency. (25 de Febrero de 2021). *Transport and environment report 2021*. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2020>
- Fasmetrics. (2018). *Fasmetrics*. Obtenido de <https://fasmetrics.com/index.php/en/services/gsm-r-ertms>
- FERROVIARIO, R. D. (05 de 11 de 2022). *Gobierno de México* . Obtenido de



- <https://magnet.xataka.com/en-diez-minutos/china-posee-alta-velocidad-larga-mundo-asi-se-ha-hiperconectado-15-anos>
- Secretaria de Turismo. (Marzo de 2020). *Beneficios al Turismo del Sureste*. Obtenido de [https://www.trenmaya.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/TM\\_Diptico\\_EmpresariosHoteleros\\_v4Digital\\_Baja.pdf](https://www.trenmaya.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/TM_Diptico_EmpresariosHoteleros_v4Digital_Baja.pdf)
- Sin Embargo . (2 de Diciembre de 2021). *Sin embargo* . Obtenido de <https://www.sinembargo.mx/28-02-2019/3542485>
- Structuralia. (07 de 06 de 2021). *Enclavamiento ferroviario: funciones más importantes y aplicación*. Obtenido de Industria, Energía y Medioambiente: <https://blog.structuralia.com/enclavamiento-ferroviario>
- Torres, R. (20 de 05 de 2013). *ERTMS Blog*. Obtenido de Blog dedicado a la divulgación del nuevo Sistema Europeo de Gestión y Control de Trafico Ferroviario y de la Alta Velocidad: <https://ertms.blogspot.com/>
- Tres Carriles*. (15 de 01 de 2022). Obtenido de <https://www.trescarriles.com/fase-de-disentildeo.html>
- Tribunal de cuentas europeo. (2017). *Un Sistema único de Gestión del Tráfico Ferroviario Europeo*. Obtenido de <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/ertms-rail-13-2017/es/>
- Tribunal De Cuentas Europeo. (2017, 13). *Un Sistema único de Gestión del Tráfico Ferroviario Europeo*. Obtenido de <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/ertms-rail-13-2017/es/>