



Metro de Madrid

SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS – MADRID 17.03.06

FCO. JAVIER GONZÁLEZ FDEZ

- **LOS SISTEMAS QUE CONTROLAN LA SEMAFORIZACIÓN SON UNOS Y LOS DE PROTECCIÓN Y CONDUCCIÓN AUTOMÁTICA SON OTROS. UNOS SE SUPERPONEN A OTROS.**
- **LA SEÑALIZACIÓN SE BASA EN UNOS EQUIPOS EMBARCADOS EN EL MATERIAL MÓVIL, UNOS EQUIPOS Y SISTEMAS INSTALADOS EN LA VÍA (QUE SE SUELEN DENOMINAR OBJETOS), UNOS CENTROS INFORMÁTICOS QUE CONTROLAN UN TRAMO (ENCLAVAMIENTOS) Y PUESTOS DE CONTROL CENTRALES**
- **EL FUTURO SE BASA EN LAS COMUNICACIONES ENTRE ELLOS VÍA RADIO, AUNQUE AHORA LA MAYORÍA DE LAS COMUNICACIONES SE BASAN EN CABLES DE COBRE O EN FIBRAS ÓPTICAS.**

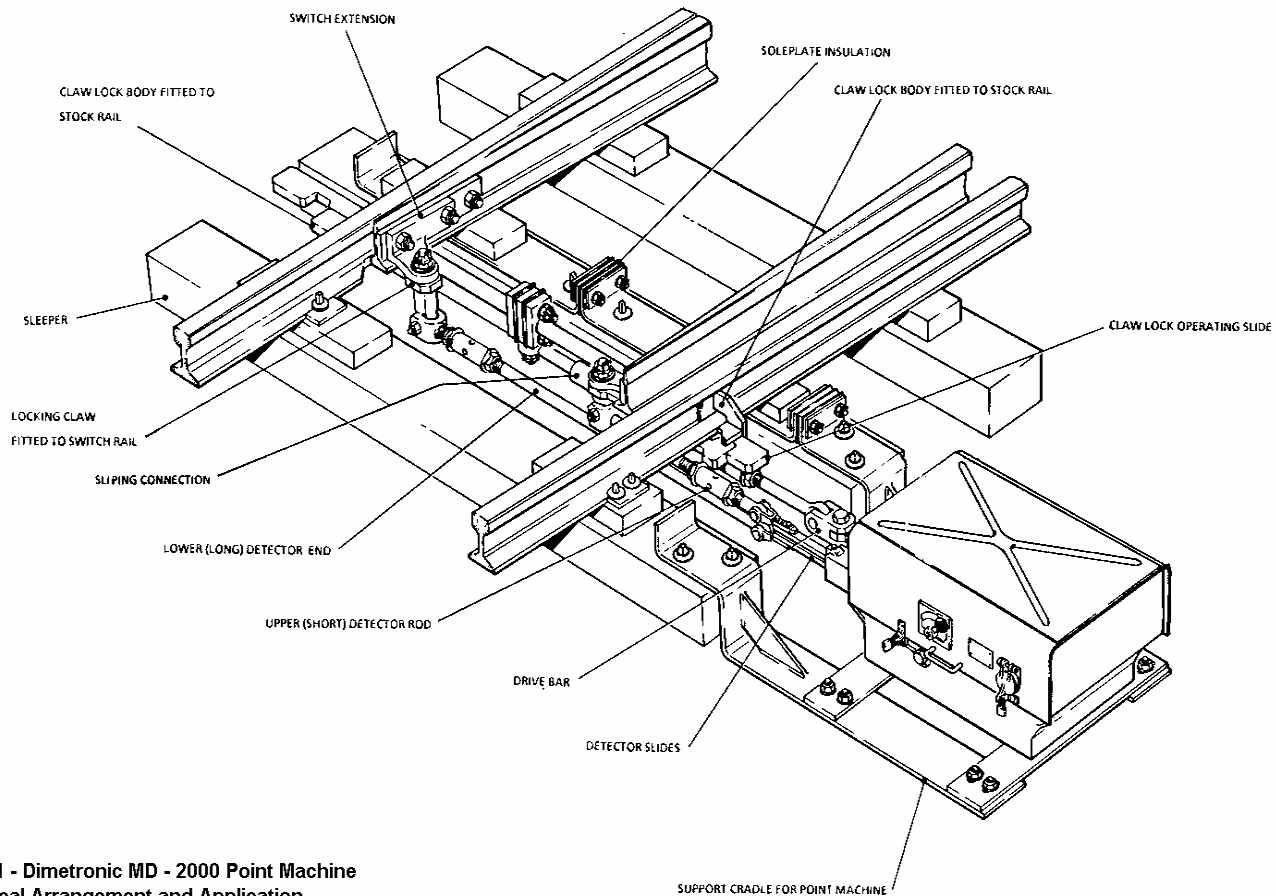
BREVE HISTORIA DE LA SEÑALIZACIÓN.

- Comienzo 1840
- Cambio agujas a mano
- Señales mecánicas
- Cuarto de control. Levas para mando señales
- Enclavamiento mecánicos. Mando por cables
- Concepto de Block. El TOKEN
- Circuito de vía (1920). Señales automáticas
- Enclavamientos eléctricos.(1933)
- Panel de mando. Rutas.
- CTC. Mando a distancia
- Enclavamientos electrónicos
- ERTMS

Mando mecánico de agujas local

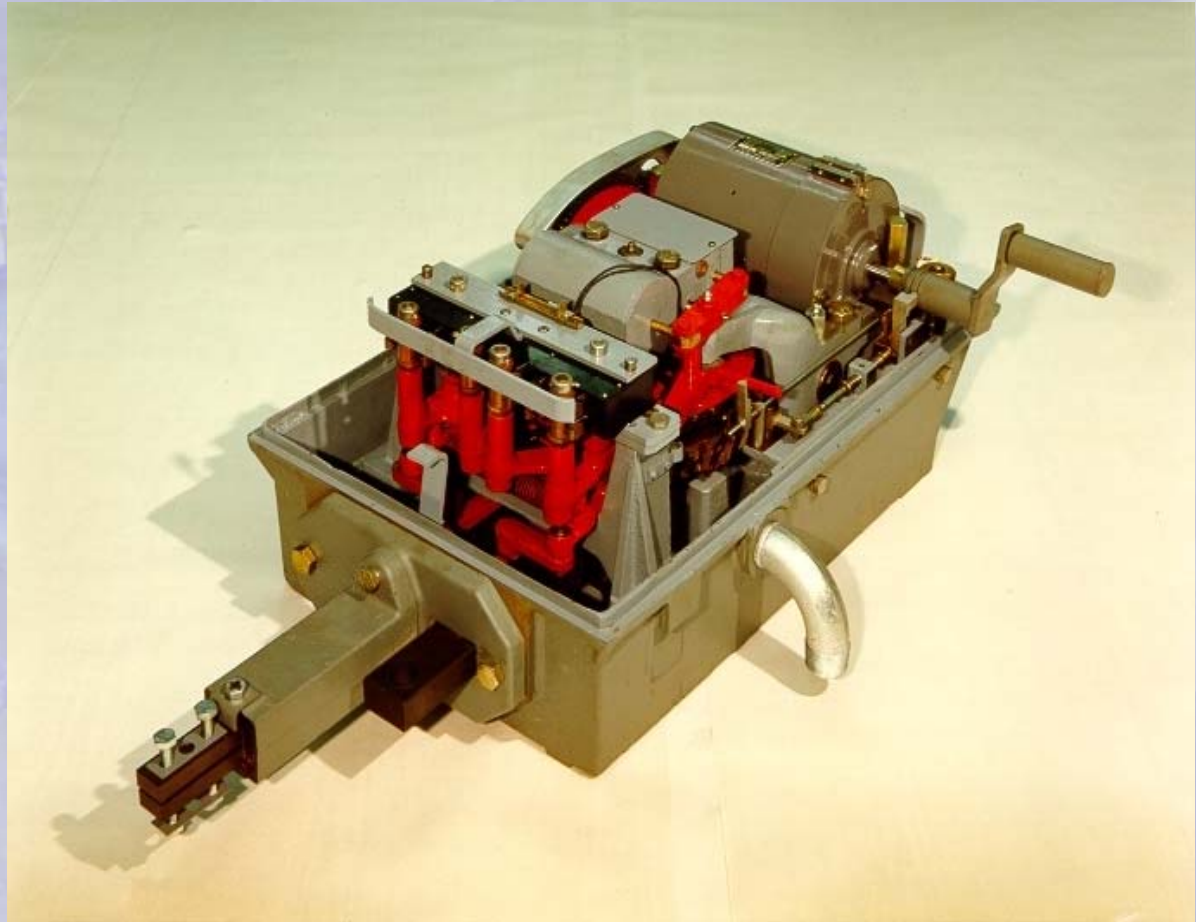


Accionamiento eléctrico de agujas



**Fig 1 - Dimetronic MD - 2000 Point Machine
Typical Arrangement and Application**

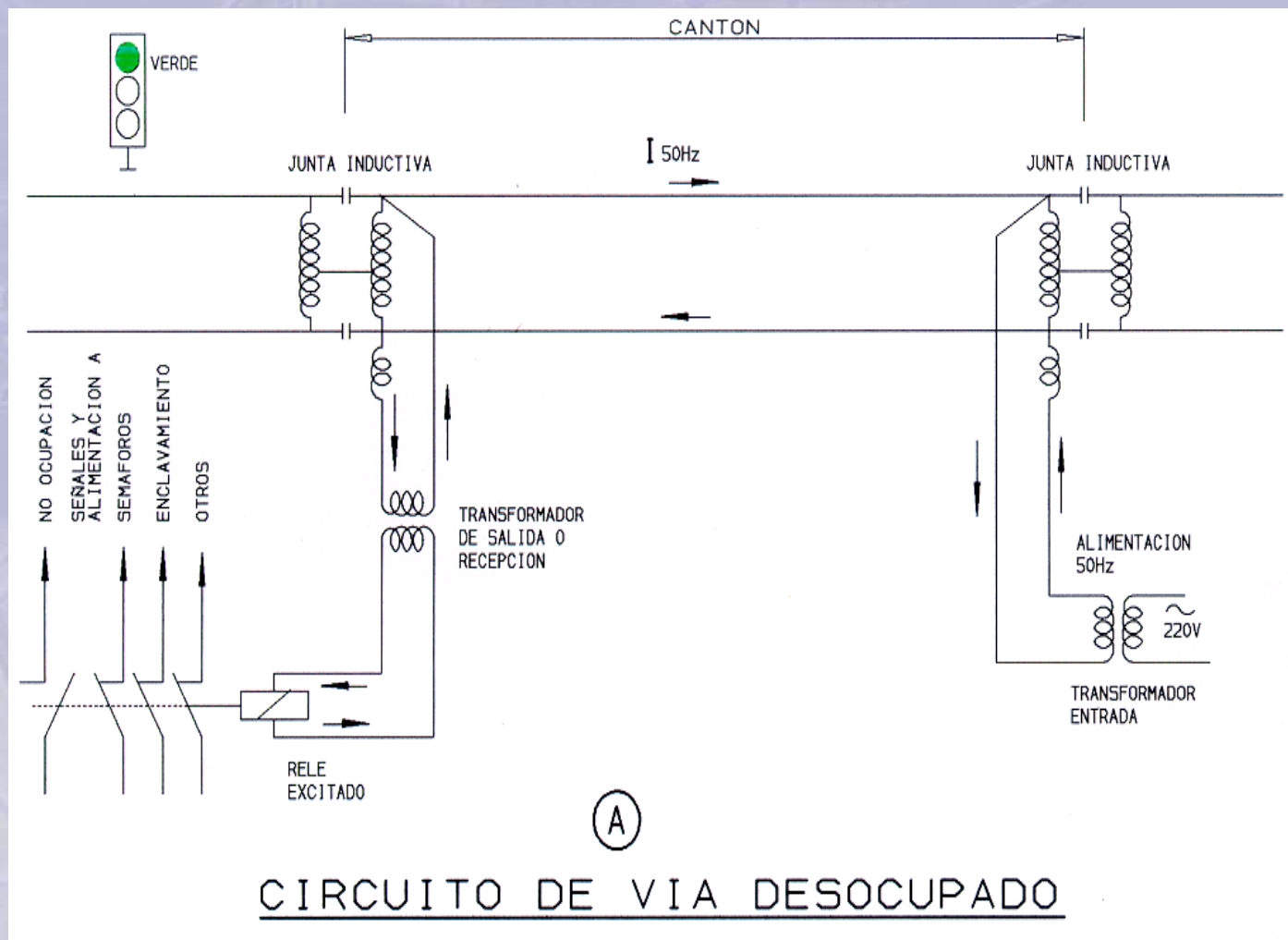
Motor de agujas



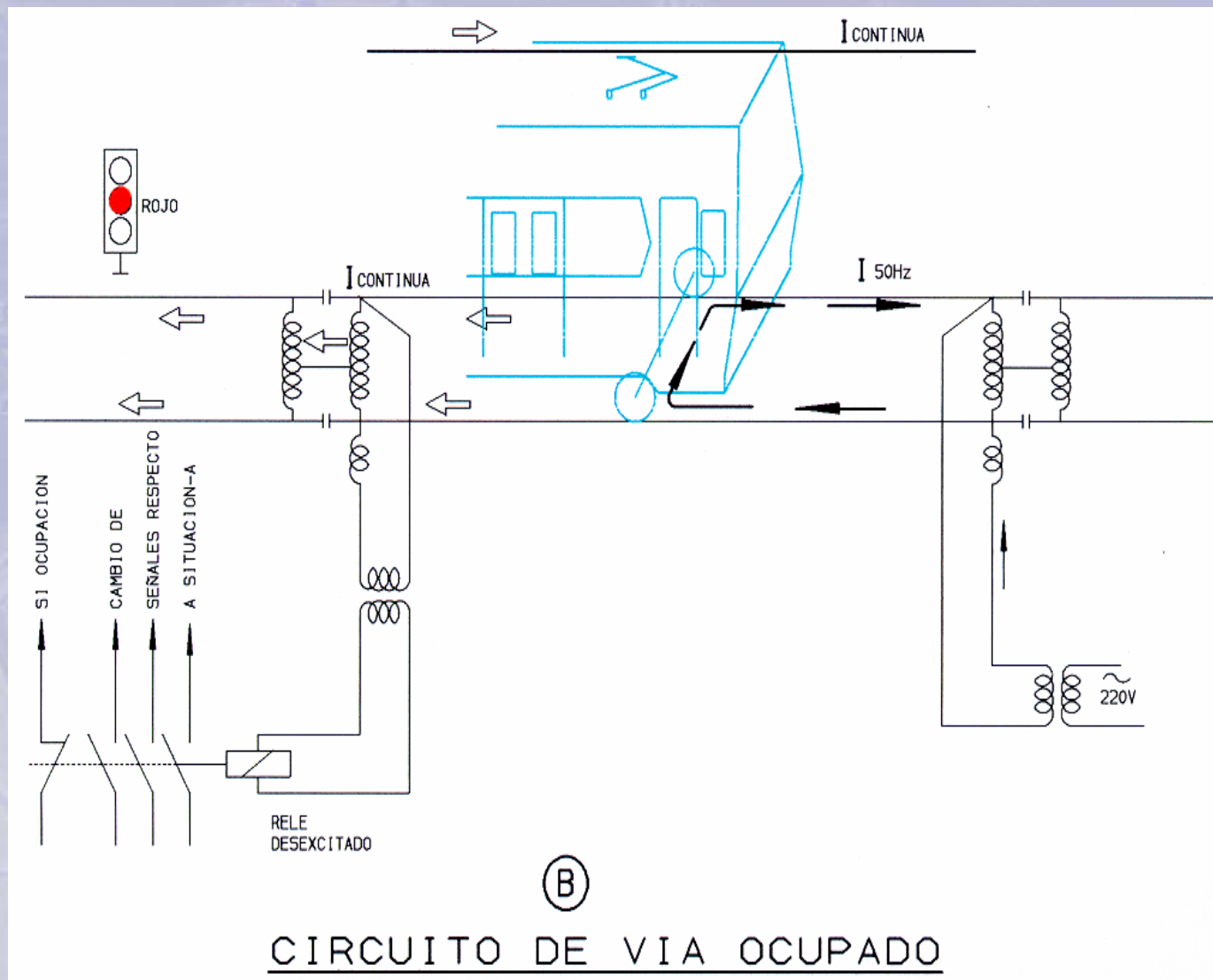
Travesía de unión doble



PRINCIPIOS DE LA SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA MODERNA



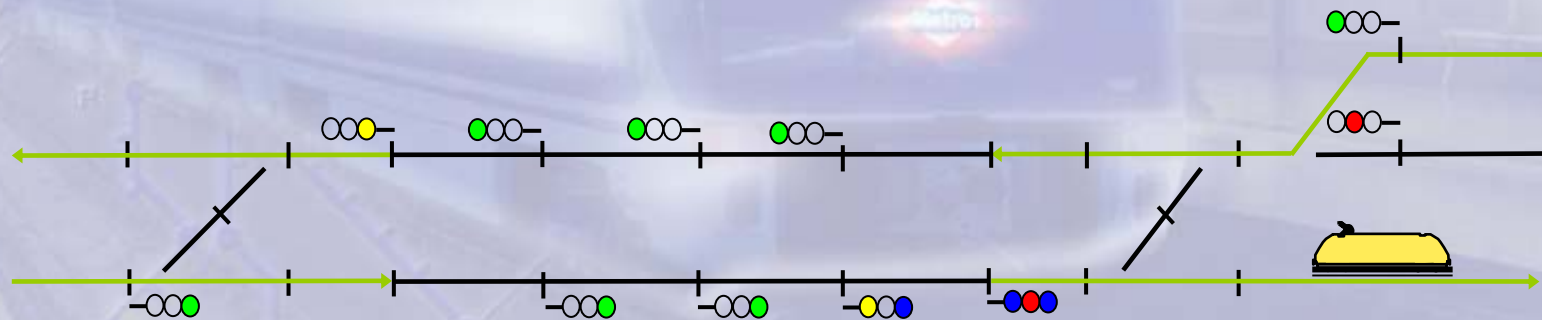
PRINCIPIOS DE LA SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA MODERNA



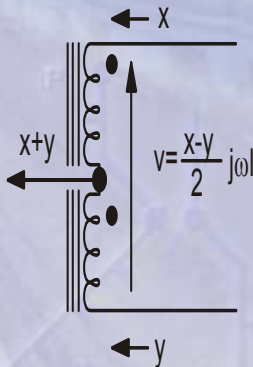
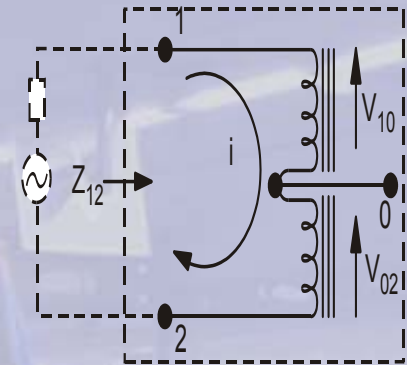
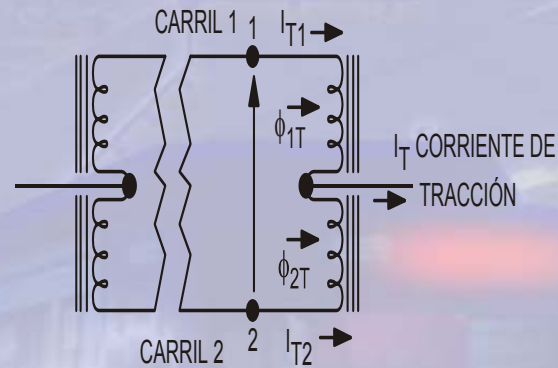
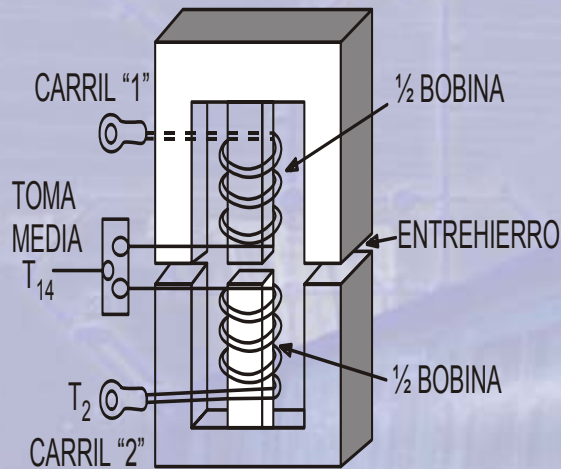
Ejemplo de una secuencia de señales e itinerarios

MOVIMIENTO DE TRENES Y SU PROTECCIÓN

Bloqueo Automático Doble Vía (B.A.D.)



PRINCIPIOS DE LA SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA MODERNA

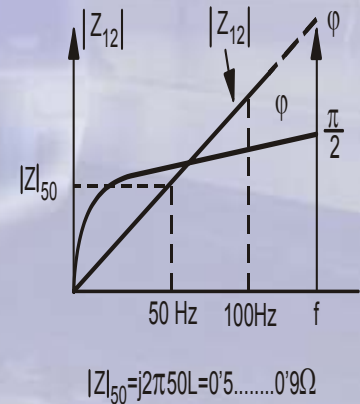


Si $x=-y$ (caso corriente de via)

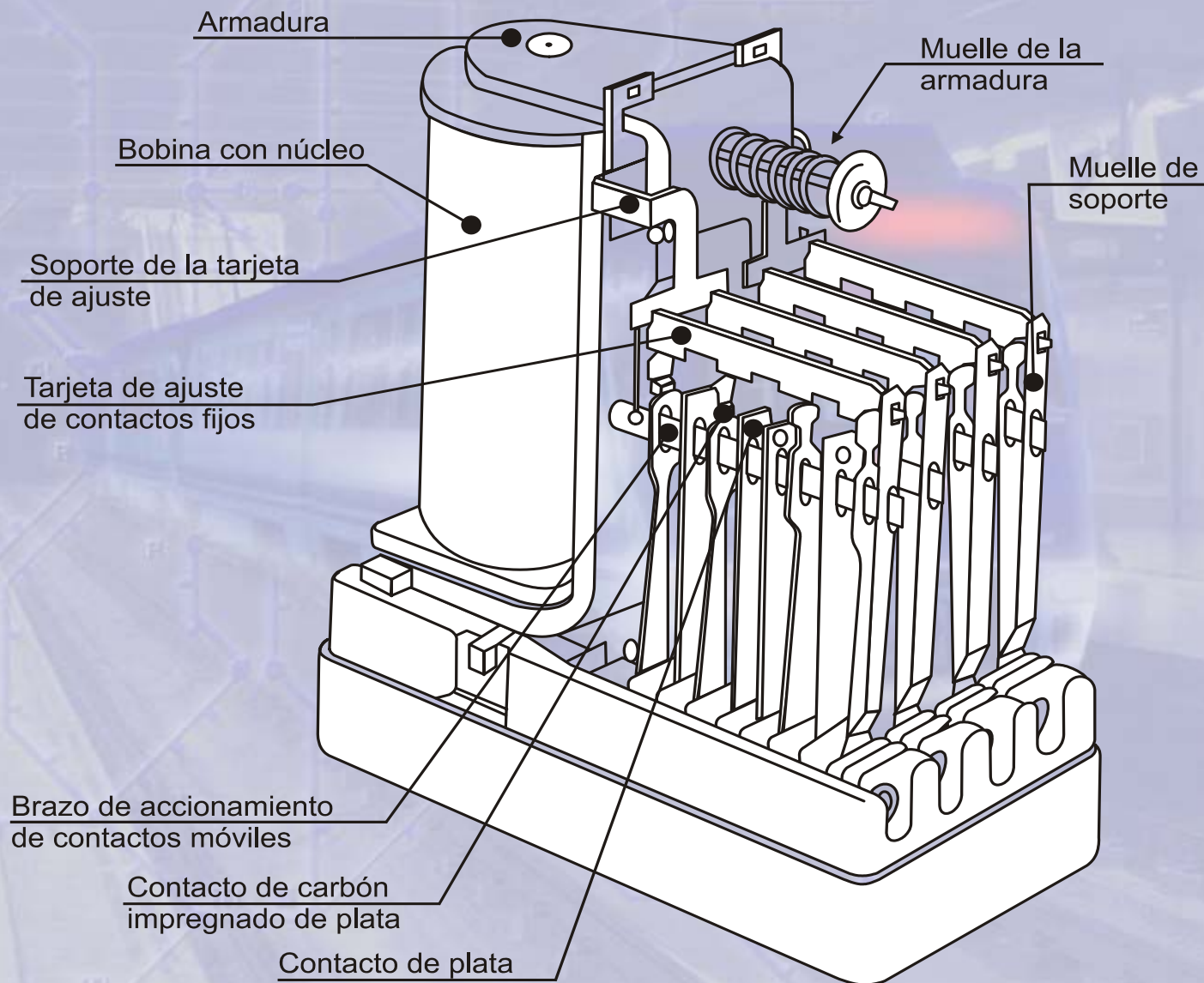
$$\begin{cases} v = \frac{2x}{2} = j\omega l \\ Z_{12} = \frac{v}{x} = j\omega l \\ x+y=2x \end{cases}$$

Si $x=y$ (caso corriente de tracc.)

$$\begin{cases} v=0 \\ x+y=2x \end{cases}$$



PRINCIPIOS DE LA SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA MODERNA



Enclavamiento eléctrico. Cableado

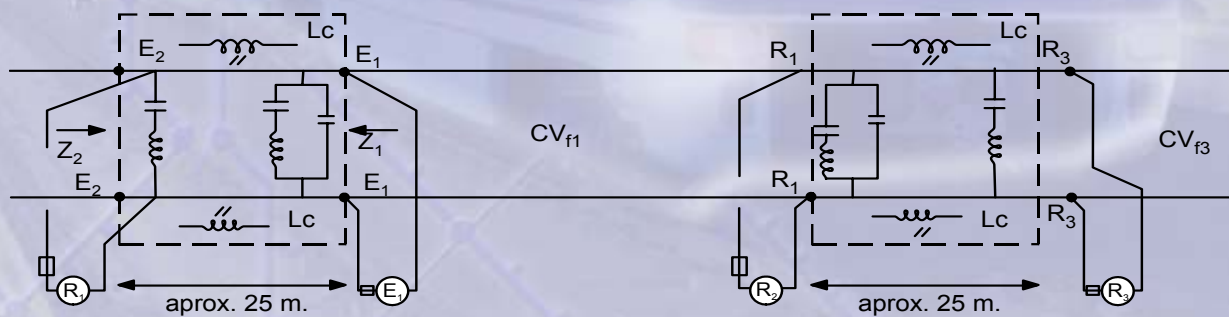
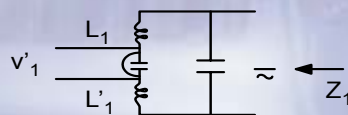
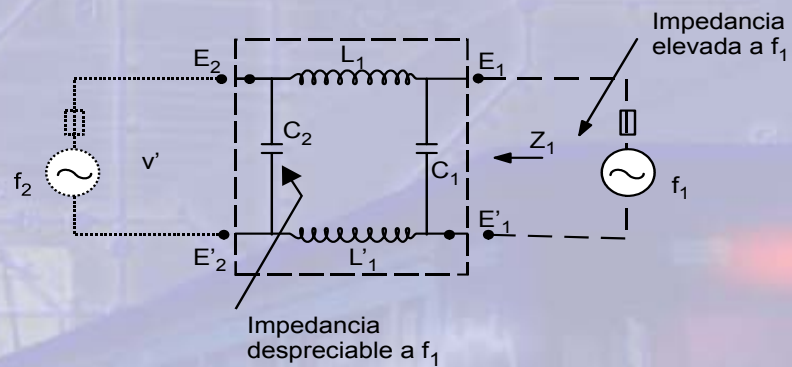
libre



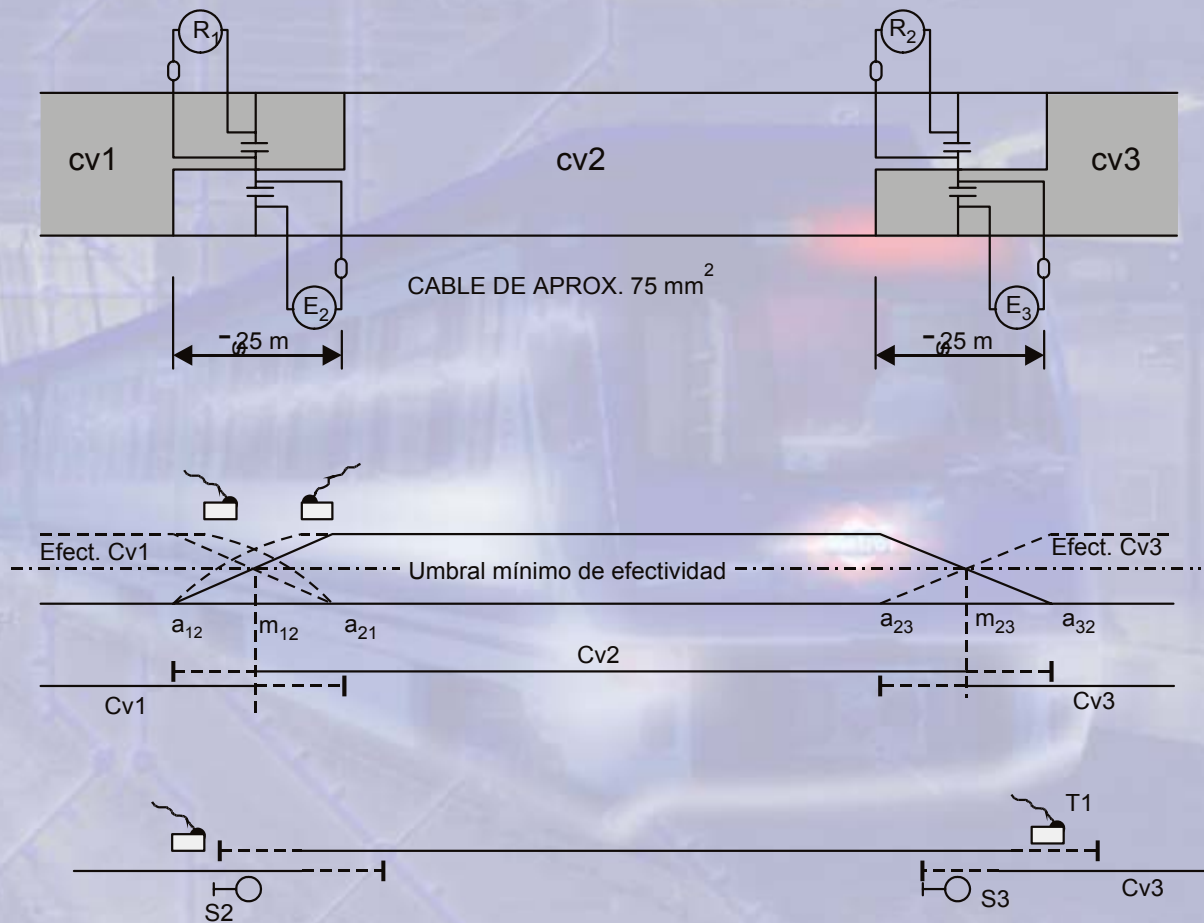
Enclavamiento eléctrico. Módulos geográficos



PRINCIPIOS DE LA SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA MODERNA



PRINCIPIOS DE LA SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA MODERNA



Uno de los primeros centros de control.



Cowlairs





SISTEMA DE PROTECCIÓN AUTOMÁTICA DEL TREN: ATP (AUTOMATIC TRAIN PROTECTION)



**IMPEDIR ALCANCES
ENTRE TRENES**



**IMPEDIR AL TREN QUE
REBASE UNA SEÑAL EN
ROJO**



**DETENER AL TREN QUE REBASE
LA VELOCIDAD O DISTANCIA DE
SEGURIDAD PERMITIDA**

**ELIMINAR EL
ERROR HUMANO**



**IMPEDIR QUE UN TREN
REBASE AGUJAS EN
POSICIÓN INCORRECTA**



**DETENER AL TREN ANTE LA
FALTA DE COMUNICACIÓN
TIERRA-TREN**



**PROTECCIÓN SEGURA Y AUTOMÁTICA
POR APLICACIÓN DE FRENADO**



A.T.P.

(AUTOMATIC TREN PROTECTION)

DIFERENTES SISTEMAS DE A.T.P. (Automatic train Protection)

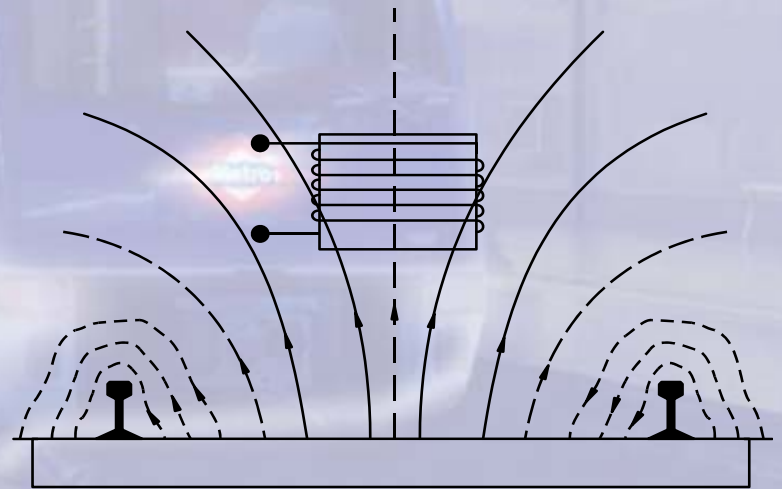
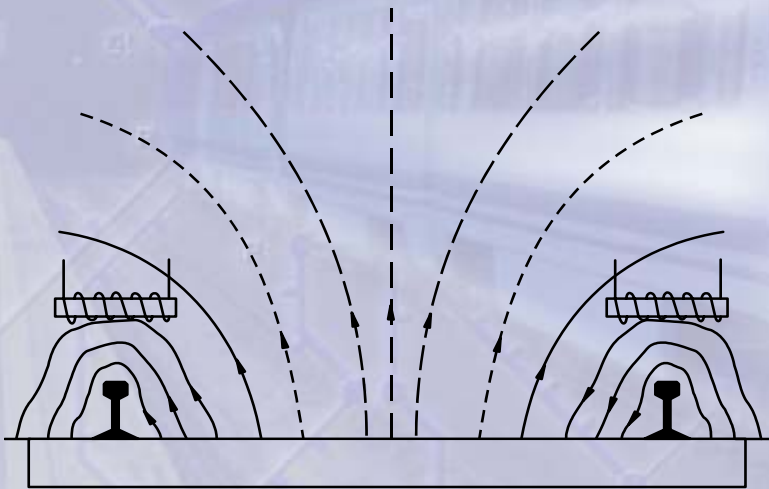
1.- SISTEMAS CANTONALES DE VELOCIDAD MÁXIMA

2.-SISTEMAS PUNTUALES DE VELOCIDAD MÁXIMA

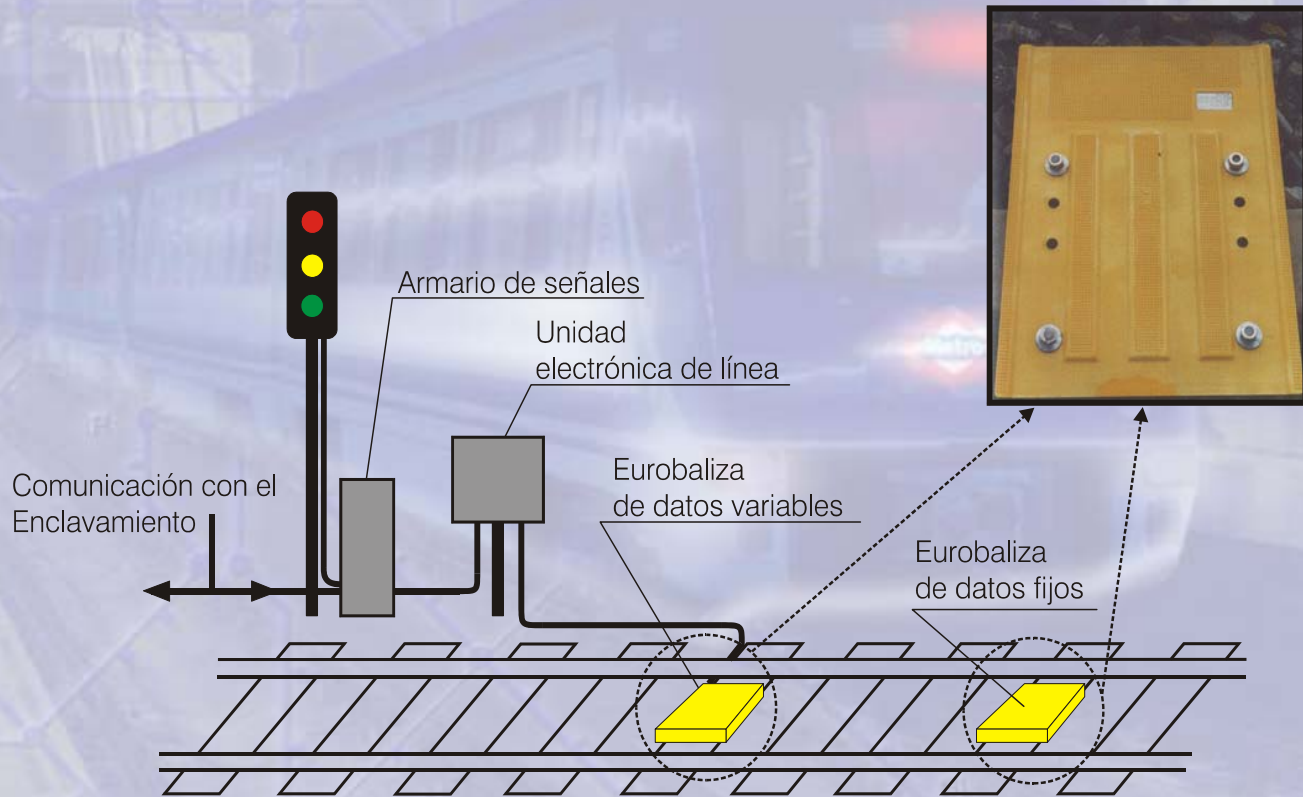
3.-SISTEMAS DE DISTANCIA OBJETIVO

**4.-SISTEMAS LINEALES O CONTINUOS (CANTÓN MÓVIL O
C.B.T.C.)**

Diferentes sistemas para recibir o enviar señales entre el tren y la vía



La información puede transmitirse al tren de forma puntual, mediante balizas

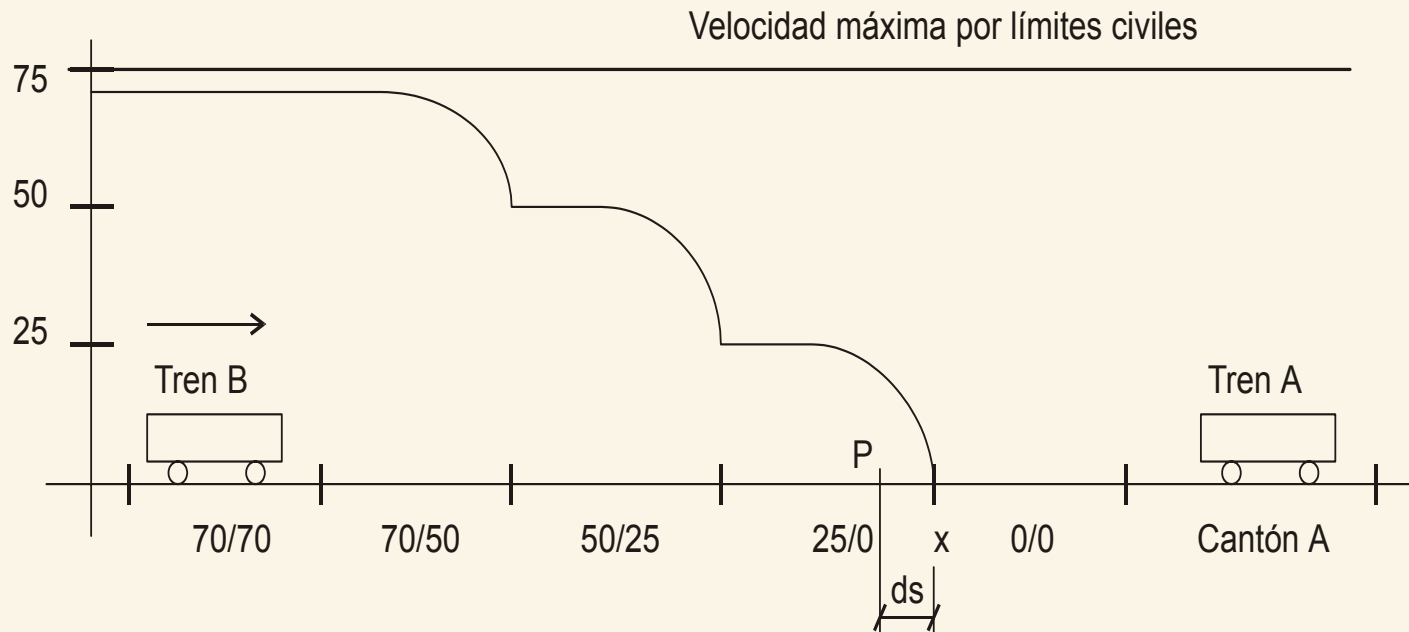


European Train Control System (ETCS) Nivel 1 (sin A.T.O.)

Características del sistema de códigos de velocidad

- Es un sistema muy conocido, robusto y fiable; que lleva utilizándose con éxito desde hace más de 30 años
- El intervalo mínimo que permite entre un tren y el que le precede está condicionado a la distancia de los cantones. Se puede partir o cantonar una vía en muchos tramos...pero esto es caro y susceptible de muchas averías

Esquema del sistema clásico de ATP mediante códigos de velocidad

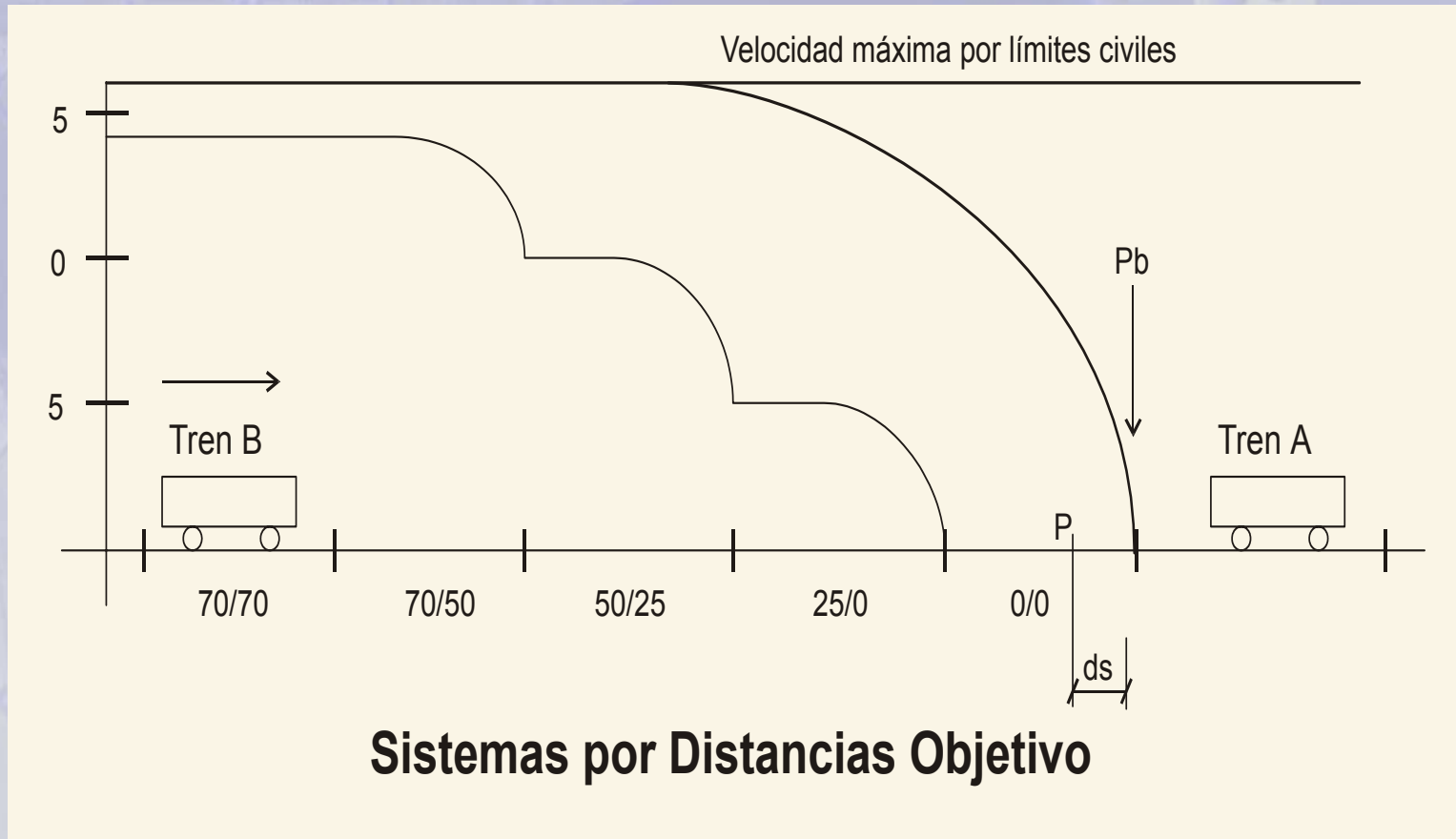


Sistemas por Códigos de Velocidad

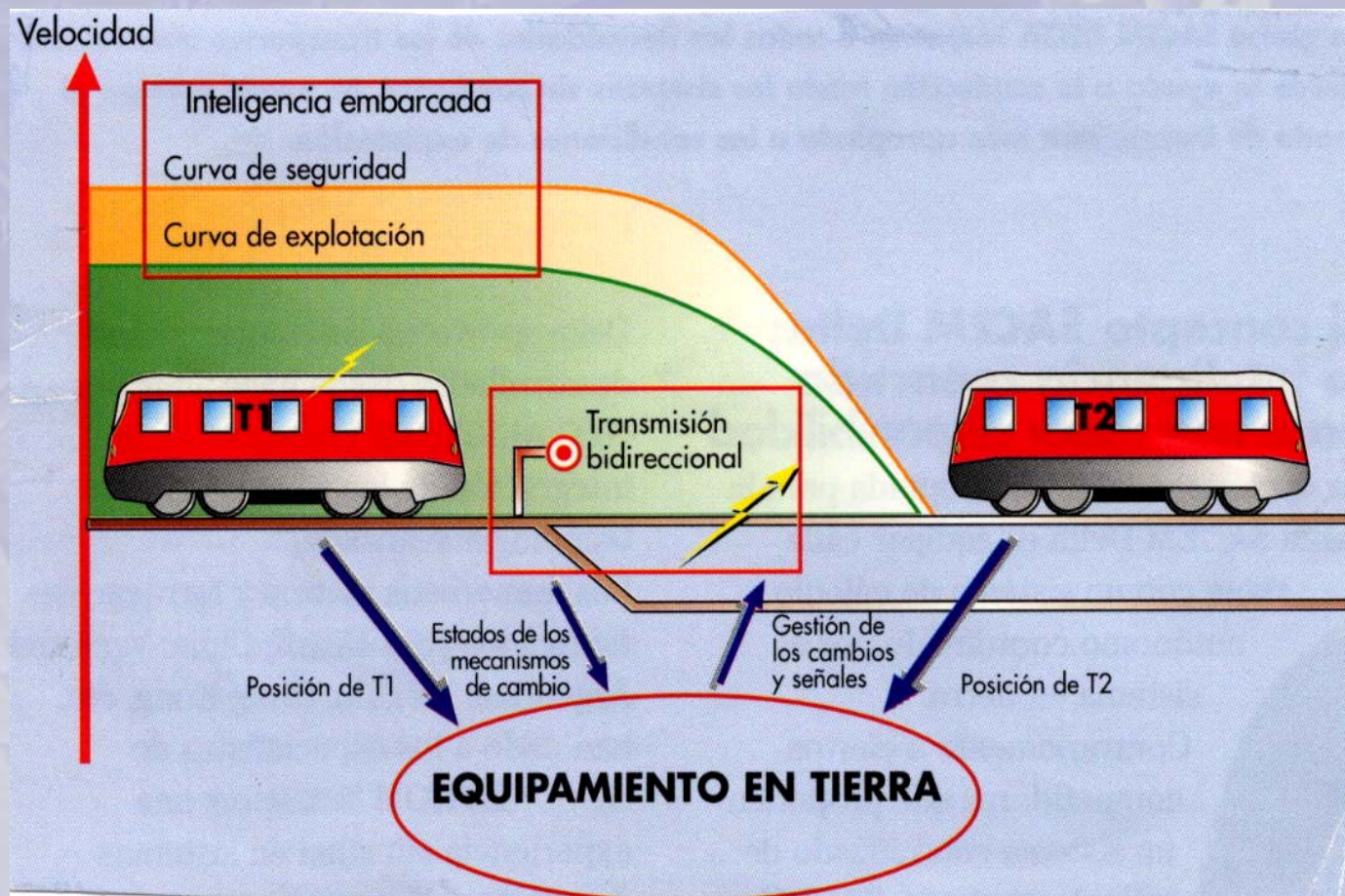
Características del sistema “Distance to go” o distancia objetivo

- Es un sistema más avanzado que el ATP por códigos de velocidad. El tren sabe cuál es el tamaño de cada cantón y, por tanto, puede aproximarse más a la cola del tren precedente.
- La diferencia entre unos Fabricantes y otros radica en si la información está embarcada, o memorizada a bordo del tren, o si se transmite desde la vía.

En el caso de distancia objetivo, hay que parar el tren antes del comienzo del siguiente cantón, que es el ocupado con independencia de dónde esté el tren precedente

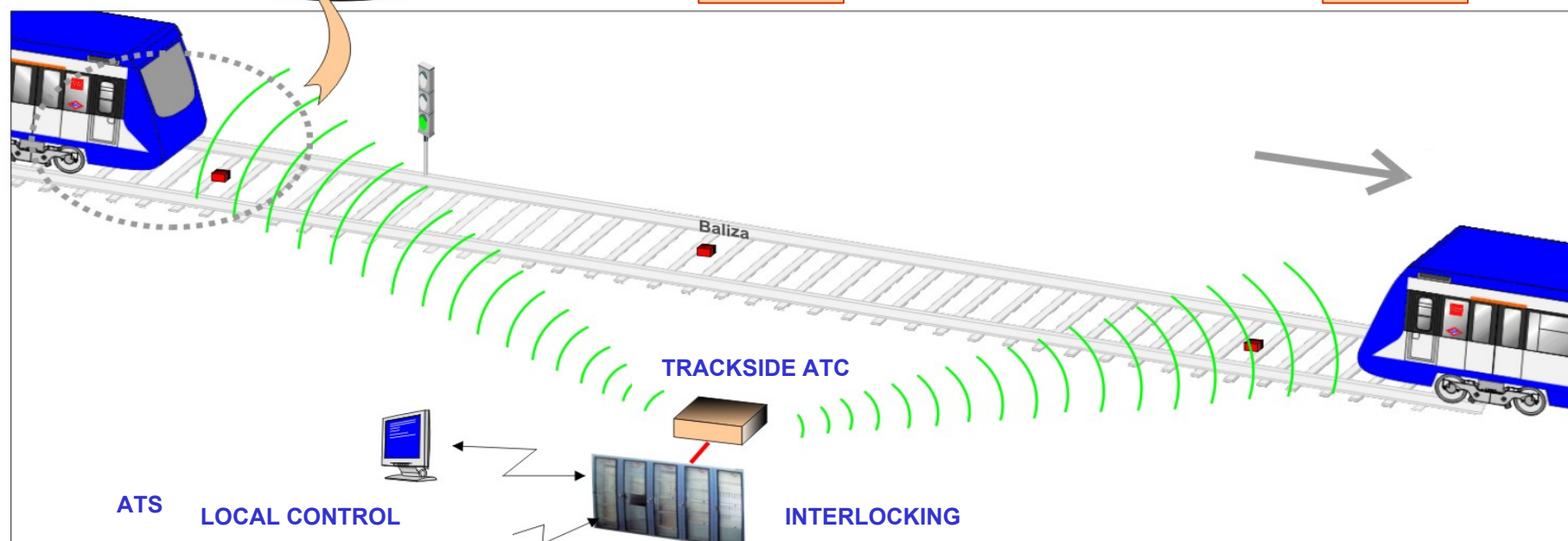
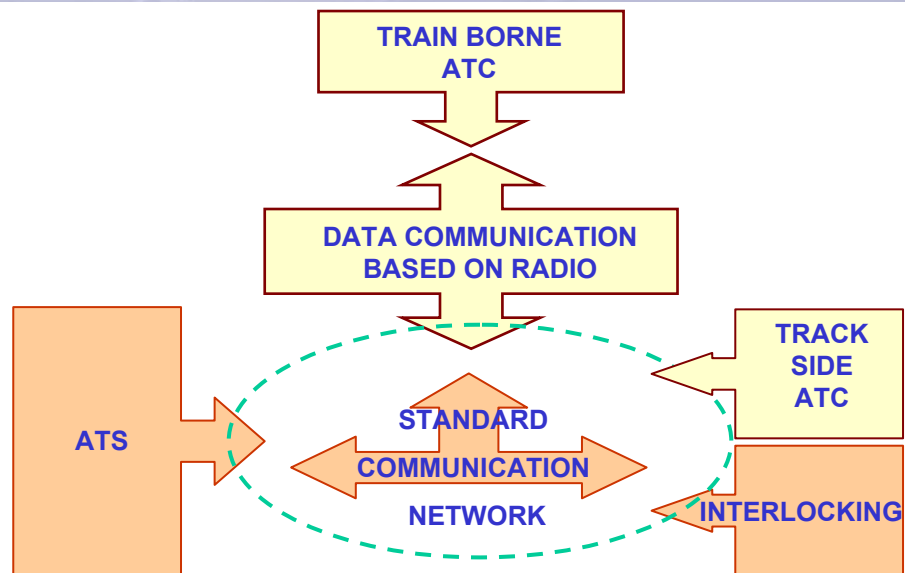
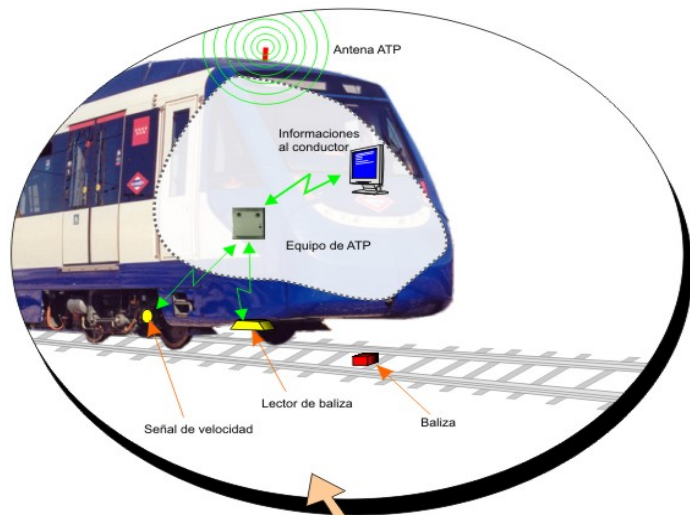


En el caso de cantón móvil, hay que parar el tren antes de la cola del tren precedente (atención: no antes del cantón ocupado por delante)



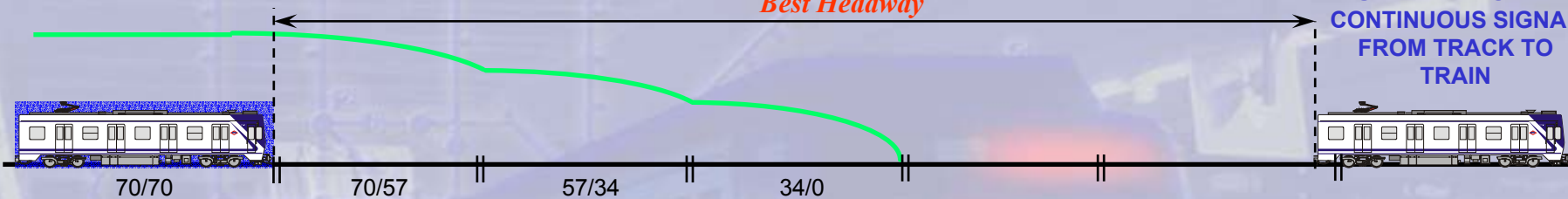
ARQUITECTURA DE UN MODERNO SISTEMA DE CANTON MÓVIL O CBTC

TRAIN BORNE ATC

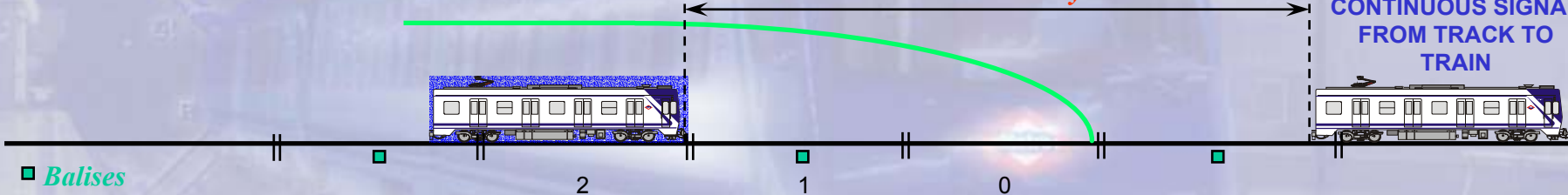


COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES SISTEMAS DE A.T.P.

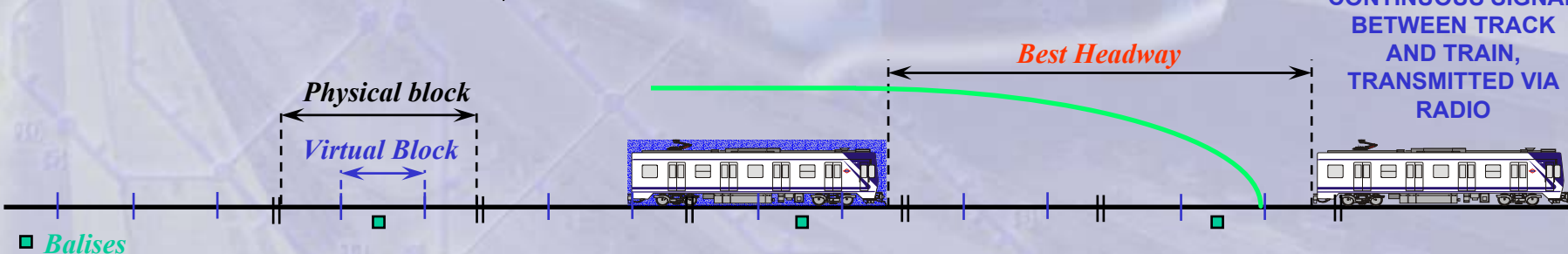
SISTEMA DE CÓDIGOS DE VELOCIDAD



SISTEMA DE DISTANCIA POR RECORRER

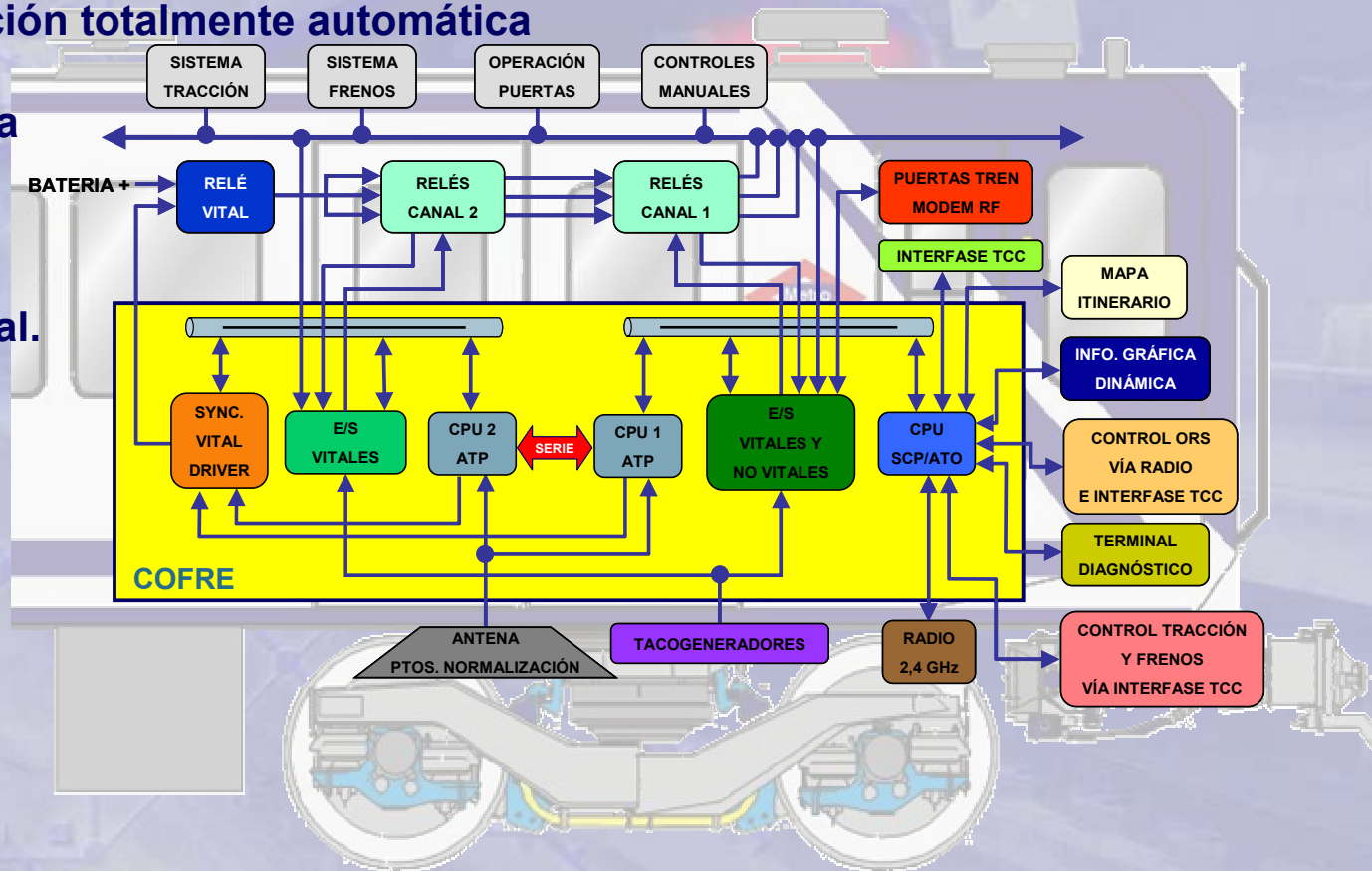


SISTEMA DE CANTÓN MÓVIL, CBTC O MOVIL BLOCKS

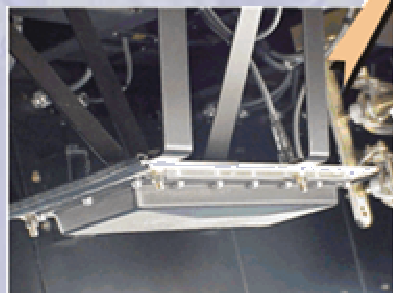
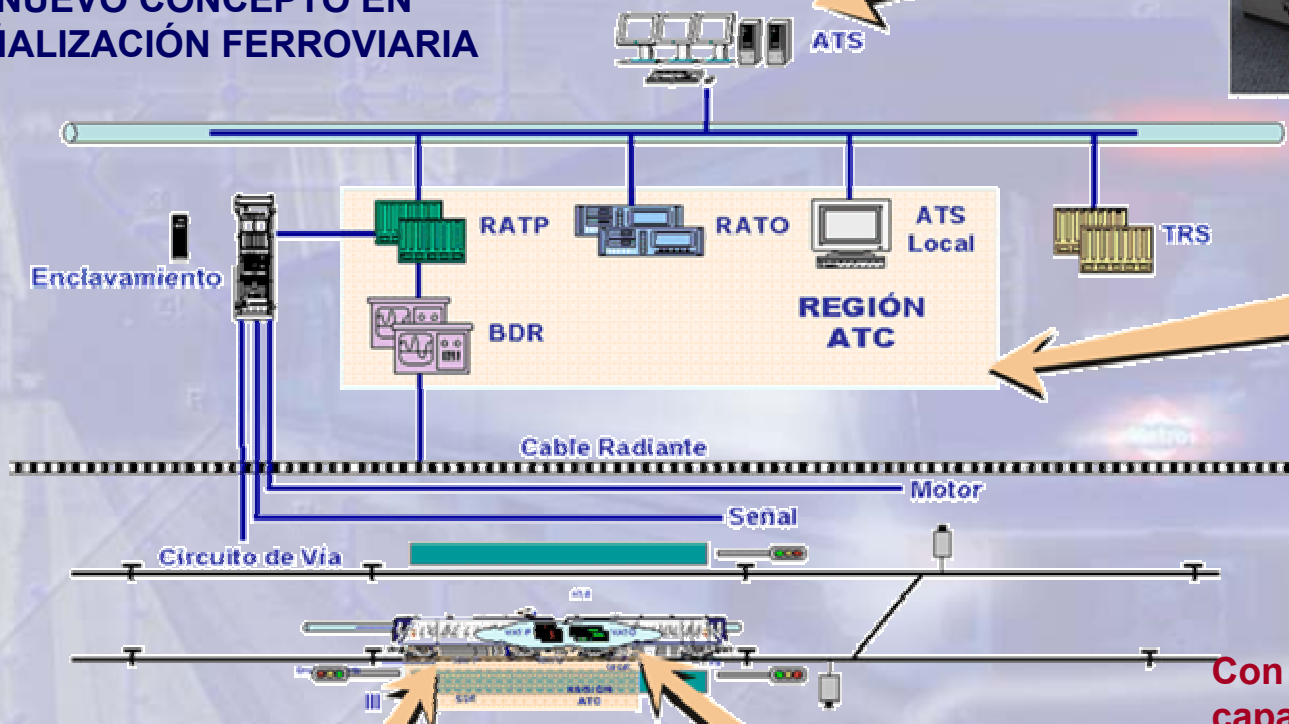


PRESTACIONES DEL SISTEMA DE CANTÓN MÓVIL O CBTC

- Intervalo dinámico de 40 segundos
- Mejora del control y regulación del tráfico
- Aumento de la velocidad comercial
- Incremento de la disponibilidad
- Evolución a conducción totalmente automática
- Automatización de maniobras de entrada y salida de línea y en terminales.
- Control de equipos vía /tren en tiempo real.



UN NUEVO CONCEPTO EN SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA



Con objeto de aumentar la capacidad de transporte en las líneas 1 y 6, así como mejorar el tiempo de recorrido y las funcionalidades, Metro de Madrid ha contratado un nuevo sistema de señalización y ATC de última generación.

Diferentes sistemas de transmisión de señales en CBTC

CARACTERÍSTICAS

- TRANSMISIÓN BIDIRECCIONES DE DATOS, VÍDEO Y COMUNICACIONES
- 2,4 GHZ (posibilidad 5 GHZ)
- EN DOS SOPORTES FÍSICOS :

POR GUÍA DE ONDAS



- SINGAPUR – NEL
- MARINA LINE
- METRO DE LAUSANNE

POR CABLE RADIANTE



- DEMOSTRACIÓN RATP
- METRO DE MADRID (L1 y 6)

Ejemplos de enclavamientos electrónicos: convencionales o de relés, y modernos o electrónicos



Sistemas de ATP de ferrocarriles de medias y largas distancias

- **Sistema ASFA: Mediante balizas conmutables por relés (Español- Dimetronic).**
- **Sistema LZB: Mediante cable radiante con comunicación bidireccional (Alcatel y Siemens)**
- **Sistema CSE : Implantado en la Alta Velocidad francesa**
- **Sistema ERTMS**

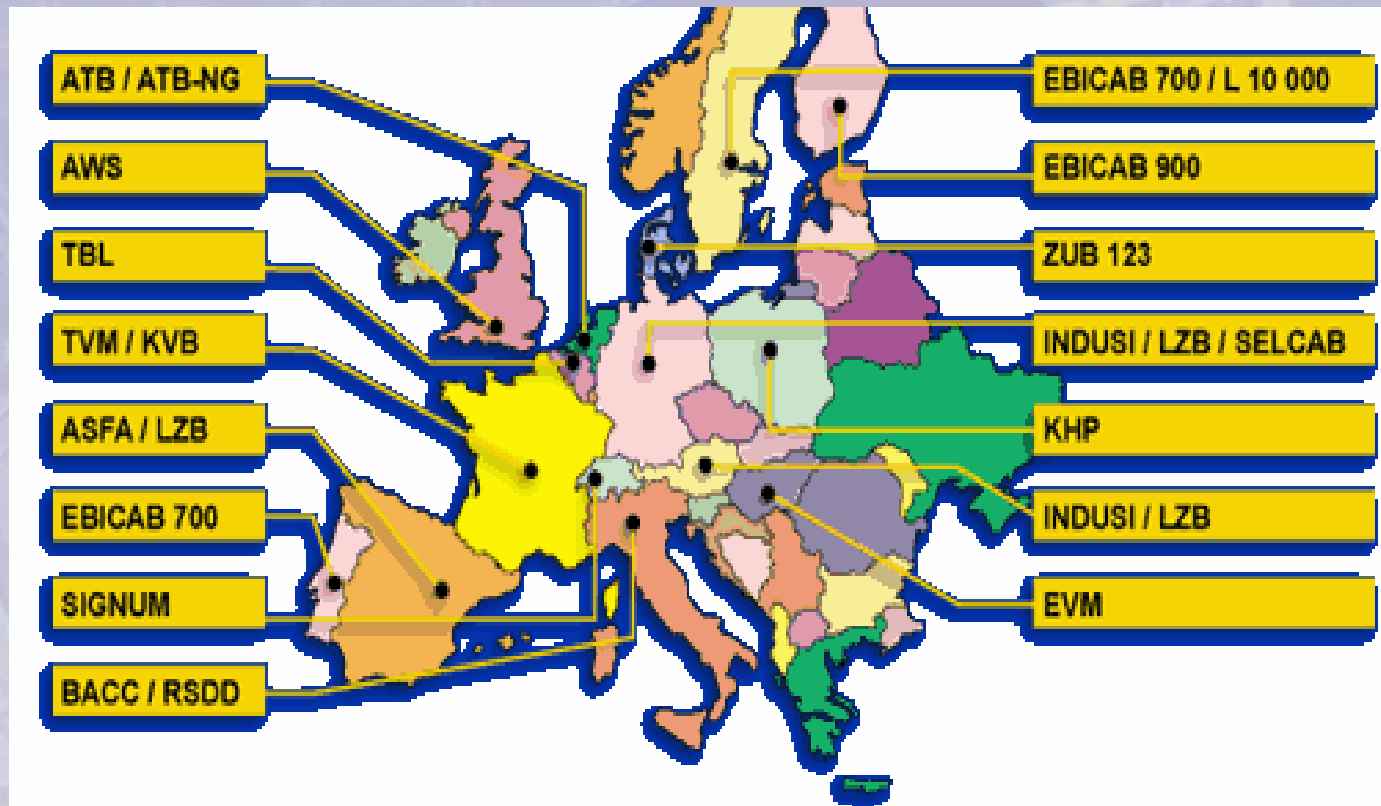
Sistemas de ATP - ASFA

- Utiliza dos tipos de balizas: unas conmutables por relés (3 tipos) y otras fijas (6), situadas entre los carriles y desplazadas a la derecha según el sentido de la marcha.
- Se instalan normalmente dos balizas por señal; una 300 m antes de cada una y otra 5 metros antes.
- Mediante tres relés se posibilita la emisión de 8 señales o códigos al tren.
- El captador se coloca en la locomotora o tren a 166 mm de la antena emisora, y está compuesta por un circuito LC sintonizado a la frecuencia del sistema (entre 60 y 110 KHz. La velocidad máxima de trabajo es de 200 Km / h

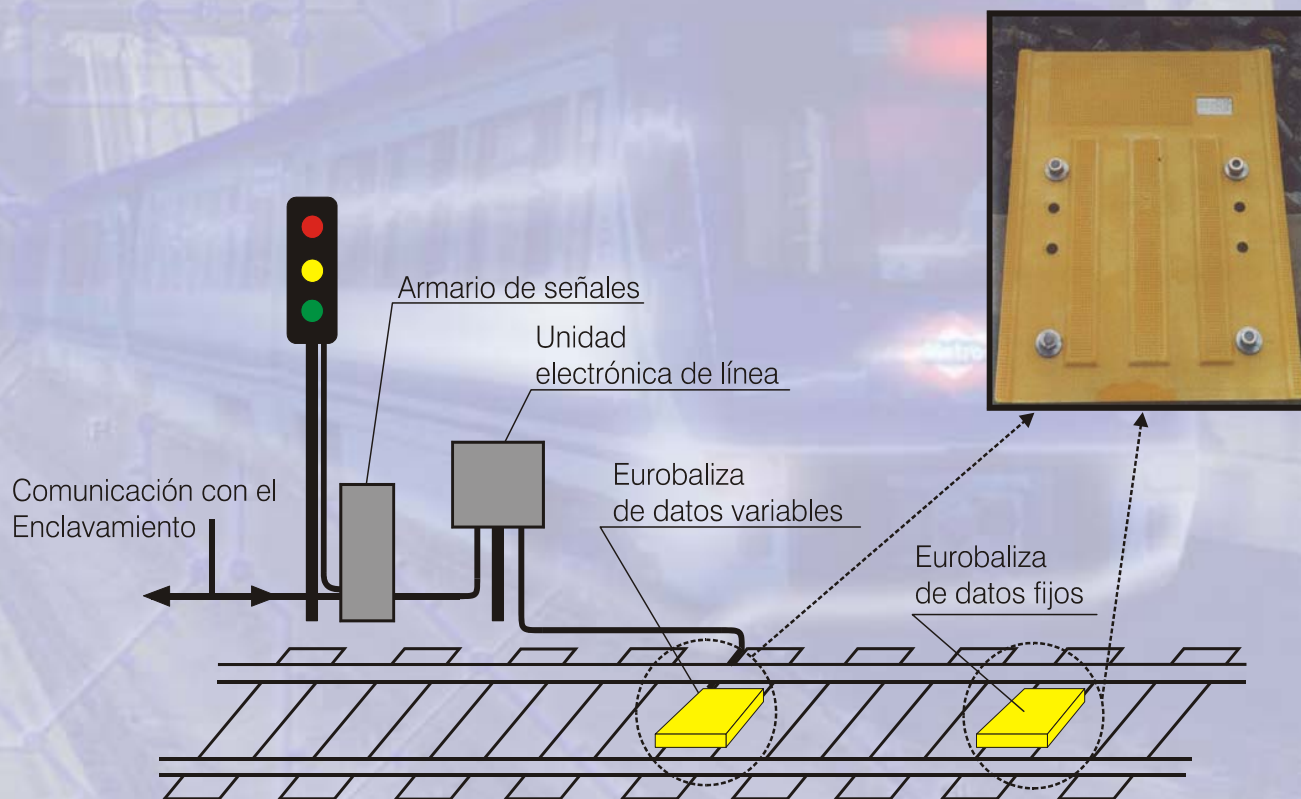
Sistemas de ATP - LZB

- Utiliza un cable continuo tendido entre ambos carriles de cada vía, que permiten una comunicación bidireccional entre el tren y la vía.
- La velocidad máxima de trabajo es de 300 Km / h.
- Utiliza un enclavamiento cada 60 Km aproximadamente, y, para el caso del Madrid Sevilla, permite intervalos mínimos de 15 min.

Situación de los distintos sistemas de señalización en Europa:

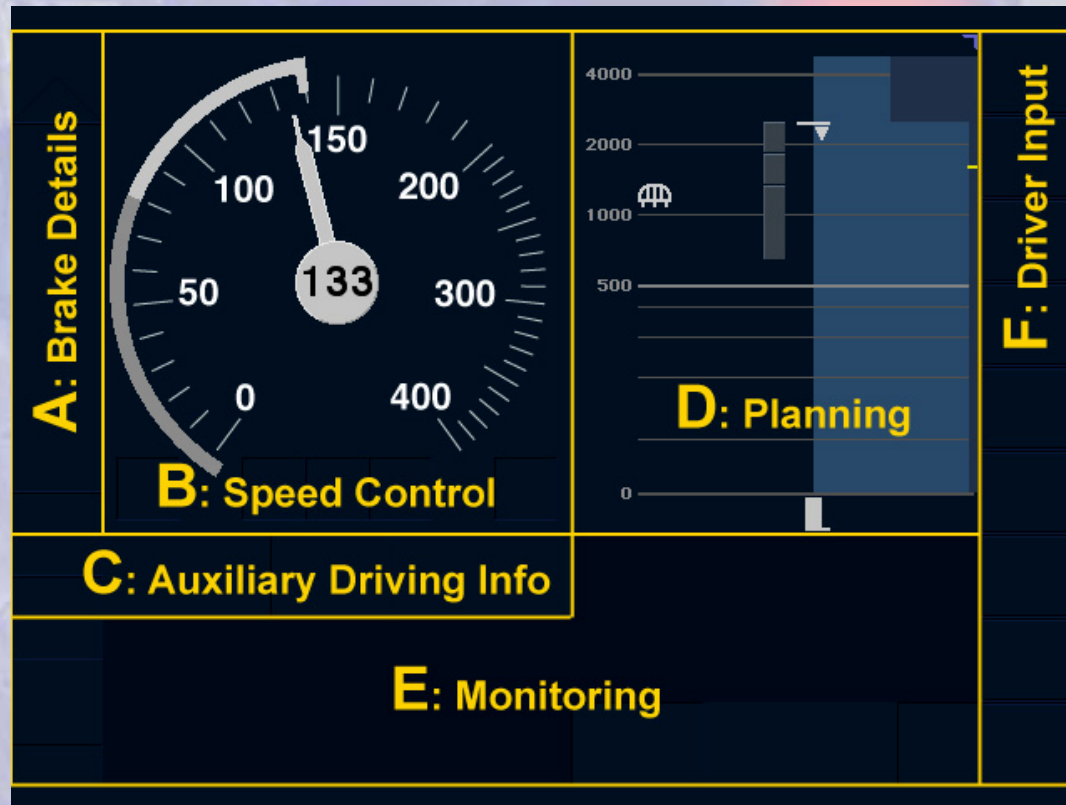


SISTEMA ERTMS : La información básica en ERTMS se envía al tren de forma puntual, mediante balizas, normalizadas en Europa como “eurobalizas”. Hay cuatro niveles: 0, 1, 2 y 3



European Train Control System (ETCS) Nivel 1 (sin A.T.O.)

Interfase MMI del sistema ERTMS



ISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN.

UNDAMENTOS

- Superponible sobre señalización existente.
- Utiliza balizas, opcionalmente lazos, y balizas previas tipo “Infill”
- Mantiene la señalización lateral y circuitos de vía para detección del tren

ERTMS
ETCS Nivel 1



SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN.

FUNDAMENTOS

- Superponible a la señalización existente
- Utiliza radio (GSMR) y balizas fijas
- Las señales laterales pueden suprimirse
- Detección del tren por circuitos de vía

ERTMS
ETCS Nivel 2

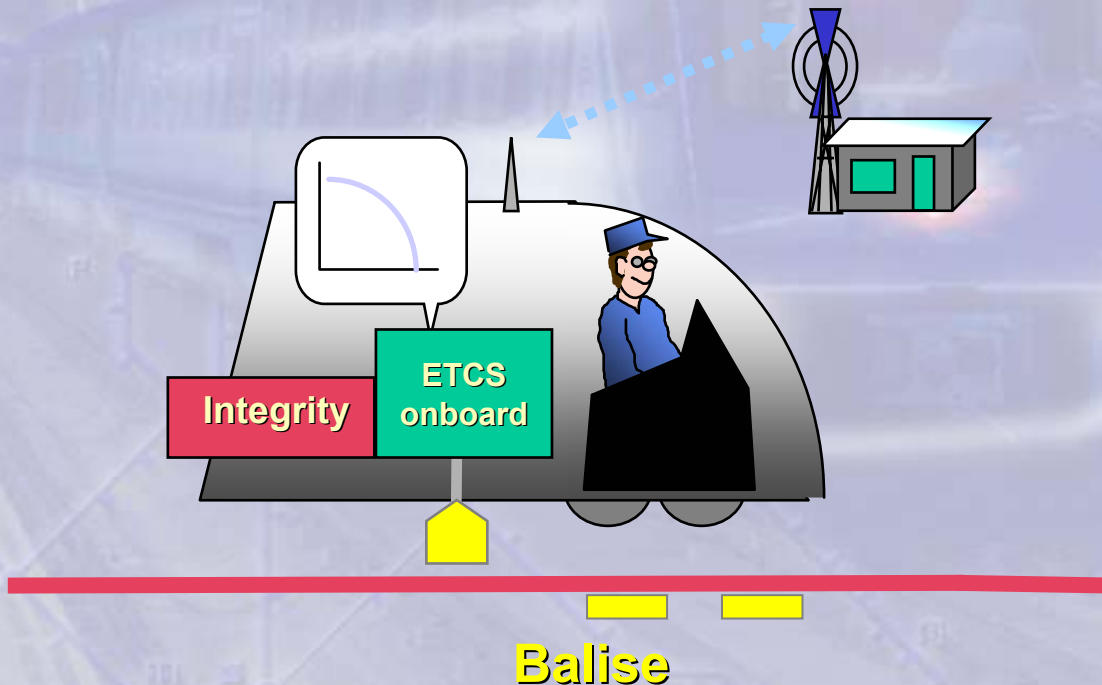


SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN.

FUNDAMENTOS

ERTMS
ETCS level 3

No requiere sistema señalización existente
Utiliza radio (GSMR) y balizas de datos fijos
No necesita circuitos de vía para detección tren



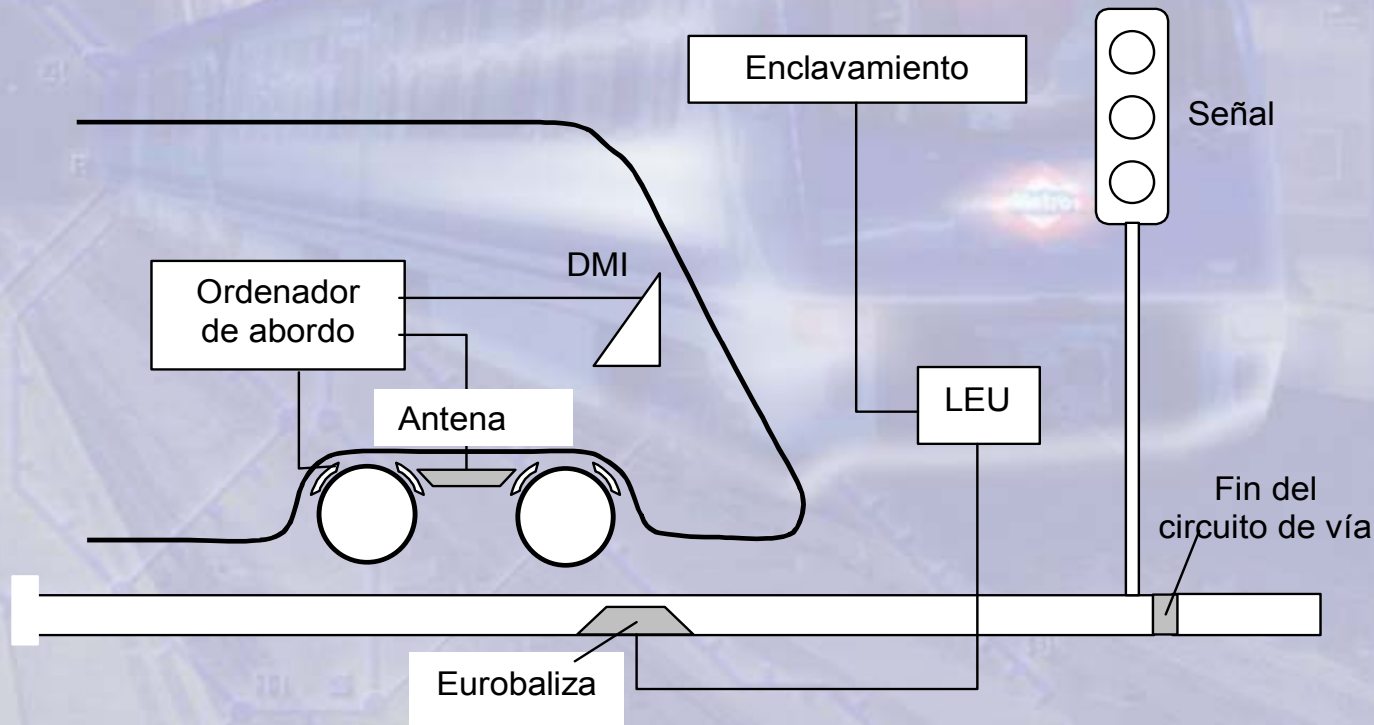
ISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN.

UNDAMENTOS

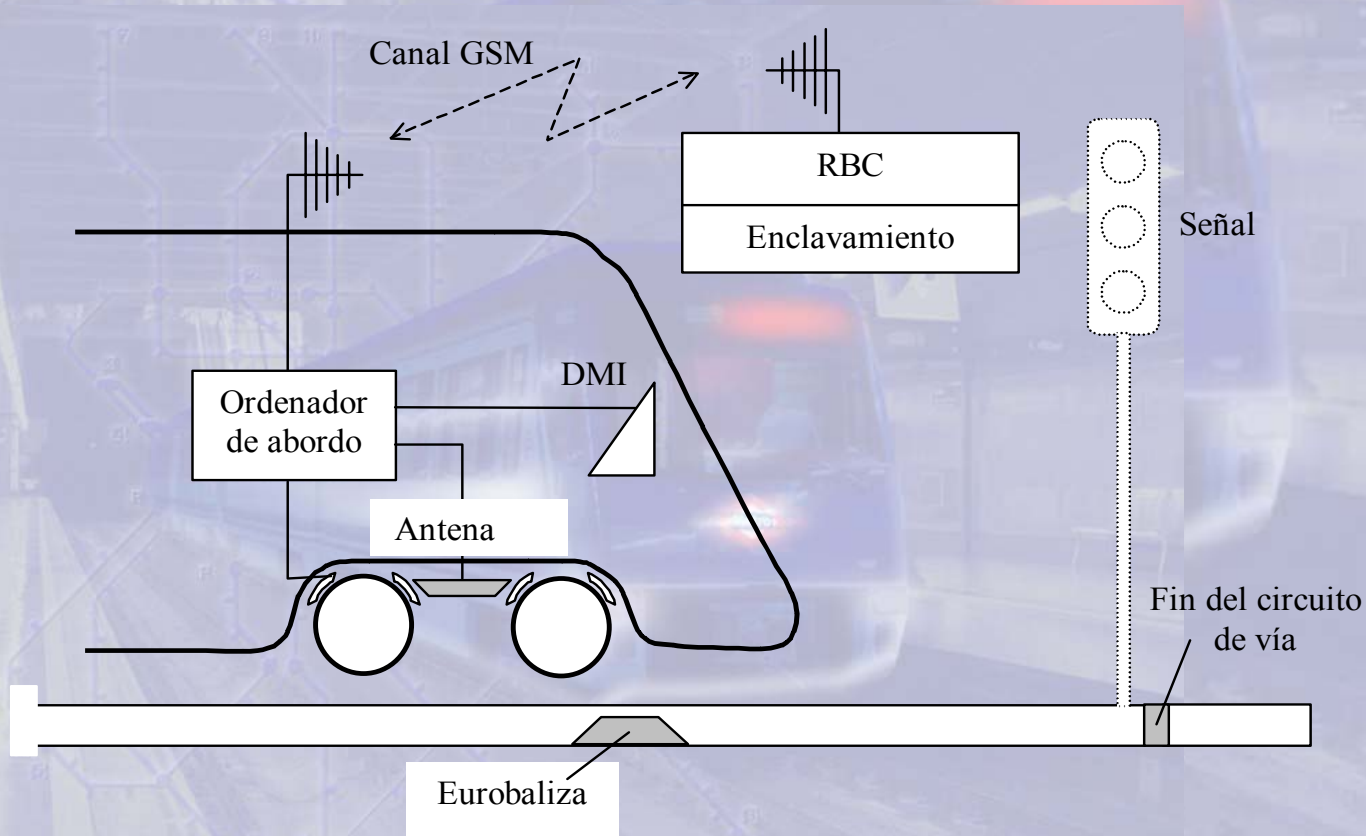
SEÑALIZACIÓN EN CABINA. ERTMS



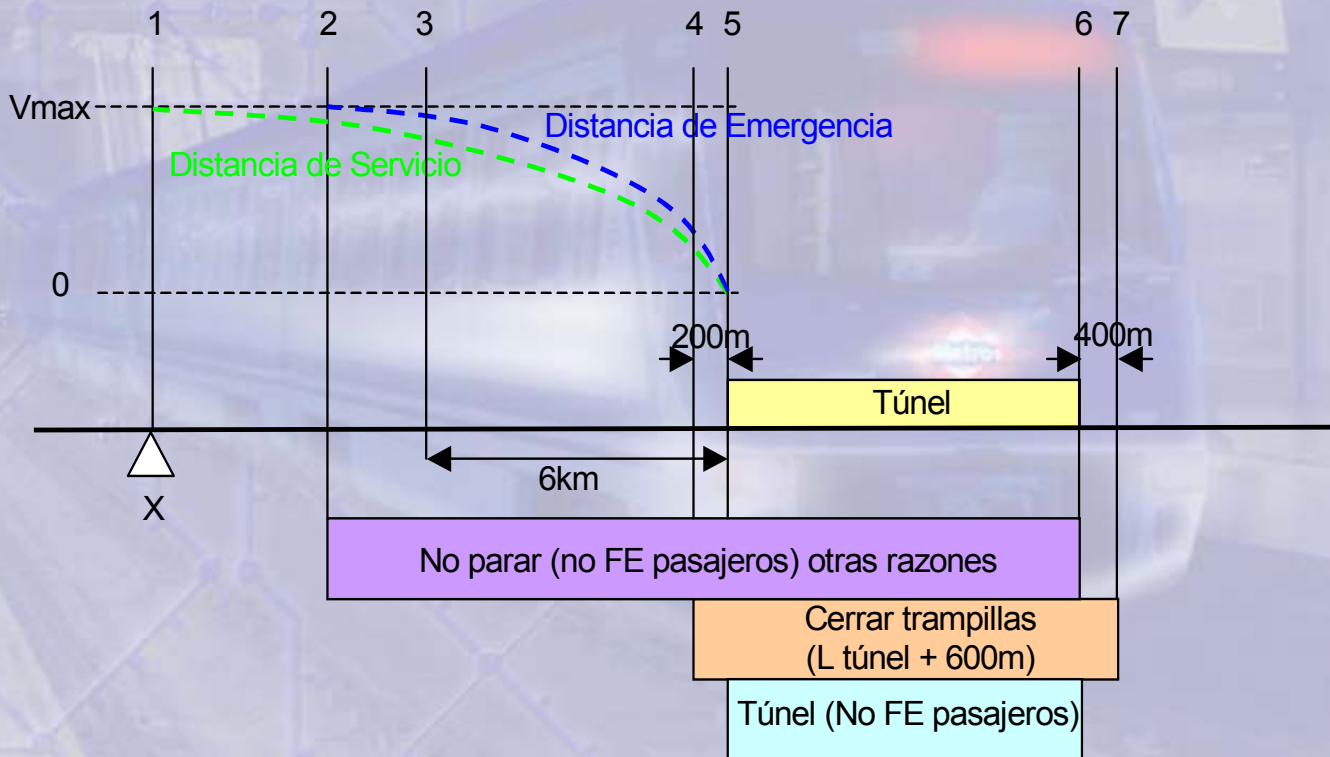
Fundamento del Sistema ERTMS en Nivel 1



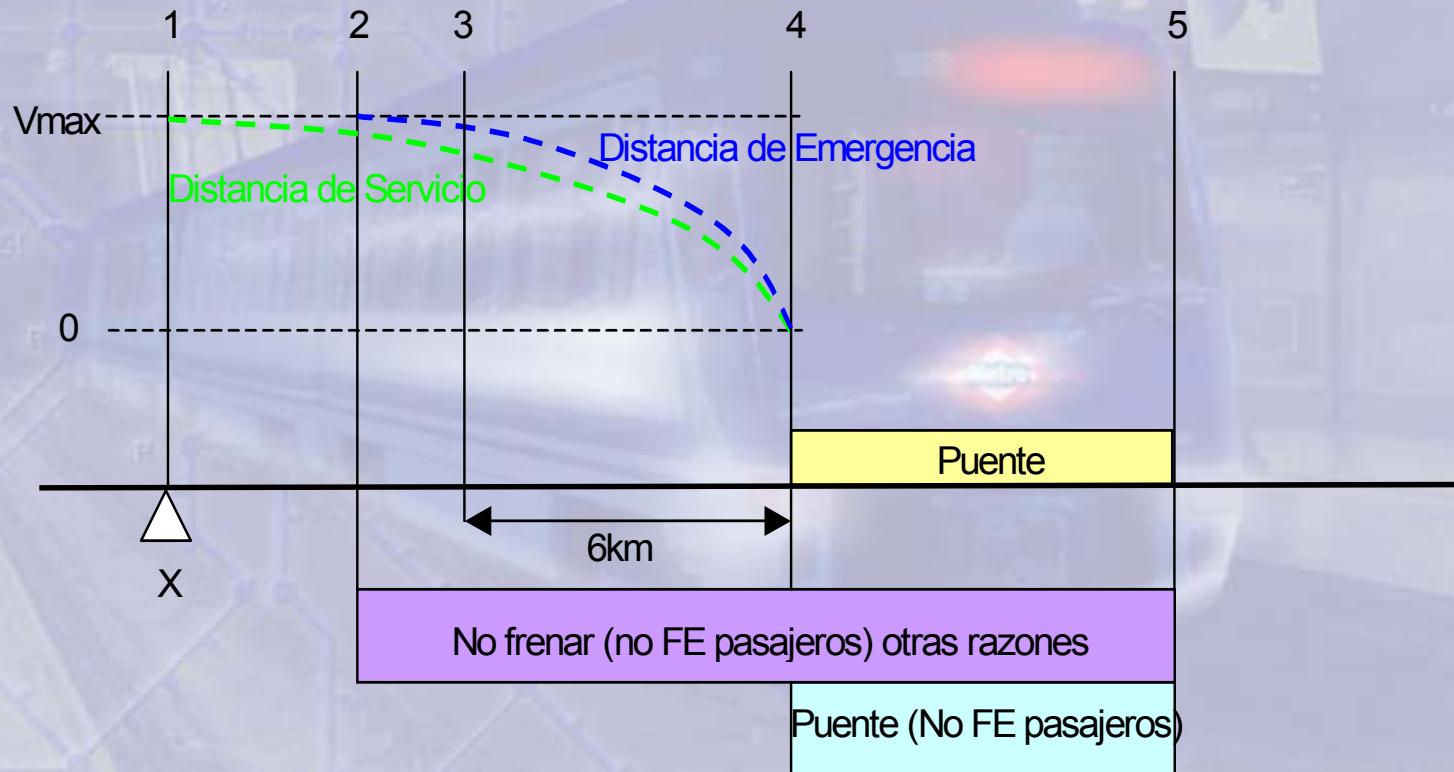
Fundamento del Sistema ERTMS en Nivel 2



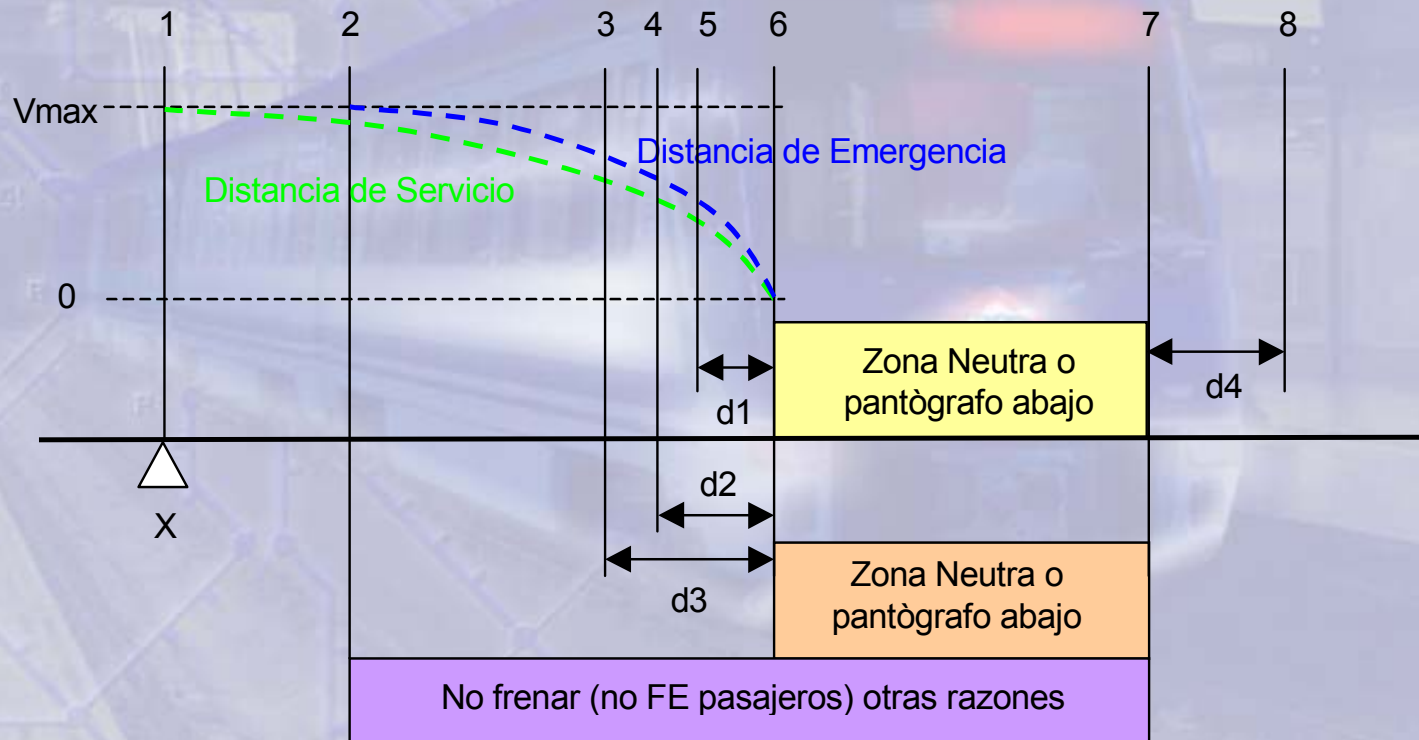
Funcionalidad de ERTMS para túneles



Funcionalidad de ERTMS para puentes



Funcionalidad de ERTMS para zonas neutras de alimentación de catenaria



Sistemas de localización de trenes mediante contadores de ejes





Sistema de A.T.O. (Automatic Train Operation) y de explotación sin conductor (Driver Less)

- **Es preciso recordar que los sistemas ya tratados de ATP se superponen a los de la señalización convencional.**
- **En líneas con ATO, o con conducción plenamente automática, los sistemas de ATP también se superponen y vigilan la actuación de estos sistemas que no son “fail safe”.**

Ventajas e inconvenientes de los sistemas de A.T.O. (Automatic Train Operation) y de explotación sin conductor (Driver Less)

La principal ventaja reside en la ausencia de intervención humana en los procesos de conducción.

De ello se deriva, entre otras consecuencias, una mayor regularidad, una mayor facilidad de regulación y menor necesidad de inversión en número de trenes, para una misma capacidad de transporte (6 a 10 %)

Por el contrario exige una mayor inversión inicial en instalaciones (puertas de andén, redundancias, telecontrol integral, etc.) y, en parte, en trenes.

Hay que vigilar efectos secundarios recientemente descubiertos: desgastes puntuales de catenarias, mayor número de maniobras en contactores, etc.

Sistemas de transmisión en conducción automática

- **Un aspecto básico en estos sistemas es el medio físico y forma de transmitirse la información entre la vía (o campo) y el tren.**
- **Normalmente, al igual que ocurría en ATP, se pueden utilizar balizas puntuales o cables radiantes.**
- **Hasta ahora los cables radiantes y bucles se han instalado siempre en vía, pero el futuro va hacia antenas en las estaciones, o en puntos discretos, o cables radiantes en claves de túneles o postes.**
- **Las frecuencias de trabajo han dependido de los fabricantes hasta ahora, pero últimamente se están normalizando según la Norma IEEE 802.11, en las bandas de 2,4 y 5 MHz.**

Equipos que componen habitualmente un sistema sin conductor o “Driver less”

SOFTWARE CENTRO DE MANDO



GESTIÓN AUTOMÁTICA DE COCHERAS

ATC EQUIPOS EN ESTACIONES



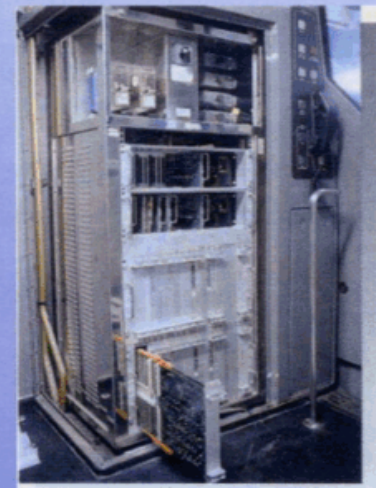
TRANSMISIÓN BIDIRECCIONAL



PUERTAS ANDEN

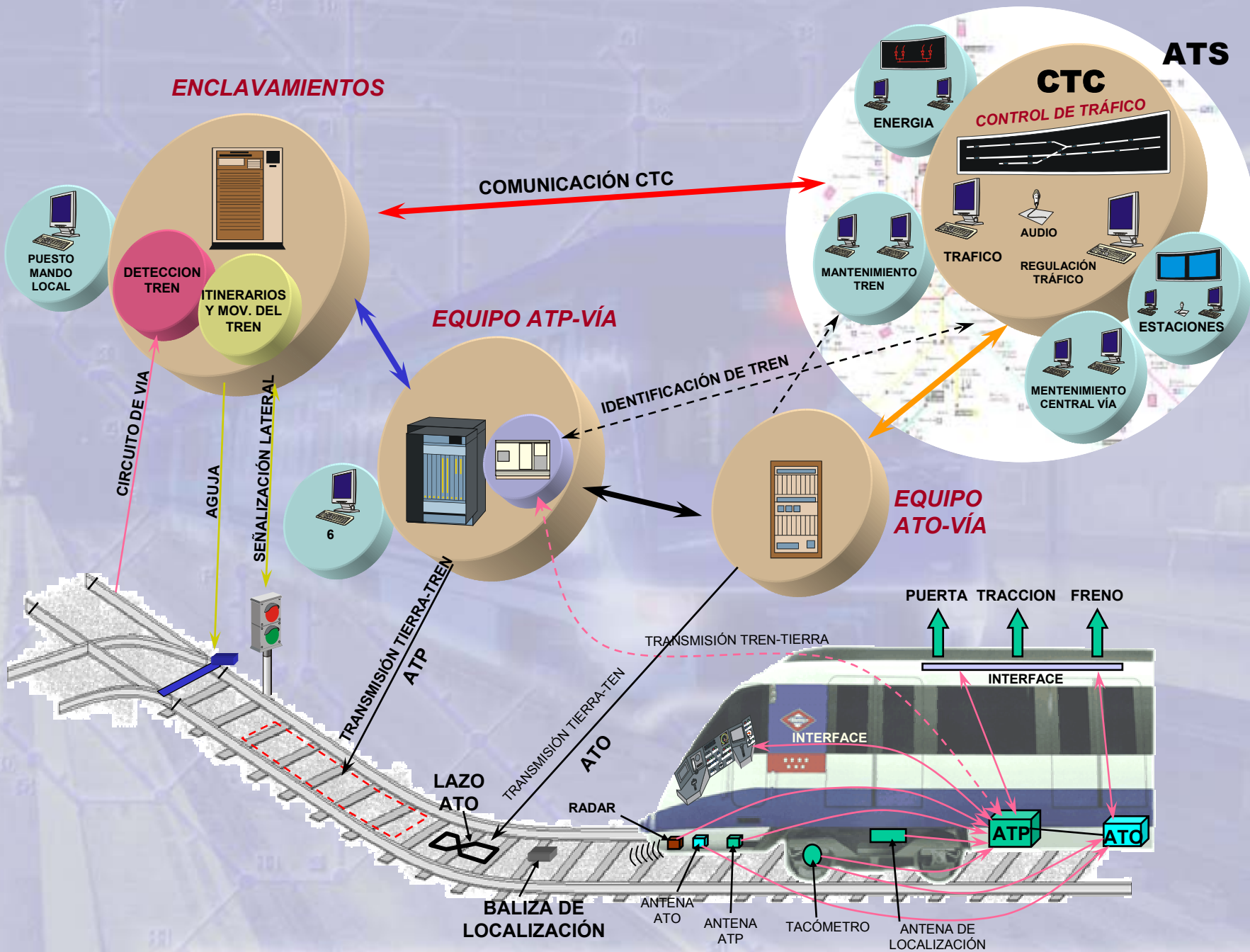


ATC EN TRENES

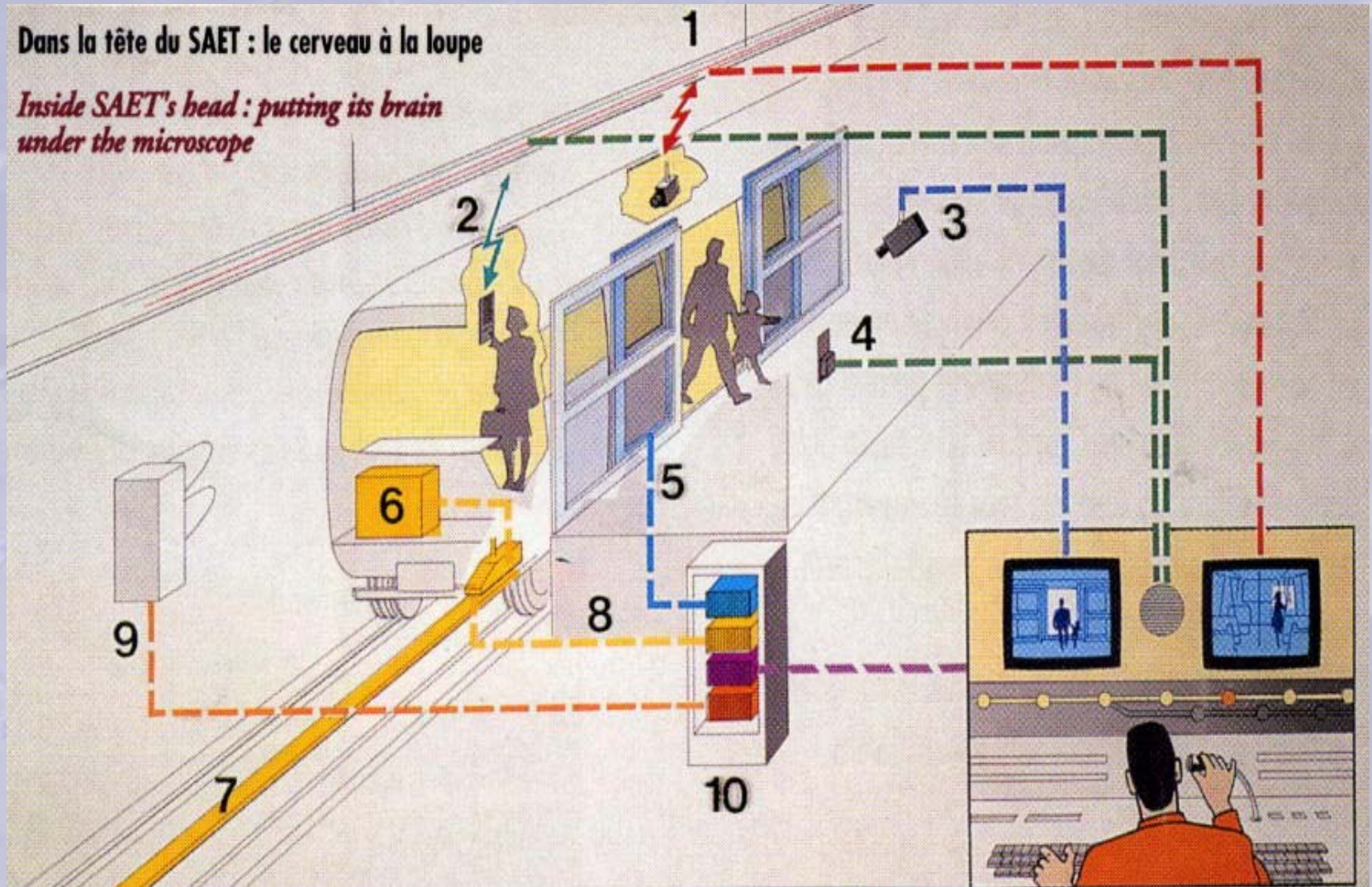


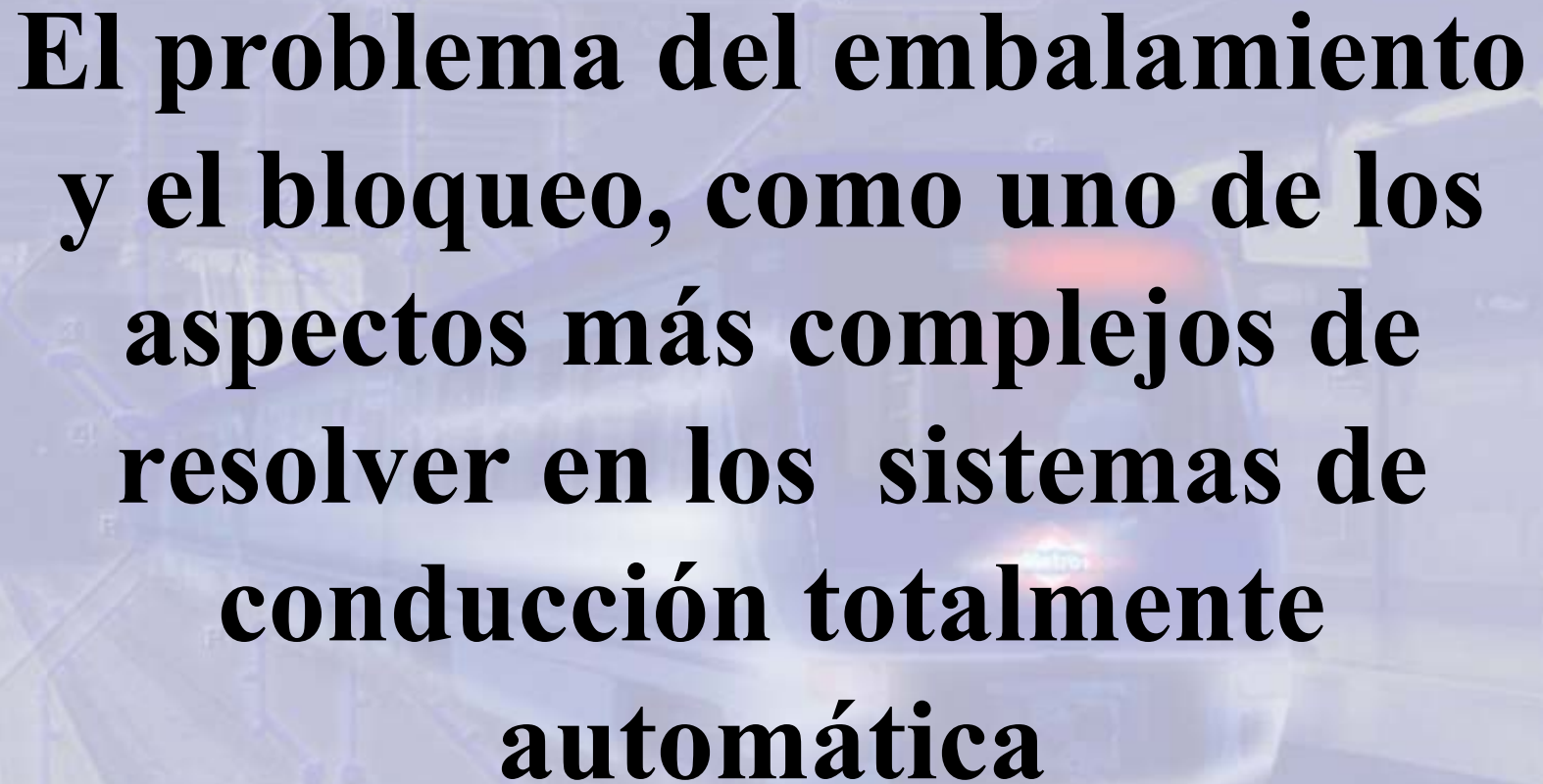
Funcionamiento de cualquier sistema de conducción automática ferroviaria

- 1. El tren lleva una informática embarcada, con memorización de la línea, pero precisa informaciones puntuales para reposicionarse.**
- 2. Siempre se parte de conocer cuál es la distancia desde el punto de arranque o parada al siguiente punto de parada.**
- 3. La distancia recorrida se calcula a bordo en función del número de pulsos recibido de una tacogenerador, y extrapolando a distancia según el diámetro de ruedas.**
- 4. La apertura y cierre de puertas y resto de funciones habituales del conductor se realizan automáticamente, pero siempre con una supervisión desde un Puesto de Control Central**



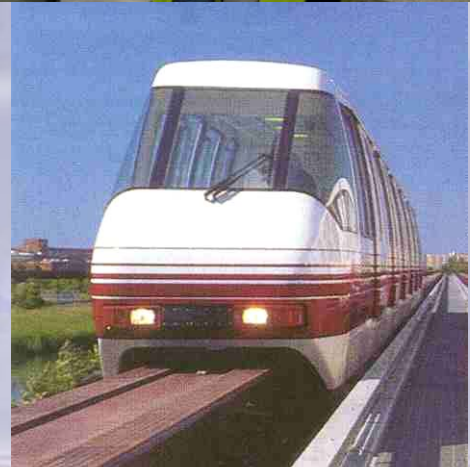
El ejemplo de la línea Metéor de París



The background of the slide features a blurred image of a car, possibly a sports car, driving on a road. Overlaid on this image is a semi-transparent blue grid pattern, resembling a technical drawing or a map. The text is centered and written in a bold, black, serif font.

**El problema del embalamiento
y el bloqueo, como uno de los
aspectos más complejos de
resolver en los sistemas de
conducción totalmente
automática**

Algunas imágenes de sistemas totalmente automáticos



Normalmente todas las Explotaciones que operan sin conductor, equipan en sus trenes pupitres de emergencia para conducción manual





Metro de Madrid

SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS – MADRID 17.03.06

FCO. JAVIER GONZÁLEZ FDEZ