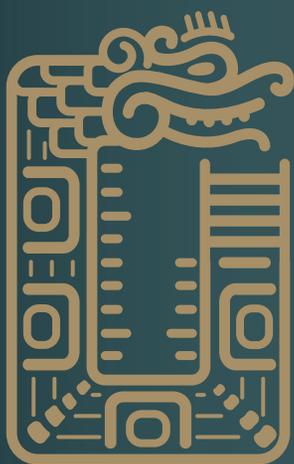


**KAANBAL**

**PROGRAMA DE  
TRANSFERENCIA  
DE CONOCIMIENTO**

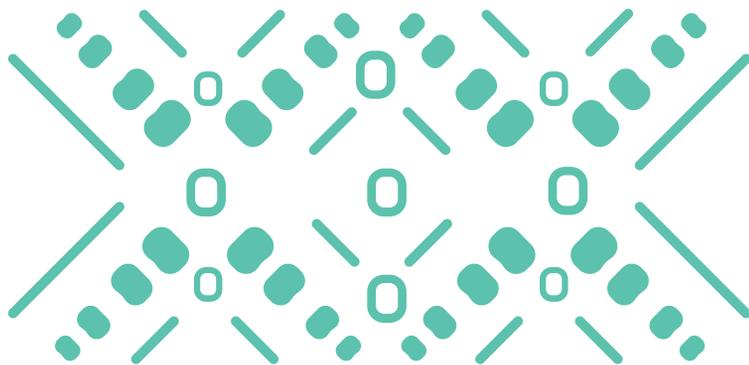


**TREN  
MAYA**  
TSÍIMIN K'ÁAK

**Lección 3**



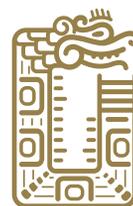
**Lección 3**



CURSO 6

# **Control de Mando y Señalización**

*con Isaac Fonseca Monrreal*



**TREN  
MAYA**  
TSÍIMIN K'ÁAK

# ÍNDICE **DE IMÁGENES**

<i>Imagen 1: Sistema de Enclavamiento</i>	.....	<b>4</b>
<i>Imagen 2: Enclavamientos mecánicos</i>	.....	<b>5</b>
<i>Imagen 3: Enclavamiento eléctrico</i>	.....	<b>6</b>
<i>Imagen 4: Enclavamiento Electrónico</i>	.....	<b>7</b>
<i>Imagen 5: Centro de Control</i>	.....	<b>10</b>
<i>Imagen 6: Dispositivos de Campo</i>	.....	<b>10</b>

## Lección 3

# EL ENCLAVAMIENTO FERROVIARIO

El enclavamiento ferroviario es un componente crucial para la seguridad de los sistemas de señalización y control de vía en el ferrocarril. Consiste en un conjunto de dispositivos mecánicos que garantizan que ciertas acciones solo puedan realizarse en un orden específico y seguro, evitando así movimientos peligrosos o contradictorios que puedan resultar en colisiones entre trenes u otros incidentes ferroviarios.

### **Imagen 1: Sistema de Enclavamiento**



Fuente: Network Rail. (s. f.). CCTV image of a train on the tracks [Fotografía]. Network Rail Media Centre. Recuperado el 13 de noviembre de 2024, de <https://www.networkrailmediacentre.co.uk/resources/img-2909>

El enclavamiento ferroviario se utiliza principalmente en puntos críticos de la vía, como cruces, cambios de vía y desvíos, donde es fundamental coordinar el movimiento de los trenes de manera segura y eficiente. Su función principal es asegurar que las señales y los dispositivos de control de vía no permitan movimientos que puedan causar conflictos entre trenes o interferencias con otras operaciones ferroviarias. Es el cerebro que recibe la información de los elementos de campo:

- Circuitos de vía
- Aparatos de vía
- Pasos a nivel

El enclavamiento ferroviario funciona mediante la interconexión mecánica de dispositivos, como palancas, trinquetes y bloqueos, que están diseñados para operar en un orden específico y predefinido. Por ejemplo, un enclavamiento puede garantizar que un cambio de vía no se pueda accionar si una señal cercana está mostrando un aspecto que indique la proximidad de un tren, o que una señal no muestre un aspecto que permita el avance de un tren si un cambio de vía cercano está en proceso de cambio.

Los enclavamientos ferroviarios no siempre estuvieron basados en microprocesadores, y dependiendo el sistema que se cuente y la condición de la vía se puede utilizar de diferentes tipos los cuales se describen a continuación:

**Enclavamientos mecánicos:** Son dispositivos cruciales utilizados en los sistemas de señalización y control de vías ferroviarias. Estos dispositivos garantizan que ciertas acciones, como cambiar una vía o mostrar una señal específica, solo puedan realizarse en un orden seguro y predeterminado, evitando así movimientos peligrosos o contradictorios que podrían causar colisiones entre trenes o accidentes ferroviarios.

### **Imagen 2: Enclavamientos mecánicos**



Mesa de Enclavamiento mecánico de los años 80's, <https://audioguia.museudelferrocarril.org/cas/02/Mesa-enclavamientos.asp>

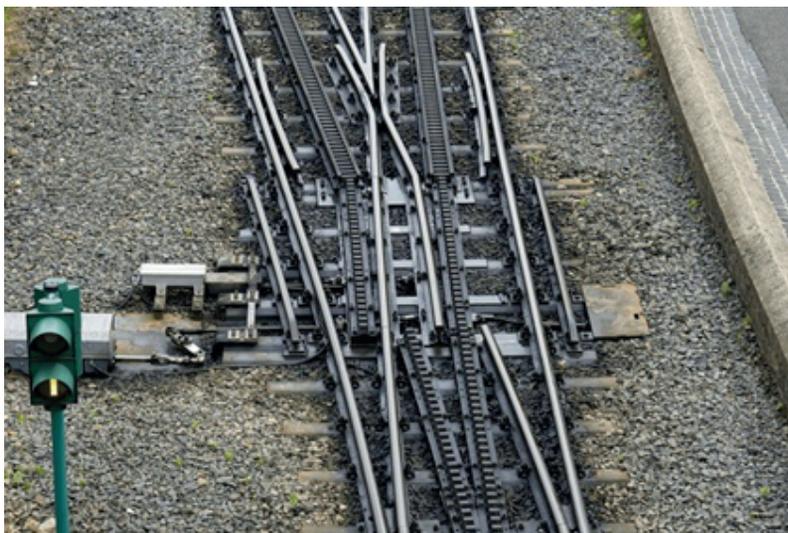
El funcionamiento de los enclavamientos mecánicos ferroviarios se basa en la interconexión de dispositivos mecánicos diseñados para operar en un orden específico y previamente definido. Estos dispositivos, que pueden incluir palancas, cables, trinquetes, bloqueos y sistemas de interconexión física, garantizan que determinadas acciones solo puedan ejecutarse cuando se cumplan las condiciones de seguridad establecidas.

Por ejemplo, en un punto de cambio de vía, un enclavamiento mecánico puede asegurar que el cambio de vía no se pueda accionar a menos que una señal cercana esté mostrando un aspecto que indique que la vía está despejada y es seguro cambiarla. Del mismo modo, puede garantizar que una señal no muestre un aspecto que permita el avance de un tren si un cambio de vía cercano está en proceso de cambio.

Los enclavamientos mecánicos son parte integral de los sistemas de señalización y control de vía en el ferrocarril y desempeñan un papel crucial en la garantía de la seguridad y la eficiencia operativa del sistema ferroviario.

**Enclavamientos eléctricos:** Son una evolución de los sistemas de enclavamiento mecánicos. Utilizan componentes electrónicos y eléctricos en lugar de dispositivos puramente mecánicos para gestionar y controlar las señales y los dispositivos de cambio de vía en la red ferroviaria.

### **Imagen 3: Enclavamiento eléctrico**



Fuente: Shutterstock. (s.f.). Device old rail switching. Recuperado de <https://www.shutterstock.com/es/search/device-old-rail-switching>

Estos enclavamientos electrónicos pueden ofrecer varias ventajas sobre sus contrapartes mecánicas, como una mayor flexibilidad, capacidad de integración con sistemas de señalización más avanzados, diagnósticos mejorados y una mayor capacidad de supervisión y control remoto. Están diseñados para ser compatibles con sistemas de control ferroviario más modernos, como el ERTMS/ETCS (European Rail Traffic Management System/European Train Control System).

El funcionamiento de un enclavamiento eléctrico puede variar dependiendo del diseño específico y del fabricante, pero generalmente implican el uso de circuitos eléctricos para controlar la activación de señales, los cambios de vía y otros dispositivos de vía. Estos circuitos pueden estar conectados a un sistema de control centralizado que supervisa y gestiona el movimiento de los trenes en la red ferroviaria.

En resumen, los enclavamientos eléctricos ferroviarios representan una evolución de los sistemas de enclavamiento tradicionales, aprovechando la tecnología eléctrica y electrónica para ofrecer una mayor eficiencia, flexibilidad y capacidad de integración con sistemas de control ferroviario modernos.

**Enclavamientos Electrónicos (ENCE):** Son sistemas avanzados de control de vías ferroviarias que utilizan componentes electrónicos y software para gestionar de manera segura y eficiente el tráfico de trenes. Estos sistemas representan una evolución de los enclavamientos mecánicos y eléctricos, ofreciendo una mayor flexibilidad, capacidad de integración y funcionalidad.

## **Imagen 4: Enclavamiento Electrónico**



Vialibre. (2024). En funcionamiento el nuevo enclavamiento electrónico de Martorell. <https://vialibre-ffe.com/noticias.asp?not=8863>

Los Enclavamientos Electrónicos pueden realizar una variedad de funciones, incluyendo el control de señales, cambios de vía, cruces de aguja, bloqueos de tráfico y supervisión de la seguridad ferroviaria. Utilizan computadoras y sistemas de control electrónico para procesar información en tiempo real sobre la posición de los trenes, las condiciones de la vía y las instrucciones de los operadores, y tomar decisiones automatizadas para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema ferroviario.

Algunas características y ventajas de los Enclavamientos Electrónicos incluyen:

- 1. Flexibilidad:** Pueden adaptarse fácilmente a diferentes configuraciones de vías y necesidades operativas.
- 2. Capacidad de Integración:** Se pueden integrar con otros sistemas ferroviarios, como sistemas de señalización, sistemas de control de tráfico y sistemas de gestión de flotas (Interoperabilidad Ferroviaria).
- 3. Diagnóstico Avanzado:** Pueden realizar un monitoreo continuo de su propio funcionamiento y detectar automáticamente cualquier anomalía o falla.
- 4. Control Centralizado:** Permiten un control centralizado desde una sala de control, lo que facilita la supervisión y el control de la red ferroviaria.
- 5. Seguridad Mejorada:** Utilizan algoritmos y lógica de control avanzados para garantizar que se cumplan todas las reglas de seguridad y evitar colisiones o incidentes ferroviarios.

## FUNCIONAMIENTO DE LOS ENCLAVAMIENTOS

Los enclavamientos ferroviarios funcionan según una serie de principios clave para garantizar la seguridad y eficiencia en la operación ferroviaria. A continuación, se describen algunos de los principios fundamentales de funcionamiento de los enclavamientos ferroviarios:

1. **Orden Secuencial:** Los enclavamientos garantizan que ciertas acciones solo puedan llevarse a cabo en un orden específico y seguro. Por ejemplo, antes de cambiar una vía, es necesario que una señal esté mostrando un aspecto que indique que la vía está despejada y es seguro cambiarla.
2. **Bloqueo:** Los enclavamientos aseguran que diferentes dispositivos de control de vía estén interconectados de manera que eviten movimientos peligrosos o contradictorios. Por ejemplo, un enclavamiento puede evitar que una señal muestre un aspecto que permita el avance de un tren si un cambio de vía cercano está en proceso de cambio.
3. **Detección de Conflictos:** Los enclavamientos utilizan sistemas de detección para identificar y prevenir conflictos entre trenes y otros elementos de la vía. Esto puede incluir la detección de trenes en secciones de vía ocupadas, la supervisión de la velocidad de los trenes y la identificación de condiciones peligrosas en la vía.
4. **Supervisión y Control Centralizado:** Muchos enclavamientos permiten un control centralizado desde una sala de control, donde los operadores pueden supervisar y gestionar el movimiento de los trenes en la red ferroviaria. Esto permite una respuesta rápida a situaciones de emergencia y una gestión eficiente del tráfico ferroviario.
5. **Redundancia y Diagnóstico:** Los enclavamientos suelen estar diseñados con redundancia incorporada y capacidades avanzadas de diagnóstico para garantizar su fiabilidad y detectar cualquier anomalía o fallo en su funcionamiento.

Los enclavamientos ferroviarios funcionan según principios de secuencia, bloqueo, detección de conflictos, control centralizado y redundancia para garantizar la seguridad y eficiencia en la operación de la red ferroviaria. Estos principios se aplican tanto a los enclavamientos mecánicos como a los enclavamientos electrónicos y son fundamentales para el funcionamiento seguro y confiable del transporte ferroviario.

En el contexto de los enclavamientos ferroviarios, el principio fail-safe se refiere a asegurar que, en caso de fallo del sistema o de alguna parte del enclavamiento, el sistema se bloquee automáticamente en un estado seguro que evite movimientos peligrosos de los trenes. Esto es esencial para garantizar la seguridad en la operación ferroviaria y prevenir posibles colisiones o accidentes.

El diseño fail-safe de un enclavamiento ferroviario implica varias características y mecanismos de seguridad, que pueden incluir:

1. **Bloqueo:** Los enclavamientos están diseñados para asegurar que ciertas acciones sólo puedan llevarse a cabo en un orden específico y seguro. Por ejemplo, un enclavamiento puede garantizar que un cambio de vía no se pueda activar si una señal cercana está mostrando un aspecto que indica la proximidad de un tren.
2. **Detección de fallos:** Los sistemas de enclavamiento pueden incluir dispositivos de detección de fallos que supervisan continuamente el funcionamiento del sistema y detectan cualquier anomalía o fallo. Esto puede incluir la detección de errores en los circuitos eléctricos, fallas en los dispositivos mecánicos o cualquier otro problema que pueda comprometer la seguridad del sistema.
3. **Bloqueo en estado seguro:** En caso de fallo del sistema, los enclavamientos están diseñados para bloquearse automáticamente en un estado seguro que evite movimientos peligrosos de los trenes. Por ejemplo, si se pierde la comunicación con un dispositivo de señalización, el enclavamiento puede bloquear automáticamente los cambios de vía y detener todos los movimientos de trenes hasta que se restaure la comunicación.
4. **Redundancia:** Algunos sistemas de enclavamiento incluyen características de redundancia para garantizar la fiabilidad del sistema incluso en caso de fallo de algún componente. Esto puede incluir la duplicación de componentes críticos, como circuitos de control, o la implementación de sistemas de respaldo que puedan asumir el control en caso de fallo del sistema principal.

El principio fail-safe en el diseño de enclavamientos ferroviarios es esencial para garantizar la seguridad y la fiabilidad en la operación ferroviaria al evitar movimientos peligrosos de los trenes en caso de fallo del sistema.

La arquitectura de los enclavamientos ferroviarios varía según el diseño específico y las necesidades operativas de cada sistema ferroviario. Sin embargo, en general, la arquitectura de un enclavamiento ferroviario comprende varios elementos clave que trabajan juntos para garantizar la seguridad y eficiencia en la operación del ferrocarril. Aquí hay una descripción general de los principales componentes de la arquitectura de un enclavamiento ferroviario:

**Sistema de Control Centralizado:** El sistema de control centralizado es el núcleo del enclavamiento ferroviario. Este sistema puede ser una computadora central o una serie de computadoras distribuidas que supervisan y controlan todas las operaciones en la red ferroviaria. El sistema de control centralizado recibe información de los sensores distribuidos a lo largo de la vía y emite comandos a los dispositivos de campo, como señales, semáforos y cambios de vía.

## **Imagen 5: Centro de Control**



Fuente: Espormadrid. (2019). Mejoras para el centro de control de pantallas de Metro de Madrid. Espormadrid. <https://www.espormadrid.es/2019/01/mejoras-para-el-centro-de-control-de.html>

Dispositivos de Campo: Estos son los dispositivos físicos distribuidos a lo largo de la vía que son controlados por el sistema de control centralizado. Incluyen señales ferroviarias, semáforos, cambios de vía, dispositivos de detección de trenes, balizas de velocidad y otros equipos de vía. Los dispositivos de campo proporcionan retroalimentación al sistema de control centralizado y ejecutan comandos según sea necesario para regular el movimiento de los trenes.

## **Imagen 6: Dispositivos de Campo**



Fuente: Eaton Corporation. (2024). [Imagen de control y señalización para el sector ferroviario]. Recuperado de <https://www.eaton.com/es/es-es/markets/rail/control-and-signaling.html>

La seguridad de fallos compuesta en los enclavamientos ferroviarios se refiere a la estrategia de diseño que incorpora múltiples capas de protección y redundancia para mitigar los riesgos asociados con posibles fallos en el sistema. Estas capas de protección se diseñan para trabajar en conjunto de manera que, incluso si un componente o sistema falla, otros sistemas o mecanismos de seguridad pueden detectar y corregir el problema para mantener la operación segura del ferrocarril. Algunas de las características de seguridad de fallos compuestas comunes en los enclavamientos ferroviarios incluyen:

**Diseño Redundante:** Los sistemas de enclavamiento ferroviario a menudo incorporan componentes redundantes, como módulos de control duplicados y sistemas de comunicación de respaldo, para garantizar la disponibilidad continua del sistema incluso en caso de fallo de un componente.

**Verificación Cruzada (Cross-checking):** Los sistemas de enclavamiento pueden emplear técnicas de verificación cruzada para comparar los resultados de múltiples sensores o dispositivos y detectar discrepancias que podrían indicar un fallo en el sistema.

**Diagnóstico y Supervisión Continuos:** Los sistemas de enclavamiento pueden incluir capacidades de diagnóstico y supervisión continuos para monitorear el estado operativo de los componentes del sistema y detectar cualquier anomalía o fallo potencial antes de que afecte la seguridad del sistema.

**Sistema de Respuesta a Fallos (Fail-safe):** Los sistemas de enclavamiento están diseñados con características fail-safe que garantizan que, en caso de fallo del sistema, el sistema se bloquee automáticamente en un estado seguro que evite movimientos peligrosos de los trenes como ya se explicó anteriormente.

**Capacidades de Recuperación Automática:** Algunos sistemas de enclavamiento pueden incluir capacidades de recuperación automática que permiten al sistema recuperarse automáticamente de un fallo sin intervención humana, minimizando el tiempo de inactividad y manteniendo la operación segura del ferrocarril.

**Pruebas y Mantenimiento Preventivo:** Los sistemas de enclavamiento ferroviario pueden someterse regularmente a pruebas y mantenimiento preventivo para identificar y corregir problemas potenciales antes de que afecten la seguridad del sistema.

En conjunto, estas características de seguridad de fallos compuestos ayudan a garantizar que los sistemas de enclavamiento ferroviario operen de manera segura y confiable, incluso en presencia de posibles fallos o problemas en el sistema. Esto es fundamental para mantener la seguridad de los pasajeros, el personal y la infraestructura ferroviaria.

En resumen, los Enclavamientos Electrónicos son sistemas modernos y sofisticados que desempeñan un papel crucial en la seguridad y eficiencia del transporte ferroviario al permitir un control preciso y automatizado de las vías y los trenes.

Se requiere un programa de explotación de enclavamientos ferroviarios lo cual es un conjunto de procedimientos y directrices que establecen cómo se opera y mantiene un sistema de enclavamiento ferroviario para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente. Este programa abarca una variedad de aspectos, que incluyen la operación diaria, el mantenimiento preventivo, las pruebas de seguridad, la capacitación del personal y la gestión de incidentes. Aquí hay una descripción general de lo que podría incluir un programa de explotación de enclavamientos ferroviarios:

**Procedimientos de Operación:** Define cómo se operan los enclavamientos en condiciones normales, incluyendo la autorización de movimientos de trenes, la gestión de cruces de vías, el cambio de vías y la coordinación con otros sistemas ferroviarios.

**Mantenimiento Preventivo:** Establece los procedimientos para el mantenimiento regular de los enclavamientos, que pueden incluir inspecciones visuales, pruebas de funcionamiento, lubricación de componentes y reemplazo de piezas desgastadas.

**Pruebas de Seguridad:** Describe los procedimientos para realizar pruebas de seguridad regulares en los sistemas de enclavamiento, que pueden incluir pruebas de funcionamiento, pruebas de comunicación, pruebas de respuesta a fallos y pruebas de redundancia.

**Capacitación del Personal:** Define los requisitos de capacitación para el personal encargado de operar y mantener los enclavamientos, que pueden incluir capacitación en procedimientos operativos, seguridad ferroviaria, mantenimiento de equipos y respuesta a emergencias.

**Gestión de Incidentes:** Establece los procedimientos para manejar situaciones de emergencia o incidentes, como fallos del sistema, colisiones de trenes, obstrucciones en la vía y otros eventos que puedan afectar la seguridad operativa del sistema ferroviario.

**Registro y Documentación:** Requiere la documentación detallada de todas las actividades relacionadas con la operación y el mantenimiento de los enclavamientos, incluyendo registros de inspección, registros de mantenimiento, informes de pruebas de seguridad y registros de incidentes.

**Actualizaciones y Mejoras:** Establece un proceso para la implementación de actualizaciones de software, mejoras de hardware y cambios en los procedimientos operativos para garantizar que los enclavamientos estén actualizados y cumplan con los estándares de seguridad actuales.

Un programa de explotación de enclavamientos ferroviarios es fundamental para garantizar la seguridad y la eficiencia en la operación del sistema ferroviario. Proporciona un marco estructurado para la operación, mantenimiento y gestión de los enclavamientos, asegurando que se sigan las mejores prácticas y se cumplan los estándares de seguridad establecidos.

En resumen, el enclavamiento ferroviario es un componente esencial de los sistemas de señalización y control de vía que garantiza la seguridad y la eficiencia en la operación ferroviaria al evitar movimientos peligrosos o contradictorios y asegurar una coordinación adecuada entre los diferentes elementos de la infraestructura ferroviaria.