



## MÁSTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS FERROVIARIOS 2017 / 2018

Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h

Autor: Edward José Patiño Botino

Director: Fernando Montes Ponce de León

Madrid, Agosto de 2018

**Autor:** Edward José Patiño Botino

**Director:** Fernando Montes Ponce de León

**Programa:** Máster Universitario en Sistemas Ferroviarios.

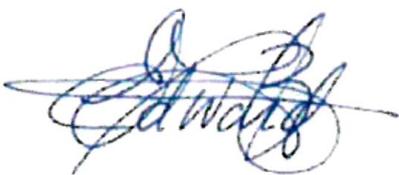
**Título:** Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h.

## RESUMEN

El transporte en ferrocarril forma parte intrínseca de la sociedad actual, la demanda se incrementa con el paso del tiempo, por lo que se debe proveer de sistemas con un elevado nivel de seguridad, este proyecto se ha realizado partiendo de la base de esa característica, evaluando y planteando una alternativa de diseño a líneas ferroviarias, con tramos en vía única, teniendo en cuenta la demanda de la sociedad, pero sin olvidar la eficiencia del sistema en términos económicos, haciendo viable la construcción de futuras infraestructuras de alta velocidad con inversiones inferiores a las actuales, considerando los aspectos de la señalización necesarios para garantizar un transporte ferroviario seguro y eficaz.

En una primera parte, se proponía una línea ferroviaria, con una longitud total de 180 km, cuatro estaciones y tramos en vía doble y única, en el cual se pedía estudiar si era posible operar con una capacidad inicial de 5 trenes / hora a 200 km/h con sistema de señalización convencional (señales laterales y sistema embarcado ASFA), y posteriormente estudiar la posibilidad de operar con una capacidad de 10 trenes / hora a 300 km/h con el sistema ERTMS Nivel 2, en la misma propuesta de línea, ambas considerando los respectivos análisis de riesgos, y junto con el diseño final de la línea incluyendo los equipos necesarios para la operación con ambos sistemas de señalización.

Utilizando los gráficos de malla de trenes, se determinó que la línea propuesta inicial no era acorde con las necesidades de capacidad esperadas, por lo que se elaboró una propuesta de línea, ampliando las zonas de vía doble en detrimento de kilómetros en vía única, para permitir el paso simultáneo de trenes en determinados puntos kilométricos. Posteriormente se diseñó el sistema de señalización de la línea propuesta con los cambios introducidos para lograr la capacidad de transporte especificada, siguiendo los estándares nacionales, permitiendo una operación ferroviaria segura y fiable.



**Autor:** Edward José Patiño Botino



**Director:** Fernando Montes Ponce de León

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	2
INDICE DE FIGURAS.....	5
INDICE DE TABLAS .....	7
ACRÓNIMOS .....	8
DEFINICIONES.....	9
I.- INTRODUCCIÓN.....	11
II.- OBJETIVOS .....	13
2.1.- Objetivos del Trabajo Fin De Máster .....	13
2.2.- Objetivos de la Ampliación del Trabajo Fin De Máster .....	13
III.- PLANIFICACIÓN DE TAREAS .....	14
3.1.- Tareas del Trabajo Fin de Máster .....	14
3.2.- Tareas de la Ampliación del Trabajo Fin de Máster.....	14
IV. - DESARROLLO.....	15
4.1.- Análisis de Línea .....	15
4.1.1.- Capacidad de la línea .....	16
4.1.1.1.- Capacidad: 5 trenes a la hora a 200 km/h .....	17
4.1.1.2.- Capacidad: 10 trenes a la hora a 300 km/h.....	20
4.2.- Análisis Preliminar de Riesgos .....	25
4.2.1.- Ciclo de vida del sistema .....	26
4.2.2.- Riesgo.....	27
4.2.3.- Identificación preliminar de amenazas (PHI) .....	29
4.2.4.- Análisis preliminar de amenazas (PHA) .....	31
4.3.- Diseño de la línea con los sistemas de señalización .....	32
4.3.1.- Diseño inicial de la línea con el sistema de señalización convencional....	33
4.3.1.1.- Señales .....	33
4.3.1.2.- Posición de las señales .....	34
4.3.1.3.- ASFA .....	36
4.3.1.4.- Aparatos de vía .....	37
4.3.1.5.- Detección de trenes mediante circuitos de vías .....	39
4.3.1.6.- Bloqueo.....	41
4.3.1.6.1.- Bloqueo automático en vía única (BAU).....	41
4.3.1.6.2.- Bloqueo automático en vía doble (BAD).....	42
4.3.1.6.3.- Bloqueo automático banalizado (BAB) .....	43
4.3.1.7.- Enclavamiento.....	44

4.3.1.7.1.- Enclavamiento Principal E1 .....	47
4.3.1.7.2.- Enclavamiento Auxiliar E2.....	48
4.3.1.7.3.- Enclavamiento Principal E3.....	50
4.3.1.7.4.- Enclavamiento Principal E4.....	52
4.3.1.7.5.- Enclavamiento Auxiliar °6.....	55
4.3.1.7.6.- Enclavamiento Principal °9 .....	56
4.3.1.8.- Control de Tráfico Centralizado.....	58
4.3.2.- Diseño de la línea incluyendo el sistema ERTMS Nivel 2.....	59
4.3.2.1.- ETCS / ERTMS.....	59
4.3.2.2.- Señales en ERTMS.....	60
4.3.2.3.- Niveles de Operación.....	61
4.3.2.4.- Transición entre niveles .....	66
4.3.2.5.- Modos técnicos de ERTMS .....	67
4.3.2.6.- Arquitectura del sistema .....	71
4.3.2.7.- Arquitectura para ERTMS Nivel 2 .....	73
4.3.2.7.1.- Radio Block Center (RBC) .....	74
4.3.2.7.2. – Puesto Central de Interfaces ERTMS (PCI-E) .....	76
4.3.2.7.3.- Puesto Central de Interfaces del RBC (PCI-R) .....	76
4.3.2.7.4.- Puesto Central ERTMS (PCE) .....	76
4.3.2.7.5.- Balizas ERTMS.....	77
4.3.2.8.- Diseño final de línea .....	78
V.- CONCLUSIONES Y APORTACIONES .....	79
BIBLIOGRAFÍA .....	81
ANEXOS.....	82

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Redes de alta velocidad en España [www.adif.es].....	11
Figura 2 - Línea ferroviaria .....	15
Figura 3 - Malla de 5 trenes / hora por sentido circulando a 200 km/h.....	19
Figura 4 - Malla de 10 trenes / hora por sentido circulando a 300 km/h.....	21
Figura 5 - Tiempo de recorrido del tren a 300 km/h.....	22
Figura 6 - Tiempo de recorrido del tren a 200 km/h.....	23
Figura 7 – Modificación de línea ferroviaria.....	24
Figura 8 – Interrelación de los elementos de las RAMS ferroviaria.....	25
Figura 9 - Ciclo de vida del sistema [8] .....	27
Figura 10 – Funcionalidad de las señales [2].....	34
Figura 11 - Esquema de instalación de balizas en ASFA. ....	37
Figura 12 – Partes de una aguja [7].....	38
Figura 13 – CV con alimentación lateral y central en las zonas de terminación en “S” [6].....	40
Figura 14 – Bloqueo automático en vía única [9].....	42
Figura 15 – Bloqueo automático en vía doble [9].....	42
Figura 16 – Bloqueo automático banalizado [9].....	43
Figura 17 – Señales de bloqueo entre estaciones.....	44
Figura 18 – Zonas de enclavamientos y bloqueo en una línea [6].....	45
Figura 19 – Fases del movimiento en estaciones.....	45
Figura 20 – Zonas de enclavamientos.....	46
Figura 21 – Diseño del enclavamiento E1.....	47
Figura 22 – Diseño del enclavamiento E2.....	49
Figura 23 – Diseño del enclavamiento E3.....	50
Figura 24 – Diseño del enclavamiento E4.....	53
Figura 25 – Diseño del enclavamiento E6.....	55
Figura 26 – Diseño del enclavamiento E9.....	56
Figura 27 – Aspectos de señales en ERTMS.....	60
Figura 28 – Nivel 0 de ERTMS [10].....	62
Figura 29 – Nivel 1 de ERTMS [10].....	63
Figura 30 - Nivel 2 de ERTMS [10] .....	64
Figura 31 - Nivel 3 de ERTMS [10] .....	65
Figura 32 - Nivel 3 de ERTMS [10] .....	66
Figura 33 – Arquitectura del sistema ERTMS [6].....	73
Figura 34 – Arquitectura de ERTMS Nivel 2 [10]. ....	73

Figura 35 – Ubicación y área de influencia de cada RBC.....	74
Figura 36 – Ubicación de equipos en vía Nivel 2 de ERTMS [www.auxitec.es].....	75
Figura 37 – Arquitectura del sistema en la Estación A.....	77

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Puntos kilométricos de las zonas claves .....	16
Tabla 2 – Simultaneidad de trenes .....	17
Tabla 3 – Puntos de simultaneidad de trenes con las modificaciones .....	24
Tabla 4 – Frecuencia de ocurrencia de amenazas [8].....	28
Tabla 5 – Nivel de gravedad del peligro [8].....	28
Tabla 6 – Evaluación y aceptación del riesgo [8] .....	29
Tabla 7 – Categorías cualitativas de riesgos [8] .....	29
Tabla 8 – Velocidad máximas por desvíos y sus longitudes [7].....	39
Tabla 9 – Posición de los aparatos y señales de vía en E1 .....	48
Tabla 10 – Cuadro de movimientos de E1 .....	48
Tabla 11 – Cuadro de incompatibilidades de E1 .....	48
Tabla 12 – Posición de los aparatos y señales de vía de E2 .....	49
Tabla 13 – Cuadro de movimientos de E2 .....	49
Tabla 14 – Cuadro de incompatibilidades de E2 .....	49
Tabla 15 – Cuadro de movimientos de E3 .....	51
Tabla 16 – Posición de los aparatos y señales de vía de E3 .....	52
Tabla 17 - Cuadro de incompatibilidades de E3.....	52
Tabla 18 – Posición de los aparatos y señales de vía de E4 .....	53
Tabla 19 – Cuadro de movimientos de E4 .....	54
Tabla 20 - Cuadro de incompatibilidades de E4.....	55
Tabla 21 – Posición de los aparatos y señales de vía de E6 .....	55
Tabla 22 – Cuadro de movimientos de E6 .....	56
Tabla 23 – Cuadro de incompatibilidades de E6 .....	56
Tabla 24 – Posición de los aparatos y señales de vía de E9 .....	57
Tabla 25 – Cuadro de movimientos de E9 .....	57
Tabla 26 – Cuadro de incompatibilidades de E9 .....	57

## ACRÓNIMOS

**ASFA:** Anuncio de Señales y Frenado Automático.

**BA:** Bloqueo Automático.

**BAB:** Bloqueo Automático de vía Banalizada.

**BAD:** Bloqueo Automático de vía Doble.

**BAU:** Bloqueo Automático de vía Única.

**BCA:** Bloqueo de Control Automático.

**BLA:** Bloqueo de Liberación Automática.

**BLAB:** Bloqueo de Liberación Automática de vía Banalizada.

**BTM:** Balise Transmission Module

**BTN:** Bloqueo Telefónico Normal.

**BTV:** Banalización Temporal de Vía.

**CENELEC:** European Committee for Electrotechnical Standardisation

**CTC:** Control de Tráfico Centralizado.

**CV:** Circuito de Vía.

**DMI:** Driver Machine Interface.

**EOA:** End of Authority.

**ERTMS:** European Rail Traffic Management System (Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario).

**ETCS:** European Train Control System.

**EVC:** European Vital Computer.

**FFFIS:** Form Fit Functional Interface Specification.

**GSM-R:** Global System for Mobile Communication – Railway.

**I/L:** Enclavamiento.

**JRU:** Juridic Register Unit.

**LEU:** Lineside Electronic Unit.

**MA:** Movement Authority

**PB:** Puesto de Bloqueo.

**PK:** Punto Kilométrico.

**PN:** Paso a Nivel.

**RAMS:** Reliability, Availability, Maintainability and Safety

**RBC:** Radio Block Center.

**SIL:** Safety Integrity Level

**SRACs:** Safety Related Application Conditions.

**STM:** Specific Transmission Module.

**UNISIG:** Union Industry of Signalling.

## DEFINICIONES

**Bloqueo:** Sistema o proceso cuyo objetivo es garantizar que los trenes que circulen por la misma vía y en el mismo sentido, lo hagan separados a una distancia que impida su alcance, y que cuando un tren circule por una vía, no circule otro en sentido contrario por la misma vía.

**Control de Tráfico Centralizado (CTC):** Sistema que permite realizar desde un puesto central, la supervisión, el control y accionamiento remoto de las instalaciones de un conjunto de estaciones y trayectos, ordenando los movimientos y coordinando la circulación de los trenes y maniobras.

**Disponibilidad:** Capacidad que tiene un producto de hallarse en situación de realizar una función requerida en condiciones determinadas en un momento dado o durante un intervalo de tiempo señalado, suponiendo que se faciliten los recursos externos requeridos.

**Enclavamiento:** Sistema que permite establecer itinerarios seguros para la circulación de los trenes en el ámbito de estaciones, estableciendo una relación de dependencia entre las posiciones de los distintos aparatos de vía, las semibarreras de PN (en su caso) y las órdenes que transmiten las señales.

**Estación:** Infraestructura ferroviaria consistente en una instalación de vías y sus aparatos asociados, protegida por señales, y que tiene por objeto coordinar los procesos de la circulación.

**Fiabilidad:** Es la probabilidad de que un elemento pueda realizar una función requerida en condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo determinado ( $t_1$ ,  $t_2$ ).

**Hazard Log:** Es el documento donde se registran o referencian todas las actividades de gestión de la seguridad, amenazas identificadas, decisiones tomadas y soluciones adoptadas.

**Intercambiabilidad:** Es la capacidad de cambiar entre sí componentes de ERTMS realizados por distintos fabricantes.

**Interoperabilidad:** Es la capacidad de dos o más sistemas de diferente origen para operar dentro de unos límites definidos.

**Mantenibilidad:** Es la probabilidad de que una acción dada de mantenimiento activo, correspondiente a un elemento en unas condiciones de utilización dadas, pueda ser llevada a cabo en un intervalo establecido de tiempo cuando el mantenimiento se realiza en condiciones establecidas, utilizando procedimientos y recursos establecidos.

**Safety Case:** Es la demostración documentada de que un producto, subsistema o sistema cumple los requisitos de seguridad especificados.

**Seguridad:** Ausencia de un nivel de riesgo de daño inaceptable.

**Tren Shunt:** Valor de la resistencia eléctrica de la derivación creada entre los dos hilos del carril de un circuito de vía, por los ejes de un tren.

## I.- INTRODUCCIÓN

El transporte representa un sector económico clave en la presente era global, existe la necesidad de conectar lugares cada vez más alejados entre sí en el menor tiempo posible, el ferrocarril se erige como uno de los medios de transporte más importantes para atender el continuo aumento de la demanda de transporte, lo que lleva consigo construir más infraestructura ferroviaria.

Actualmente, la red española de alta velocidad tiene una extensión de 3.240 km, incluye todas las líneas de alta velocidad de nueva construcción, que son la mayoría, y algunos tramos de la red convencional que se han adaptado para circular a más de 200 km/h siguiendo los criterios fijados por la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC). Por lo que, España se situó como el primer país de Europa y segundo del mundo, tras China, en número de kilómetros de altas prestaciones en explotación.



Figura 1 - Redes de alta velocidad en España [www.adif.es]

España supera a los otros países de Europa, en cuanto a la densidad de red por habitante, 1.5 veces más que Francia y 3 veces más que Alemania e Italia, sin embargo, no ocurre lo mismo en el número de viajeros transportados por km de red de AV, debido principalmente a la gran distancia existente entre ciudades con núcleos importantes de población, lo que supone características específicas diferenciadas a la hora de establecer los requisitos de diseño.

Se debe tener en cuenta que las ciudades más grandes de España (sobre todo Madrid) tienen una amplia oferta de servicios, confluendo varios ejes, esto debido a la estructura radial de la red, uniéndose ciudades separadas por una gran distancia. Esta característica implica requerimientos específicos de diseño que reduzcan costes proporcionando prestaciones atractivas al viajero, y que justifiquen este estudio de fin de Máster.

El proyecto plantea el estudio de un esquema de diseño de línea ferroviaria con combinaciones entre vía única y doble, con el objetivo de reducir los costes de construcción y al mismo tiempo proporcionar una oferta atractiva al viajero, comprobando si es posible cumplir con la demanda establecida en la propuesta inicial, o si por el contrario, se deben ejecutar modificaciones, agregando posteriormente los sistemas de señalización necesarios para cumplir con la seguridad ferroviaria y la capacidad de transporte deseada.

## **II.- OBJETIVOS**

### **2.1.- Objetivos del Trabajo Fin De Máster**

- Analizar el tráfico de la línea ferroviaria para permitir la circulación de 5 trenes/hora, teniendo en cuenta los requisitos de seguridad funcionales y de los elementos que se consideren necesarios.
- Especificar los puntos de cruzamiento y el sistema de señalización para el tráfico definido.
- Identificar los riesgos generales de los equipos de señalización a instalar en la vía.
- Diseñar la línea con sus elementos de señalización.

### **2.2.- Objetivos de la Ampliación del Trabajo Fin De Máster**

- Analizar el tráfico de la línea ferroviaria para permitir la circulación de 10 trenes/hora, teniendo en cuenta los requisitos de seguridad funcionales y de los elementos que se consideren necesarios.
- Incorporar al diseño inicial el equipamiento necesario del sistema ERTMS que permita una circulación de los trenes a 300 km/h para conseguir una mayor capacidad de transporte de 10 trenes a la hora en la línea ferroviaria.

### **III.- PLANIFICACIÓN DE TAREAS**

#### **3.1.- Tareas del Trabajo Fin de Máster**

1. Selección y análisis de la línea.
2. Programa de tráfico y explotación.
3. Análisis preliminar de riesgo.
4. Especificación de los puntos de cruzamiento de los trenes.
5. Especificación de los elementos de señalización.
6. Especificación de los enclavamientos.
7. Especificación de los bloqueos.
8. Diseño inicial de la línea.

#### **3.2.- Tareas de la Ampliación del Trabajo Fin de Máster**

1. Análisis de tráfico para 10 trenes a la hora con sistema ERTMS.
2. Especificaciones de los puntos de cruzamientos.
3. Especificación de los elementos de señalización.
4. Ubicación de los elementos del ERTMS.
5. Código de señales para permitir el tráfico mixto entre trenes de ERTMS y ASFA.
6. Diseño final de la línea.

## IV. - DESARROLLO

### 4.1.- Análisis de Línea

Una de las tareas a desarrollar en este proyecto es el análisis de la línea desde el punto de vista de la capacidad de transporte que se espera con la idoneidad de la disposición de los trayectos propuestos en vía única y en vía doble. Para ello se ha realizado un estudio de las mallas posibles correspondientes a las capacidades pedidas y como consecuencia una propuesta de la nueva disposición de los trayectos en vía doble y en vía única que permita la capacidad especificada.

Se tiene una propuesta inicial de línea ferroviaria, la cual está compuesta por las estaciones terminales (A-D) e intermedias (B-C), las zonas de vía única y zonas de vía dobles, donde se espera lograr una capacidad determinada.

La línea ferroviaria objeto de estudio es la que se muestra en la figura 2, esta línea posee una longitud total de 180 km desde la estación A ubicada en el PK 0 hasta la estación D ubicada en PK 180.

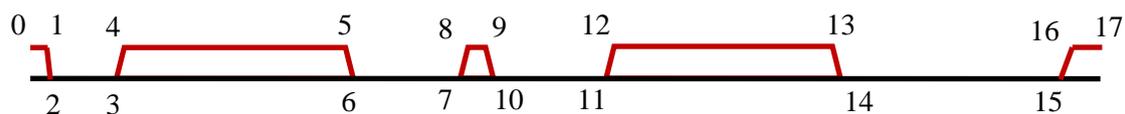


Figura 2 - Línea ferroviaria

De acuerdo con las especificaciones del estudio, por esta línea ferroviaria con ancho de vía 1435 mm circularán trenes a velocidad máxima de 200 km/h dotada con señalización convencional (señalización lateral luminosa, complementados con sistemas de protección de tipo puntual, en este caso, ASFA).

Posteriormente, y de acuerdo con una esperada mayor demanda de viajeros, circularán trenes con velocidad máxima de 300 km/h con señalización lateral disponiendo además de Sistemas de Protección de Tren de última generación (ERTMS Nivel 2). No se considera en este proyecto ningún tipo específico de tren, utilizándose parámetros estándar en aquellos casos que se requieran.

En la Tabla 1 se indican los puntos kilométricos de los pasos de vía única a doble y viceversa.



Número	PK	Número	PK
0	0	9	75,8
1	1,2	10	76
2	1,6	11	95
3	15	12	95,4
4	15,4	13	134,6
5	54,8	14	135
6	55	15	177,6
7	74	16	178
8	74,2	17	180

Tabla 1 – Puntos kilométricos de las zonas claves

#### 4.1.1.- Capacidad de la línea

La capacidad de una línea ferroviaria se define como el número de trenes que puede circular por una determinada línea en un intervalo de tiempo dado, y de acuerdo con un sistema de explotación específico.

En este proyecto se ha pedido estudiar, con la infraestructura anteriormente descrita, si se puede lograr una capacidad de 5 trenes por hora por sentido circulando a 200 km/h y una capacidad de 10 trenes por hora por sentido circulando a 300 km/h.

Para analizar si es factible lograr esta capacidad en la línea propuesta, se ha utilizado el método de construcción de malla, en el cual se representa un gráfico de marcha simplificado, tal y como se utiliza en el día a día en la operación y diseño de los servicios de la línea, utilizándose como herramienta de planificación del transporte para un periodo de tiempo.

En esta primera fase del estudio se ha considerado un movimiento lineal del tren, considerando a este como un punto que se mueve en la línea, con el objetivo de establecer los posibles programas de funcionamiento inicial (programa de explotación), verificar la capacidad real posible, y las modificaciones que se deben proponer del trazado inicial.

## Ecuación del movimiento rectilíneo uniforme

$$X = X_0 + v * t$$

Donde:

- $X, X_0$ : La posición del cuerpo en un instante dado ( $X$ ) y en el instante inicial  $X_0$ . Su unidad en el Sistema Internacional (S.I.) es el metro (m).
- $v, v_0$ : La velocidad del cuerpo en un instante dado ( $v$ ) y en el instante inicial ( $v_0$ ). Su unidad en el Sistema Internacional (S.I.) es el metro por segundo (m/s).
- $t$ : El tiempo en el cual se traslada el cuerpo desde una posición inicial  $X_0$  a una posición final  $X$ . Su unidad en el Sistema Internacional (S.I.) es el segundo (s).

La “malla” o “gráfico de circulación de trenes” constituyen una representación espacio – tiempo de la programación o circulación de trenes. En el eje de abscisas se representa el tiempo y en el eje de ordenadas los puntos kilométricos del trayecto. Las líneas de la malla definen el recorrido del tren, como es obvio de mayor o menor inclinación según la velocidad del tren y horizontales en las paradas.

### 4.1.1.1.- Capacidad: 5 trenes a la hora a 200 km/h

Para llevar a cabo el análisis, se ha tomado la capacidad inicial propuesta de 5 trenes a la hora por sentido circulando a 200 km/h, esto nos da un intervalo de salida de trenes cada 12 minutos desde la estación A hasta la estación D, y viceversa. Se ha previsto que los trenes circularan siempre por su derecha.

El primer paso en el análisis ha consistido en comprobar si con el trazado de vías propuesto era posible ese flujo de trenes, suponiendo una circulación en ambos sentidos.

Los puntos donde puede haber simultaneidad de trenes, están ubicados lógicamente donde existe vía doble, estos puntos son los siguientes:

Número	0 - 2	3 - 6	7 - 10	11 - 14	15 -17
PK	0 - 1,6	15 - 55	74 - 76	95 - 135	177,8 - 180

Tabla 2 – Simultaneidad de trenes

La figura 3 nos muestra para la capacidad estudiada. En el eje de las abscisas se representa el tiempo (minutos) que tarda el tren en recorrer dos puntos diferentes, y en el eje de las ordenadas los puntos kilométricos que tiene la línea, incluyendo las cuatro estaciones A, B, C y D. Las líneas horizontales de color negro representan los puntos de intersección entre los trenes de ida (desde A hasta D) y vuelta (desde D hasta A), en los puntos kilométricos donde sólo existe vía única.

Se incluyen tiempos de paradas de 3 minutos en las estaciones intermedias B y C. Estos tiempos de parada se han establecido para además de permitir el servicio de viajeros facilitar el cruce de los trenes. Se han representado la salida de trenes en dos horas (10 trenes por sentido) esto para observar mejor la interacción entre los trenes y los tiempos de cabecera.

Los trenes están representados como: trenes de ida los que se dirigen en el sentido de la estación A hasta la estación D, y los trenes de vuelta desde la estación D hasta la estación A. La secuencia de ida y vuelta se repite cada 12 minutos desde ambas estaciones terminales, por lo cual se considera un escenario ideal (sin retrasos), obteniendo la misma cantidad de trenes por sentido a la hora, esto para comprobar los puntos de cruzamientos en la vía.

Los cruces no permitidos entre trenes en secciones de vía única se dan en los puntos kilométricos:

- PK 70
- PK 80
- PK 140
- PK 160

Las soluciones en este caso pasan por ajustar los cruces en estaciones incrementando los tiempos de parada, estos tiempos se sacan de reducir el tiempo de retorno en cabecera. Antes se debe estudiar la capacidad de 10 trenes / hora que puede ser la que imponga más limitaciones, antes de ofrecer una solución definitiva.

Es importante mencionar, que en un primer momento la capacidad de la línea es de 5 trenes a la hora, pero se hace el estudio de capacidad mayor, infiriendo que esta pueda ver aumentada su tráfico a mediano y largo plazo, buscando una propuesta que satisfaga ambas capacidades, con el objeto establecer desde el principio una solución que en su conjunto permita e reducir costes en infraestructura.

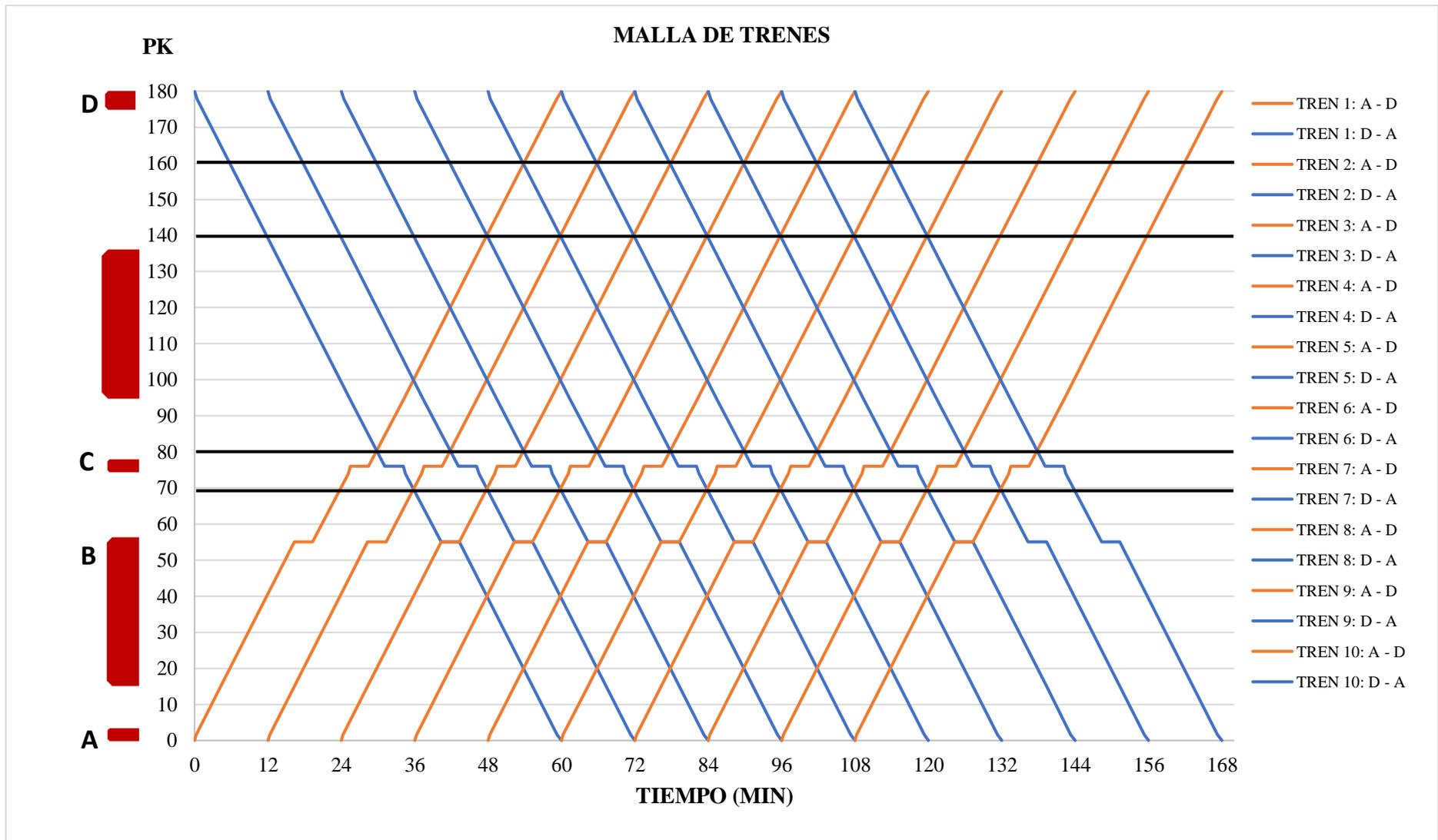


Figura 3 - Malla de 5 trenes / hora por sentido circulando a 200 km/h.

#### **4.1.1.2.- Capacidad: 10 trenes a la hora a 300 km/h**

En este caso la capacidad inicial propuesta de 10 trenes a la hora por sentido circulando a 300 km/h, nos da un intervalo de salida de trenes cada 6 minutos desde la estación A hasta la estación D, y viceversa. El resto de condiciones del análisis anterior se mantienen.

La figura 4 contiene la malla para la capacidad analizada, incluyendo tiempos de paradas de 3 minutos en las estaciones intermedias B y C. De igual manera se han representado en la gráfica, la salida de trenes de las estaciones terminales cada 6 minutos en el lapso de dos horas (20 trenes por sentido).

Los cruces no permitidos entre trenes en secciones de vía única se dan en los puntos kilométricos:

- PK 60
- PK 90
- PK 150
- PK 165

Haciendo una comparación entre los puntos de cruce, al pasar 5 trenes hora a 200 km/h y 10 trenes hora a 300 km/h, se observa que estos se dan en distintos puntos kilométricos como era de esperar, pero existe una zona diferenciada donde se concentra el mayor número de cruces no permitidos, que va desde el PK 135 hasta el PK 170, donde se encuentra el mayor trayecto de vía única de todo el conjunto de la línea.

Después de realizar diferentes simulaciones en la malla para evitar los cruces de trenes en vía única, agregando tiempos de parada en las estaciones, o modificando los intervalos de salida de trenes, lo que se ha conseguido es trasladar los puntos de cruces a otros puntos kilométricos de la vía única y el aumento considerable de los tiempos de recorrido de los trenes entre las estaciones terminales, lo que repercute en las operaciones, mantenimiento de vías y material rodante, malestar en el usuario, etc., por lo que se llega a la conclusión que con el diseño de línea propuesta sería imposible cumplir las capacidades estudiadas.

El concepto de intervalo mínimo dice: “Es el mínimo tiempo al que pueden circular dos trenes (precedente y perseguidor) sin que el tren perseguidor se vea perturbado por la marcha del precedente”, en este caso el intervalo mínimo tomado no cumpliría esta condición.

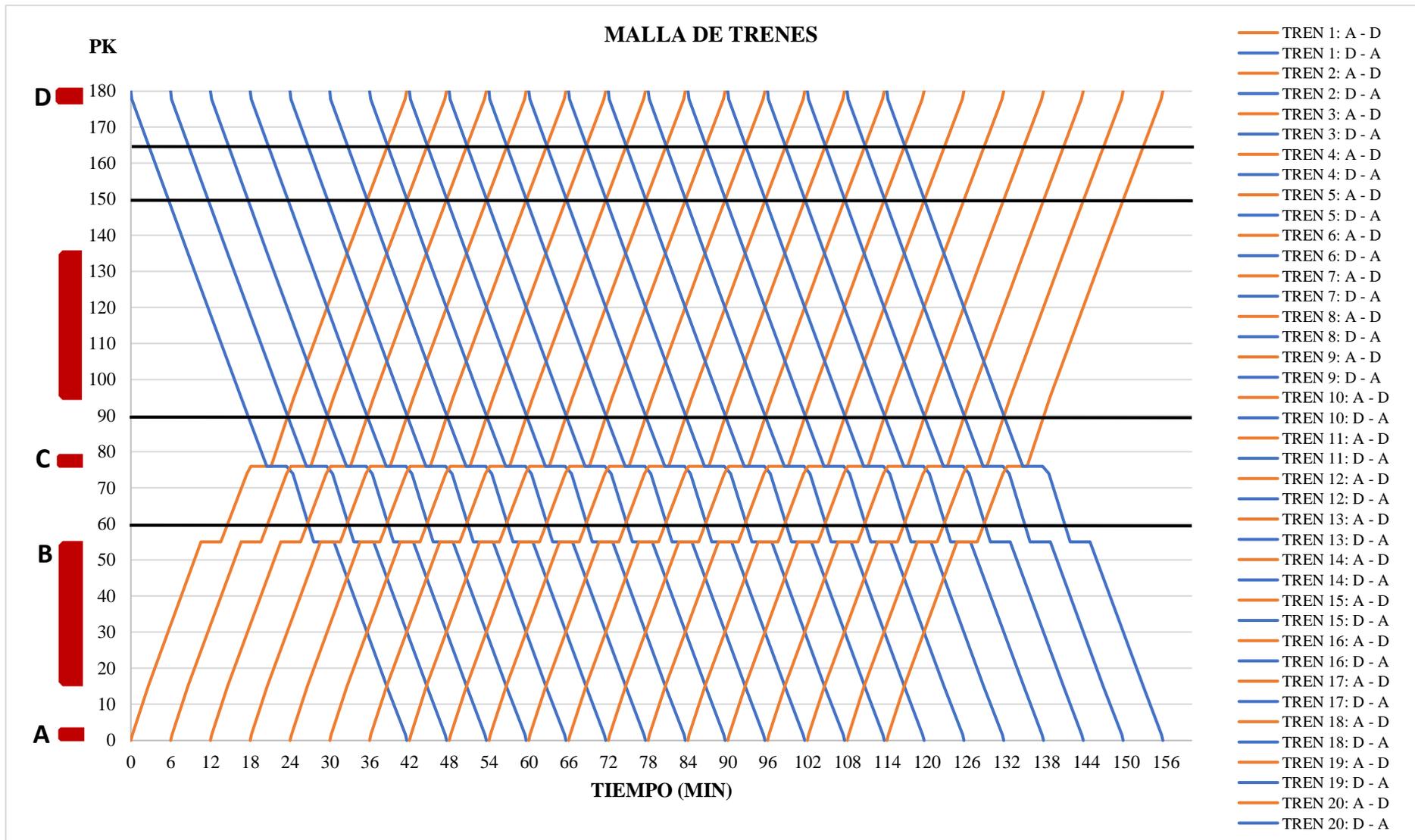


Figura 4 - Malla de 10 trenes / hora por sentido circulando a 300 km/h.

La propuesta de línea pasa por ampliar o agregar segmentos de vía doble, en los puntos kilométricos de conflictos de la capacidad más restrictiva estudiada, en este caso, la de 10 trenes a la hora por sentido, y posteriormente ver el impacto en la capacidad menor.

Las soluciones tomadas se muestran en el *Anexo A*, sumando 25 km más de vía doble con respecto a la propuesta inicial de la línea, situados de la siguiente forma:

- Ampliación de 5 km en el PK 55, hasta llegar a PK 60, nueva configuración del segmento desde PK 15 hasta el PK 60 con vía doble.
- Ampliación de 5 km a partir del PK 90, nueva configuración del segmento desde PK 90 hasta el PK 135 con vía doble.
- Nuevo segmento de vía doble desde el PK 150 hasta el PK 165.

El tiempo de recorrido para un tren que circula a 300 km/h desde la estación A hasta la estación D quedaría en 42 minutos, el tiempo de cabecera sería de 6 minutos, el tiempo del tren con salida desde la estación D hasta la estación A sería también de 42 minutos, como se muestra en la figura 5.

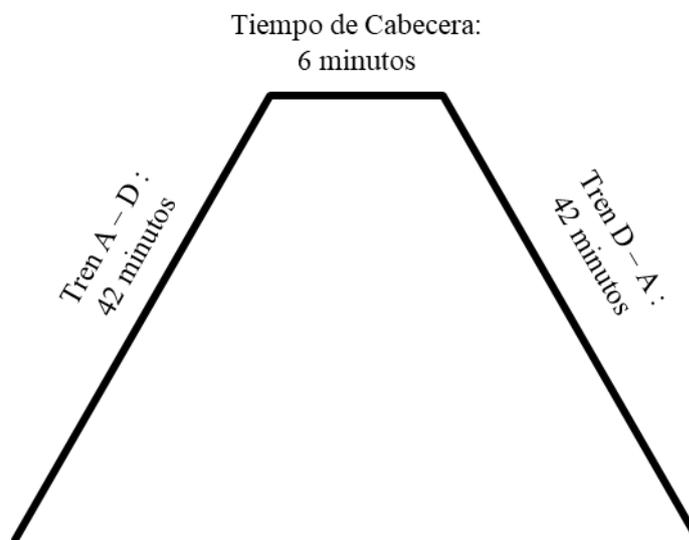


Figura 5 - Tiempo de recorrido del tren a 300 km/h

Tomando en cuenta estas ampliaciones de segmentos a vía doble en la capacidad más restrictiva, se estudiaron las posibles soluciones para adaptar la capacidad de 5 trenes / hora, entre ellas:

1. Simulación original con 3 minutos de parada en estaciones intermedias B y C.
2. Aumento a 6 minutos de parada en la estación B.

3. Salida de trenes en el sentido D – A, 3 minutos después a la propuesta inicial.
4. Aumento a 6 minutos de parada en la estación C.

Todas las simulaciones realizadas pasan por aumentar segmentos a vía doble, por lo que se ha escogido la cuarta opción mostrada en el **Anexo B**, ya que es la solución económicamente más viable, al sumar 6,8 km más de vía en los siguientes segmentos:

- Ampliación de 4 km a partir del PK 70, nueva configuración del segmento desde PK 70 hasta el PK 76 con vía doble.
- Ampliación de 2,8 km a partir del PK 175, nueva configuración del segmento desde PK 175 hasta el PK 180 con vía doble.

El tiempo de recorrido para un tren que circula a 200 km/h desde la estación A hasta la estación D quedaría en 63 minutos (Figura 6), el tiempo de cabecera sería de 9 minutos, y el tren con salida desde la estación D hasta la estación A tendría un tiempo de recorrido de 60 minutos, los 3 minutos de diferencia con respecto al otro recorrido se equilibran en cabecera.

No se circulará con trenes mixtos en la línea, mezcla de trenes rápidos y trenes lentos, ya que la capacidad comercial horaria disminuye en relación con la que se podría obtener si circulara únicamente trenes del mismo tipo.

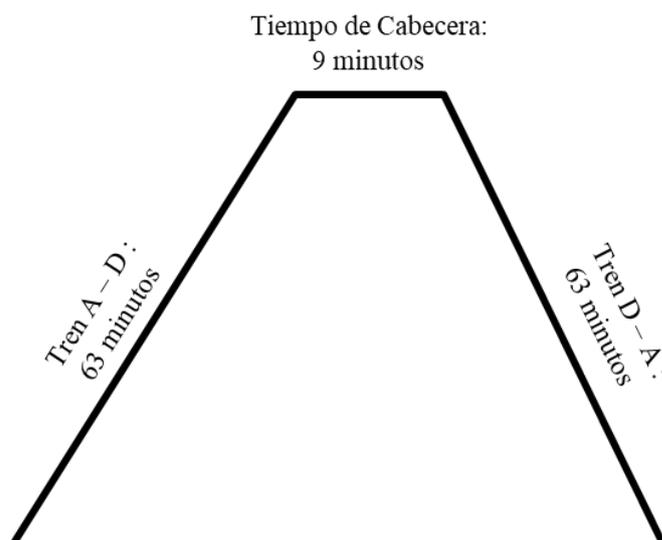


Figura 6 - Tiempo de recorrido del tren a 200 km/h

Con las ampliaciones propuestas, la línea ferroviaria quedaría representada como se muestra en la figura 7, y los puntos de simultaneidad de trenes en la tabla 3.

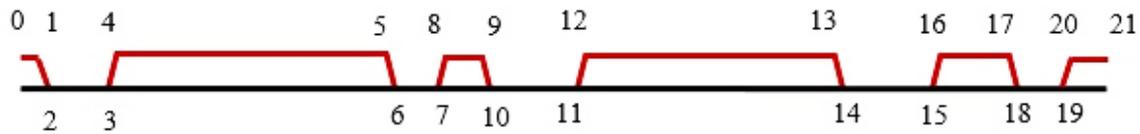


Figura 7 – Modificación de línea ferroviaria

Número	0 - 2	3 - 6	7 - 10	11 - 14	15 -18	19 - 21
PK	0 - 1,6	15 - 60	70 - 76	90 - 135	150 - 165	175 - 180

Tabla 3 – Puntos de simultaneidad de trenes con las modificaciones

Se pasaría de un 52.3% de vía única a lo largo de los 180 km de la línea inicial, a un 34,7% de vía única con la modificación para lograr el aumento de la capacidad a 10 trenes a la hora.

Como resultado de este estudio el trazado de la línea definitiva que se propone para realizar este estudio/proyecto es el que corresponde al esquema de la figura mostrada anteriormente.

Cabe resaltar que como resultado del análisis realizado que la capacidad de trafico definida de tanto de 5 trenes a la hora circulando con una velocidad máxima de 200 km/h como la capacidad de 10 trenes a la hora circulando a la velocidad máxima de 300 km /h difícilmente se puede conseguir en una línea donde exista secciones de vía única de longitud importante y que casi la recomendación seria, en caso de preverse esta necesidad de tráfico, diseñar una línea en vía doble.

#### 4.2.- Análisis Preliminar de Riesgos

El análisis de riesgos es necesario para la realización de cualquier proyecto de acuerdo con las directivas y especificaciones europeas. Se debe lograr un elevado nivel de seguridad debido a las consecuencias que podría tener un fallo en el sistema ferroviario, por ello se deben tener en cuenta los principios de la señalización ferroviaria:

1.- *El sistema de señalización debe proporcionar al tráfico permitido, rutas, distancias y control seguro. Este principio aplica a todos los ferrocarriles y sistemas de transporte guiado que tengan sistemas de señalización. Los sistemas de señalización pueden ser totalmente automáticos, semiautomáticos o manuales e indicarán al conductor o sistema de control del tren, mediante medios electrónicos o visuales, el estado de las señales (o hasta donde se autoriza el movimiento).*

2.- *El sistema de señalización debe seguir manteniendo la circulación segura, a los trenes que se les permita, bajo condiciones degradadas del mismo (fallo total o parcial).*

El artículo 3 del Reglamento (UE) N° 402/2013 define el Análisis del riesgo como: “el uso sistemático de toda la información disponible para determinar los peligros y para estimar el riesgo”, lógicamente para prevenir y minimizar los accidentes que pudiesen ocurrir en la explotación ferroviaria, es decir, operar trenes de forma segura, además de tener la disponibilidad del producto para realizar funciones requeridas en condiciones determinadas en un periodo de tiempo establecido. Estos conceptos forman parte de las RAMS ferroviaria, las cuales son las siglas en inglés de Reliability (Fiabilidad), Availability (Disponibilidad), Maintainability (Mantenibilidad) y Safety (Seguridad).

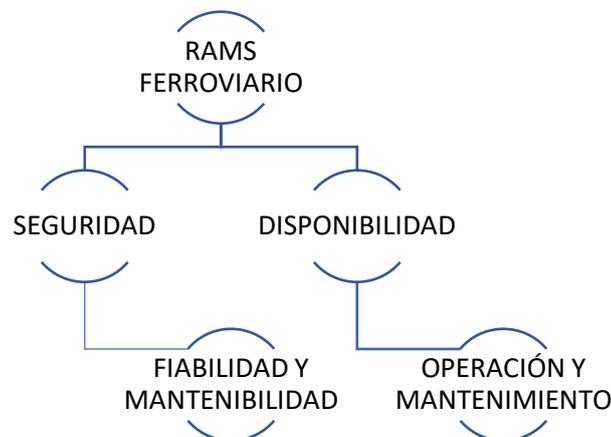


Figura 8 – Interrelación de los elementos de las RAMS ferroviaria

La seguridad y la disponibilidad están interrelacionadas, por cuanto una deficiencia de cualquiera de ellas o una mala resolución de los conflictos entre los requisitos de seguridad y disponibilidad puede impedir que se logre un sistema confiable.

Para conseguir este sistema confiable, es necesario identificar los factores que pudieran influir en las RAMS del sistema (*Anexo C*), evaluar los efectos y las causas, para dar soluciones confiables y optimizar el rendimiento del sistema.

#### **4.2.1.- Ciclo de vida del sistema**

Las actividades que tienen lugar durante el periodo de tiempo comprendido entre la concepción de un sistema y aquel cuando ya no está disponible para el servicio y se le retira. El ciclo de vida proporciona una estructura para la planificación, la gestión, el control y la supervisión de todos los aspectos de un sistema, incluido la RAMS, a medida que el sistema avanza a través de sus fases, con el fin de entregar el producto adecuado al precio correcto dentro del plazo acordado.

Un ciclo de vida de un sistema adecuado al contexto ferroviario se muestra en la figura 9, es importante mencionar que al aplicar la Fase 13: Modificación, se debe realizar de nuevo el ciclo. Para cada fase del ciclo de vida se deben detallar los objetivos, entradas, requisitos, salidas y actividades de verificación necesarias, así como la determinación de la responsabilidad de cada fase.

Verificación: tiene como objetivo demostrar que, para las entradas de señales e información específicas, las entregas (salidas) de cada fase cumplen, en todos los aspectos, los requisitos de dicha fase.

Validación: consiste en demostrar que el sistema de que se trate, en cualquier momento de su desarrollo y después de su instalación, cumple sus requisitos en todos los aspectos.

Este proyecto incluye la Fase 3 correspondiente al Análisis de Riesgos, que puede aplicarse en varias etapas del ciclo de vida y que define e identifica los equipos que se deben instalar para conseguir la seguridad que se requiere.

Las tareas son las siguientes:

- Realizar el análisis de peligros y riesgos de la seguridad del sistema.
- Estructurar el registro de peligros.

- Realizar la evaluación de riesgos.

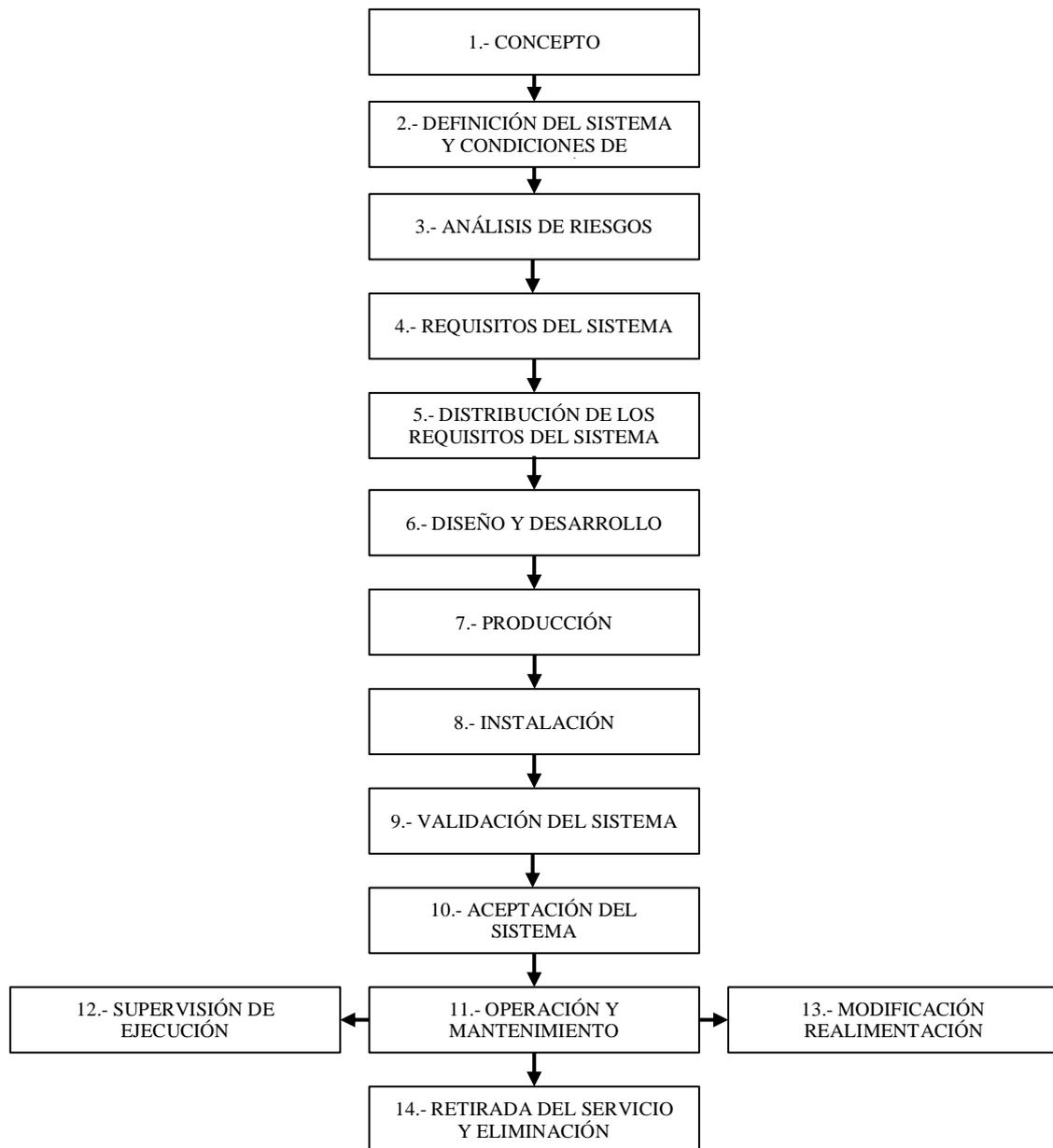


Figura 9 - Ciclo de vida del sistema [8]

#### 4.2.2.- Riesgo

Es la combinación de la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias de un evento peligroso determinado. Es necesario evaluar, para cada amenaza identificada el riesgo asociado y su nivel de aceptación. Para ello hay que determinar:

- La severidad o consecuencias del daño y la frecuencia de ocurrencia.
- $\text{Riesgo} = S * P$  (nivel de daño esperado por unidad tiempo).

La probabilidad de ocurrencia de un evento peligroso de forma cualitativa según la norma EN 50126, se muestran en la tabla 4.

<b>CATEGORÍA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Frecuente	Es probable que ocurra con frecuencia. El peligro se experimentará continuamente.
Probable	Se dará varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra con frecuencia.
Ocasional	Es probable que se dé varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra varias veces.
Remoto	Es probable que se dé alguna vez en el ciclo de vida del sistema. Puede razonablemente esperarse que el peligro ocurra.
Improbable	Es improbable, aunque posible que ocurra. Puede suponerse que el peligro ocurrirá excepcionalmente.
Increíble	Es extremadamente improbable que ocurra. Puede suponerse que el peligro pueda no ocurrir.

Tabla 4 – Frecuencia de ocurrencia de amenazas [8]

La tabla 5 describe los niveles típicos de gravedad de los peligros y las consecuencias asociadas a cada nivel de gravedad para todos los sistemas ferroviarios. El número de niveles de gravedad y las consecuencias de cada nivel de gravedad que se aplique deben definirse por el Organismo Ferroviario pertinente a la aplicación de que se trate.

<b>Nivel de Gravedad</b>	<b>Consecuencia para las Personas o el medio ambiente</b>	<b>Consecuencia para el Servicio</b>
Catastrófico	Víctimas mortales y/o múltiples heridas graves y/o daños importantes al medio ambiente.	
Crítico	Una sola víctima mortal y/o herida grave y/o daños señalados al medio ambiente.	Pérdida de un sistema principal.
Mínimo	Heridas menores y/o peligro señalada al medio ambiente.	Daño grave a sistema o sistemas
Insignificante	Posible herida menor.	Daño menor al sistema.

Tabla 5 – Nivel de gravedad del peligro [8]

Para la determinación del riesgo se construye la siguiente matriz, combinación de severidad de las consecuencias y frecuencia de ocurrencia de una amenaza (Tabla 6).

FRECUENCIA CON QUE OCURRE UN SUCESO DE PELIGRO	NIVELES DE RIESGO			
	<b>Frecuente</b>	No Deseable	Intolerable	Intolerable
<b>Probable</b>	Tolerable	No Deseable	Intolerable	Intolerable
<b>Ocasional</b>	Tolerable	No Deseable	No Deseable	Intolerable
<b>Remoto</b>	Insignificante	Tolerable	No Deseable	No Deseable
<b>Improbable</b>	Insignificante	Insignificante	Tolerable	Tolerable
<b>Increíble</b>	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Insignificante
	Insignificante	Mínimo	Crítico	Catastrófico
<b>NIVELES DE GRAVEDAD DE LAS CONSECUENCIAS DE UN PELIGRO</b>				

Tabla 6 – Evaluación y aceptación del riesgo [8]

La tabla 7 define las categorías cualitativas de riesgo, así como las acciones que han de tomarse ante cada categoría. La Autoridad Ferroviaria debe ser responsable de definir el principio que se vaya a adoptar y el nivel de tolerabilidad de un riesgo, así como los niveles que se incluyan.

CATEGORÍA	ACCIONES POR CATEGORÍA
Intolerable	Debe eliminarse
No Deseable	Sólo debe aceptarse cuando la reducción del riesgo sea impracticable y con el acuerdo de la Autoridad Ferroviaria.
Tolerable	Aceptable con un control adecuado y con el acuerdo de la Autoridad Ferroviaria.
Insignificante	Aceptable con/sin el acuerdo de la Autoridad Ferroviaria.

Tabla 7 – Categorías cualitativas de riesgos [8]

#### 4.2.3.- Identificación preliminar de amenazas (PHI)

Busca la identificación inicial de amenazas y primeramente las amenazas de alto nivel (top - hazards o situaciones de peligro), a través de:

## I. Experiencia

- Proyectos existentes (revisión de sus hazard-logs).
- Sistemas o tecnologías similares.
- Accidentes/incidentes (lecciones aprendidas).

## II. Checklists

- Normativa / estándares de diseño.
- Causas genéricas / específicas.

## III. Brainstorming

- Con participación de expertos en diferentes materias y que trabajan en diferentes fases del ciclo de vida (definición, diseño, fabricación, operación, mantenimiento).

Las amenazas y peligros más importantes en la línea objeto del proyecto deben estar localizados y controlados para así prevenir consecuencias catastróficas, en este proyecto se han considerado en el subsistema de señalización el descarrilamiento y la colisión. Las causas que podrían originarlos y como podrían minimizarse se mencionan de forma general a continuación:

### **Descarrilamiento:**

- Problemas de infraestructura (no considerado en este proyecto).
- Establecimiento incorrecto de rutas, con soluciones como, la incorporación de enclavamientos dotados de accionamientos, señales, circuitos de vías, etc.
- Exceso de velocidad, riesgo que se minimiza con formación de los maquinistas, señalización fija, incorporación de equipos ASFA digital, sistemas de ERTMS, etc.

### **Colisión**

- Establecimiento incorrecto de rutas, minimizándose con la incorporación de enclavamientos.
- Problemas de alcances entre trenes (colisión cabeza / cola de tren), con soluciones como: la incorporación de la señalización de bloqueo y seccionamiento en el movimiento de trenes.

- Colisión frontal, mitigado por la incorporación de establecimientos de bloqueos y establecimientos de rutas incompatibles.

#### 4.2.4.- Análisis preliminar de amenazas (PHA)

Luego de identificar las amenazas, se crea el Hazard Log inicial, que es un documento que se usa para el seguimiento y control de las amenazas a lo largo del ciclo de vida del sistema. El PHA analiza las amenazas del PHI, de la siguiente manera:

- Se evalúa el riesgo.
- Se identifican aspectos críticos en seguridad del sistema (arquitectura y herramientas).
  - o Se identifican las causas iniciales.
  - o Se evalúan alternativas.
- Se definen requisitos para el control del riesgo (requisitos de seguridad).

Como se ha comentado anteriormente en este proyecto se evaluará el subsistema de señalización, y en específico los sistemas a usarse en la señalización de la línea ferroviaria: señales, balizas, circuitos de vía, sistema ASFA y ERTMS, además de los desvíos. El PHA se realizará de acuerdo a las tablas mencionadas de la norma EN – 50126 – 1, el modelo será como se muestra a continuación:

N	Amenazas	Causas	Consecuencias	Severidad	Probabilidad	Riesgo Inicial	Mitigación	Riesgo Final
---	----------	--------	---------------	-----------	--------------	----------------	------------	--------------

Los PHA de las instalaciones y ajuste de los equipos se muestran en el *Anexo D*.

### **4.3.- Diseño de la línea con los sistemas de señalización**

En una explotación ferroviaria, la seguridad en la circulación es un elemento crítico y de máximo nivel de prioridad, que logra conseguirse utilizando los sistemas de señalización que se definen como un conjunto de elementos y sistemas para conseguir el control y regulación del tráfico de manera segura, previniendo principalmente las colisiones y alcances de trenes.

Los primeros sistemas de seguridad que se desarrollaron fueron los reglamentos de circulación y la señalización lateral en las vías, con ambos se consiguió minimizar los riesgos y las situaciones de peligro que se daban en el ferrocarril, pero el aumento del número de trenes y de maniobras, junto a la mayor complejidad en la disposición de las vías, fueron causas de accidentes debido a la circulación de trenes sobre desvíos situados en posición errónea, se entendió que se debía reducir y en lo posible eliminar el propio riesgo humano, por ello, se desarrollaron diferentes sistemas como los enclavamientos, bloqueos y los sistemas de señalización en cabina.

El desarrollo del sistema de señalización en el diseño de la línea propuesta, se dividirá en dos partes:

1. Diseño del sistema de señalización necesario de una línea ferroviaria para permitir la circulación de trenes a 200 km/h, para proporcionar seguridad en la circulación de los trenes, incluyendo la señalización lateral, los enclavamientos para permitir el movimiento de trenes en las estaciones, la detección de la posición de los trenes mediante los circuitos de vías, el movimiento de los trenes entre estaciones mediante el bloqueo, y la señalización en cabina mediante el sistema ASFA. El diseño de esta primera fase incluirá además la identificación de las señales, vías, desvíos y maniobras, y los cuadros de movimientos e incompatibilidades, cuyo objetivo está incluido en el Trabajo de Fin de Máster, esto para permitir la circulación de trenes por la línea propuesta a 200 km/h.
2. Diseño de la línea ferroviaria considerando los aspectos del punto anterior e incluyendo los equipos del sistema ERTMS Nivel 2, para aumentar la capacidad de la línea y su consecuente reducción del tiempo de recorrido, circulando a 300 km/h, presente en el objetivo de la Ampliación del Trabajo de Fin de Máster.

### 4.3.1.- Diseño inicial de la línea con el sistema de señalización convencional

#### 4.3.1.1.- Señales

Las *señales* tienen por objeto transmitir órdenes (autoridades de movimientos) o informaciones desde la vía, las estaciones o los trenes. Las señales se clasifican, según su función, en:

- **Señales fijas:** Las que, de un modo permanente o temporal, están instaladas en puntos determinados de la vía o de las estaciones. Se dividen en:
  - Fundamentales: Regulan la circulación de trenes y maniobras.
  - Indicadoras: Complementan las órdenes de las señales fundamentales.
  - De velocidad máxima: Regulan la velocidad que el tren no debe exceder en ningún momento.
  - De limitación temporal de velocidad máxima: Imponen restricciones temporales en la velocidad máxima de los trenes por circunstancias particulares de la vía o de las instalaciones.
- **Señales portátiles:** Las que puede utilizar o hacer el personal ferroviario en cualquier momento o lugar.
- **Señales de los trenes:** Las que éstos llevan en cabeza y cola.

Las señales fijas fundamentales, son las usadas en el diseño de este proyecto, y de acuerdo con el lugar en que están instaladas, se denominan:

- **Señal avanzada:** La situada delante de una señal de entrada, señal de bloqueo, señal de protección o, en su defecto, de una estación.
- **Señal de entrada y de bloqueo:** La situada a la entrada de una estación, bifurcación, puesto de bloqueo, que protege agujas de entrada. Una señal de entrada puede hacer funciones de señal de salida de la estación anterior o de señal avanzada de la estación siguiente.
- **Señal de salida:** La situada a la salida de una estación, que protege agujas de salida. Una señal de salida puede hacer funciones de señal avanzada o de entrada de la estación siguiente.
- **Señal interior:** La situada en el interior de una estación para regular los movimientos de trenes o de maniobras.

- **Señal de protección:** La situada delante de una aguja en plena vía para protegerla.
- **Señal de paso a nivel:** La situada delante de un PN o grupo de PN para indicar si tienen o no protección.

Según el RD 664/2015 del 17 de Julio, Reglamento de Circulación Ferroviaria, se muestra a continuación en la figura 10, la funcionalidad del aspecto de cada señal.

ASPECTO	SIGNIFICADO	SIMBOLO
Rojo	Parada: ordena al maquinista pararse sin rebasar la señal.	
Amarillo intermitente	Anuncio de parada inmediata: la siguiente señal se puede encontrar cerrada (rojo) y se encuentra a corta distancia.	
Amarillo	Anuncio de parada: la siguiente señal se puede encontrar cerrada (rojo).	
Amarillo + Número	Preanuncio de parada: ordena no exceder la velocidad que marca la pantalla al pasar por la señal siguiente.	
Verde Amarillo (+ Número opcional)	Anuncio de precaución: ordena al maquinista no exceder la velocidad que marque la pantalla al pasar por el próximo desvío o señal.	
Verde intermitente	Vía libre condicional: reducir la marcha, la próxima señal podría encontrarse en amarillo.	
Verde	Vía libre: la velocidad máxima la marca la consigna de circulación sobre el trayecto en la que se encuentre la señal.	
Rojo + Blanco intermitente	Rebase autorizado: avance del tren con "marcha a la vista". El tren va a entrar entrada a una vía ocupada o a una topera.	
Rojo + Blanco	Maniobra: avance del tren en maniobras. La velocidad máxima es de 20 - 30 km/h (según si el tren tira o empuja).	

Figura 10 – Funcionalidad de las señales [2]

#### 4.3.1.2.- Posición de las señales

Existen dos zonas donde es importante instalar las señales: las estaciones y las zonas de bloqueo entre estaciones, además de las zonas de maniobras, desvíos y pasos a nivel.

Las entradas de las estaciones se protegen mediante la señal de entrada, ubicada previamente a unos 400 metros antes del primer desvío perteneciente a la estación, esta distancia responde a la necesidad de proporcionar una visión electrónica a los equipos de protección semejante a la distancia a la cual el maquinista empieza a ver la señal, además de la reducción del riesgo por deslizamiento en caso de rebase de la señal en rojo; esta señal tendrá los tres colores clásicos: rojo, amarillo y verde, en las zonas de maniobras incluirá el color blanco. En el caso de este proyecto al incluir posteriormente el sistema ERTMS, se ha incluido el color azul. En el caso de los trenes que no posean este sistema, una señal con el aspecto rojo – azul, deberá realizar parar sin rebasar la señal, y los trenes que circulen con el sistema ERTMS podrán continuar la marcha según el DMI, este sistema se explicará posteriormente.

Para avisar al maquinista del tren que llega, se coloca la señal de avanzada, la cual informa la condición de la señal de entrada, esta señal posee dos colores, verde cuando la señal de entrada está en verde o amarillo cuando la señal de entrada está en rojo. La distancia que se coloca la señal de avanzada en referencia a la señal de entrada, debe ser como mínimo la distancia de frenado con freno de servicio.

La fórmula utilizada para calcular la distancia de frenado en este proyecto es la siguiente:

$$DF = \frac{v_0^2}{2d} \cdot fs + v_0 \cdot tr$$

Donde:

- $DF$  = distancia de frenado.
- $v_0$  = velocidad en el momento de aplicar el freno.
- $d$  = deceleración.
- $tr$  = tiempo de reacción.
- $fs$  = factor de seguridad

La deceleración de servicio utilizada para los cálculos fue de  $0,85 \text{ m/s}^2$ , el tiempo de reacción se han tomado, 4 segundos de tiempo de reacción del maquinista + 4 segundos del tiempo de reacción del freno; además se incluye un factor de seguridad de un 30%. Los resultados obtenidos por velocidad se muestran en el *Anexo E*.

La señal de salida, autoriza el orden la marcha de la estación, es decir, la salida al trayecto (bloqueo) entre estaciones, estará ubicada a 100 metros aproximadamente, se ha tenido en cuenta para esta medida un margen de maniobra ante posibles deslizamientos de los trenes (overlap).

#### **4.3.1.3.- ASFA**

El sistema ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático) es un sistema de supervisión puntual.

Los equipos de este sistema tienen la misión de evitar el rebase de una señal en rojo, bien sea avisando al maquinista al rebasar la señal o aplicando el freno de emergencia si el maquinista no atiende el aviso pasado un tiempo. Este sistema toma la información necesaria de las señales y es compatible con la electrificación del tramo y con las perturbaciones generadas por las corrientes, retorno de tracción y regenerativas del freno e interferencias magnéticas.

El ASFA Digital ha sido la última evolución para cubrir las necesidades de aquellas líneas donde no se instale ERTMS/ETCS o se encuentren en fase de cambio de sistema, ofrece una protección sobre la velocidad máxima del tren a lo largo de todo el recorrido del tren, recibiendo la información de manera puntual mediante las balizas instaladas en la vía.

El sistema en cualquiera de sus versiones consta de dos partes diferenciadas, el equipo en vía y el equipo de a bordo del tren, estando este último fuera del objeto de este proyecto.

El equipo en vía, compuesto por balizas y cajas interfaces (cajas I/F), que se encargan de transferir la información de la señal a las balizas.

Las cajas I/F recogen información del aspecto de la señal y condiciones de vía, y a través de las balizas, esa información es transmitida al paso de los equipos ASFA a bordo del tren, de forma puntual.

Las balizas son dispositivos estáticos y pasivos, es decir, no necesitan alimentación para realizar la transmisión de la información, aunque sí para variar la información a transmitir. La baliza se compone básicamente de un circuito resonante LC (bobina – condensador). En cada instante, la frecuencia de resonancia de este circuito es la información que transmite la baliza.

Las bandas de frecuencia de trabajo están comprendidas entre 50 kHz y 120 kHz, que corresponden a:

- L1: 60000 Hz – Anuncio de parada / anuncio de precaución.
- L2: 64020 Hz – Vía libre condicional.
- L3: 68310 Hz – Vía libre.
- L7: 88540 Hz – Control de parada (lo indica la baliza previa).
- L8: 95500 Hz – Indicación de parada.

Las balizas están instaladas a pie de la señal (5 metros antes de la señal) denominada baliza principal, y la baliza previa a una distancia de 300 metros antes de la señal. Para que un tren pueda detenerse ante la señal de entrada, el inicio de la distancia normal de frenado lo constituye la baliza previa de ASFA de la señal avanzada, que estará ubicada a 500 metros antes de la misma.

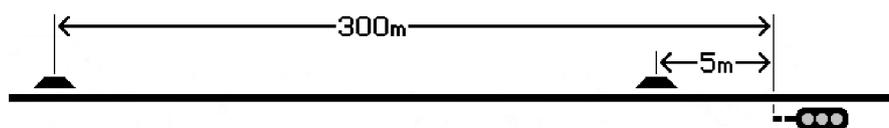


Figura 11 - Esquema de instalación de balizas en ASFA.

El sistema anuncio de señal y frenado automático se plantea como un sistema de respaldo adicional del principal sistema de gestión y control de tráfico ferroviario (ERTMS), que se instalará en la línea objeto de este proyecto.

#### 4.3.1.4.- Aparatos de vía

Los aparatos de vía permiten la ramificación y el cruce de los itinerarios del ferrocarril. Se distinguen varios tipos de aparatos de vía:

- Los *desvíos o agujas*, que permiten a un itinerario ramificarse en dos o más vías, siendo los ejes de las vías tangentes entre sí.
- Las *travesías*, que permiten la intersección de dos itinerarios y por lo tanto los ejes de las vías se cortan.
- Los *cruzamientos o travesía sin unión*, lugares donde dos vías se cruzan, pero sin posibilidad de cambiar de una a otra.

Las agujas permiten mediante el movimiento de sus espadines, dirigir los trenes por distintas vías. El talón (-) o invertido va por la desviada, y el talón (+) o normal por la recta, esto se muestra, conjuntamente con las partes de la aguja se muestran en la figura 12.

Las agujas, según su situación, se denominan:

- Agujas de entrada: Las situadas entre la señal de entrada y la vía de estacionamiento.
- Agujas de salida: Las situadas entre la señal de salida y la plena vía.
- Agujas de plena vía: Las situadas entre las señales de entrada de dos estaciones colaterales.

Un elemento esencial de los desvíos son los accionamientos, ya que provocan el movimiento a la posición requerida para la ruta establecida. Los desvíos son actuados por los accionamientos a través de las barras de maniobra, y la posición final de los espadines (final de carrera) se comprueban a través de las barras de comprobación, los espadines se enclavan una vez completado el movimiento para el paso del tren, externamente con cerrojos de uña o internamente con el propio motor, con lo cual no podrá moverse ni desplazarse hasta que le sea requerido de nuevo, permitiendo una única ruta sobre él, rechazando el resto.

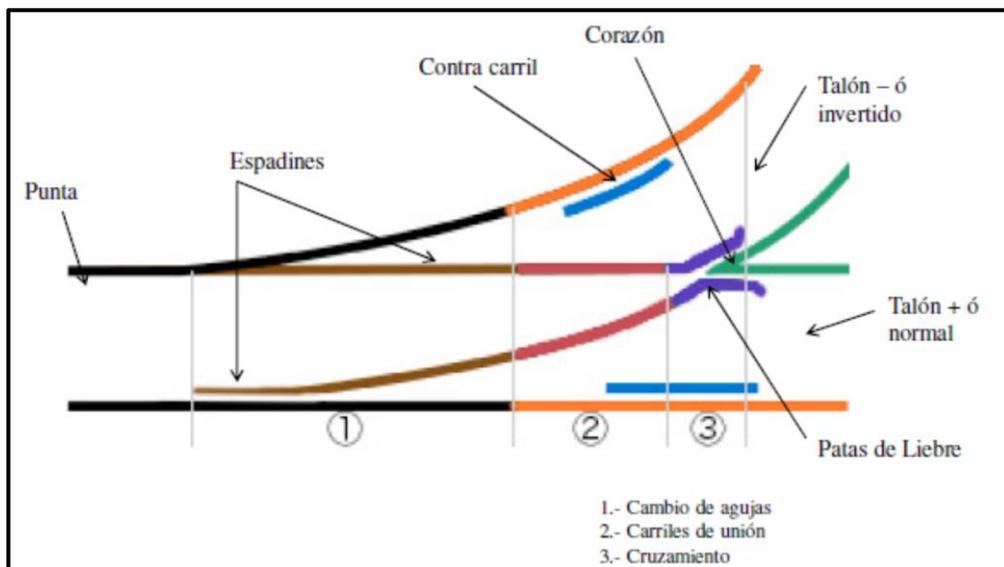
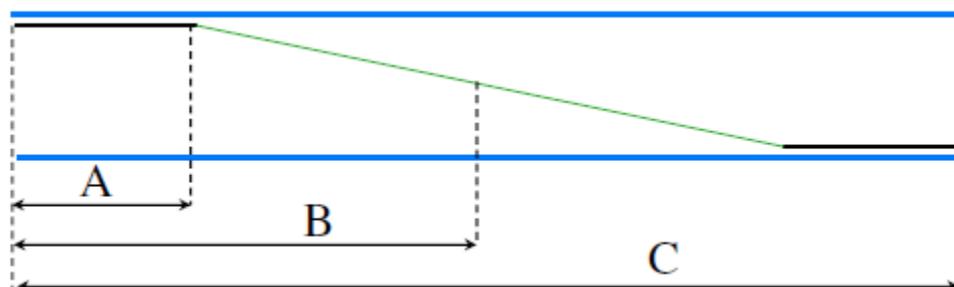


Figura 12 – Partes de una aguja [7]

La seguridad y velocidad de los trenes por desviada exigen mayor calidad en la construcción del desvío, el radio de este define la velocidad máxima de paso, que también está limitada por el confort del viajero, normalmente como límite máximo de aceleración descompensada de  $0,65 \text{ m/s}^2$ .

En la tabla 8, muestra la velocidad máxima de circulación por recta y desviada, con los valores promedios de longitud de los desvíos, utilizados en AVE. Debido a que este proyecto contempla velocidades de hasta 300 km/h, se consideran longitudes totales aproximadas de 400 metros en desvíos ubicados entre estaciones, para los desvíos ubicados en las estaciones se utilizaran longitudes aproximadas de 100 metros, debido a la menor velocidad de los trenes.



Vmax Desviada (km/h)	Vmax recta (km/h)	A. Longitud de espaldas (m)	B. Longitud del desvío (m)	C. Longitud de escape (m)
50	200	14	40	80
80	200	27	54	108
100	200	31	67	134
100	350	42	82	164
160	350	68	151	302
220	350	93	207	414

Tabla 8 – Velocidad máximas por desvíos y sus longitudes [7]

#### 4.3.1.5.- Detección de trenes mediante circuitos de vías

La detección de trenes determina de forma segura, si una sección de vía definida, está libre de tráfico o tiene algún vehículo, estacionado o en movimiento, en ella.

El circuito de vía por audiofrecuencia, es el utilizado en este proyecto, debido a que suele aplicarse a sistemas electrificados a 25 KV – 50 Hz, proporcionando alta protección contra interferencias de la corriente de tracción, también se eliminan casi todas las juntas aislantes de la vía, lo que constituye una reducción de mantenimiento de la misma, sustituyéndose por juntas de separación eléctricas no necesitándose cortar el carril para obtener la separación entre circuitos de vías.

Principios de funcionamiento:

- Utilizan señales con frecuencias comprendidas entre 2 KHz y 12 KHz.

- La separación entre circuitos de vía contiguos se hace electrónicamente utilizando distintas frecuencias portadoras.
- Cada frecuencia contenida en el propio circuito de vía se hace sintonizando la inductancia de los carriles y conexiones finales en una zona de terminación.

Las técnicas habituales para crear las zonas de terminación que separan circuitos de vías contiguos son:

- Lazos de cortocircuito + unidades de sintonía.
- Unidades de sintonía complementarias.
- Lazo en “S” o “Z” + unidades de sintonía.

El circuito de vía de lazos en S o Z elimina la existencia de la zona neutra o de bajo tren shunt, su funcionamiento solapa completamente la zona de terminación de los circuitos colaterales, la alimentación del circuito de vía puede ser lateral o central, como se muestra en la figura 13.

La alimentación en trayectos sobretodo es central, ya que longitud del circuito de vía puede ser hasta 2 km. La longitud máxima del cable es de 6,5 km desde la ubicación de los equipos de cabina hasta los equipos de vía, lo que se debe tener cuenta en el diseño entre estaciones, que tiene requerimiento de SIL 4.

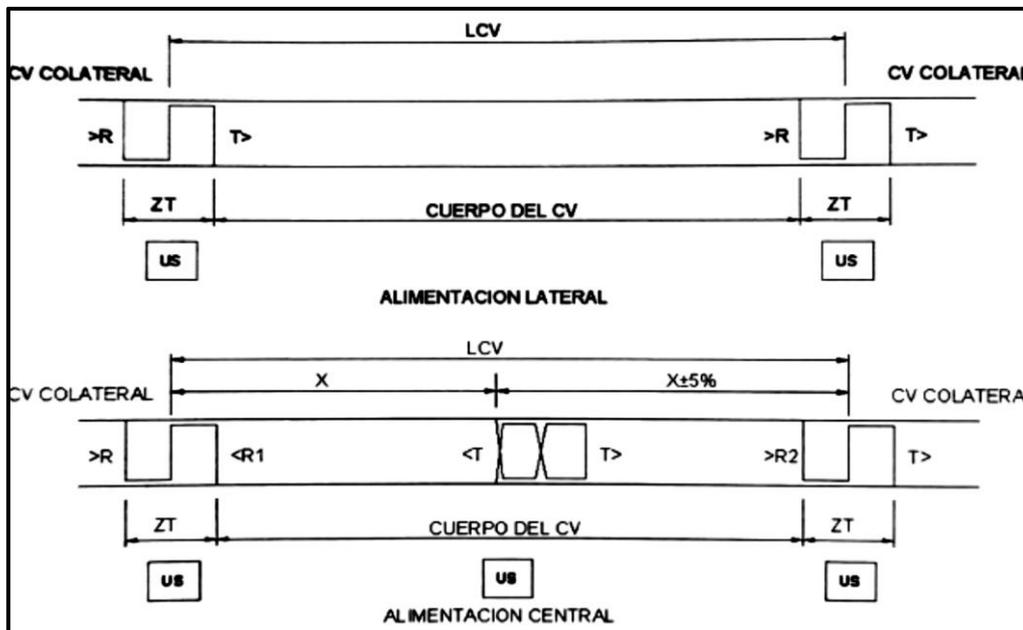


Figura 13 – CV con alimentación lateral y central en las zonas de terminación en “S” [6]

#### **4.3.1.6.- Bloqueo**

Es un sistema o proceso cuyo objetivo es garantizar que los trenes que circulen por la misma vía y en el mismo sentido, lo hagan separados a una distancia que impida su alcance, y que cuando un tren circule por una vía, no circule otro en sentido contrario por la misma vía.

El bloqueo de un tramo de vía entre dos estaciones colaterales abiertas, requiere establecer una relación de dependencia entre ambas, que permita expedir circulaciones de una a otra en condiciones seguras.

##### **Principios básicos:**

- a) Dos trenes que circulen por la misma vía y en el mismo sentido, irán separados una distancia que garantice que no se va a producir un alcance.
- b) Cuando un tren esté circulando por una vía, no se expedirá otro en sentido contrario por la misma vía desde la estación colateral.
- c) Las instalaciones garantizarán la seguridad necesaria para compatibilizar las maniobras que se realicen por la banda de una estación, con la llegada de un tren por dicha banda.

Existen diferentes tipos de bloqueos, pero en este proyecto se hará hincapié en los bloqueos automáticos:

- Bloqueo automático en vía única (BAU).
- Bloqueo automático en vía doble (BAD).
- Bloqueo automático banalizado (BAB).

##### **4.3.1.6.1.- Bloqueo automático en vía única (BAU)**

Son bloqueos en vía única que permiten circular varios trenes a la vez por el mismo trayecto (siempre en la misma dirección) mediante señales intermedias (ver figura 14). No precisan de Jefes de Estación por ser automáticos. En este proyecto se utilizarán en los trayectos de vía única.

Características:

- Totalmente automático.
- Detección del tren en todo el trayecto (cantones más pequeños).
- Permite circulaciones sucesivas en el mismo sentido.

- Proceso:
  - Bloqueo de la sección en un sentido.
  - Orden de marcha.
  - Trenes sucesivos dependiendo de la señalización.

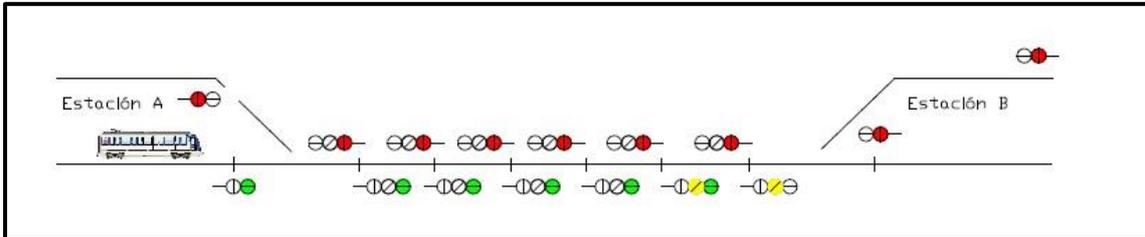


Figura 14 – Bloqueo automático en vía única [9]

#### 4.3.1.6.2.- Bloqueo automático en vía doble (BAD)

Son bloqueos entre estaciones con vía doble, y que se utilizan cada una de las vías en un sentido de forma exclusiva. Los trenes circularán siempre en el mismo sentido. En este proyecto se utilizarán en los trayectos de vía doble.

Características:

- No necesita cantón libre entre estaciones para expedir un tren. El bloqueo está siempre establecido.
- Hay equipos de detección del tren (circuitos de vías) en el trayecto.
- Señales intermedias que dividen el trayecto en cantones y permiten aumentar la capacidad de transporte.
- Totalmente automático. El sistema se asegura de cumplir todas las condiciones de seguridad.
- Funciones auxiliares de seguridad para modos degradados.

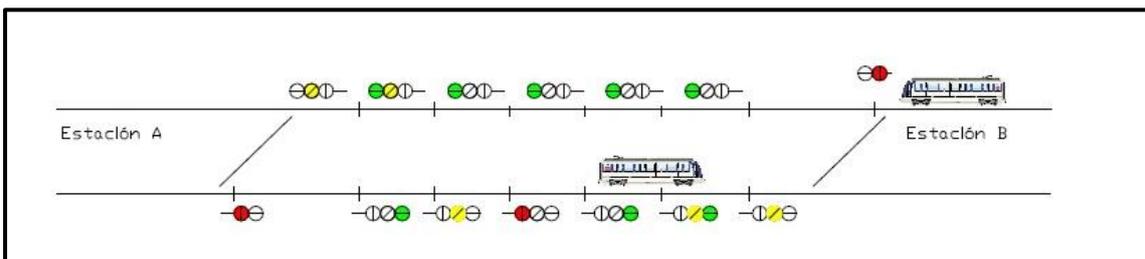


Figura 15 – Bloqueo automático en vía doble [9]

#### 4.3.1.6.3.- Bloqueo automático banalizado (BAB)

Son bloqueos en vía doble que permiten circular ambas vías a varios trenes a la vez por el mismo trayecto (siempre en la misma dirección) mediante señales intermedias. No precisan de Jefes de Estación por ser automáticos. En esencia con dos BAUs en paralelo.

Características:

- Detección del tren en todo el trayecto (mediante distintos circuitos de vías).
- Señales intermedias que dividen el trayecto en cantones y permiten aumentar la capacidad de transporte.
- Totalmente automático. El sistema se asegura de cumplir todas las condiciones de seguridad.
- Funciones auxiliares de seguridad para modos degradados.
- Elevada disponibilidad.
- Se usan en zonas de gran densidad de tráfico.

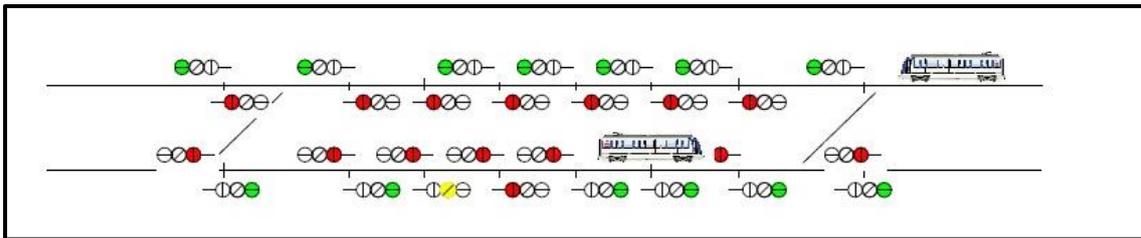


Figura 16 – Bloqueo automático banalizado [9]

En este proyecto las señales entre estaciones, estarán ubicadas máximo cada 13 kilómetros, en algunos tramos de vía única con longitudes menores a 13 kilómetros también se colocarán señales, esto para conseguir operaciones con mayor eficacia y seguridad, además del aumento de la capacidad de transporte.

El sentido de circulación según el tramo de vía será el siguiente:

- **Vía única.** La circulación de los trenes se realiza en ambos sentidos.
- **Vía doble.** Los trenes pares circulan en el mismo sentido por la vía par y los trenes impares en sentido contrario por la vía impar, salvo situaciones anormales por circulación a contravía, por BAB. Se circula normalmente por la vía de la derecha en el sentido de la circulación.

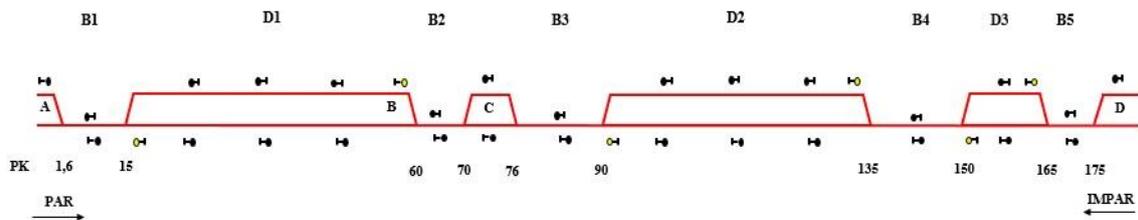


Figura 17 – Señales de bloqueo entre estaciones

Las zonas de bloqueo en la línea del proyecto se han identificado según el tipo de vía, denotando una B, cuando son bloqueos en vía única y una D, cuando se trata de vía doble. El sentido par es la que va desde la estación A hasta la estación D, y el sentido impar desde la estación D hasta la estación A (Figura 17).

- **Banalización temporal de vía.** En líneas de vía doble, la vía banalizada temporalmente se considera como una vía única independiente, es decir, los trenes circulan por ella en ambos sentidos cualquiera que sea su paridad. En este caso, se denomina circulación a contravía la marcha de un tren par por la vía impar o viceversa, para ello se han colocado señales, nombradas como BAB, que permitirían circular a contravía en caso de avería de la vía principal, están ubicadas en las zonas de bloqueo D1, D2 y D3. La circulación de los trenes se hará en estas situaciones con marcha a la vista en régimen de maniobra con protección del ASFA en caso de rebase de la señal en rojo.

#### 4.3.1.7.- Enclavamiento

Es un sistema que permite fijar itinerarios seguros para la circulación de los trenes en el ámbito de las estaciones, estableciendo una relación de dependencia entre las posiciones de los distintos aparatos de vía del itinerario, y las órdenes que transmiten las señales.

Los enclavamientos también establecen relaciones de incompatibilidad con posiciones o configuraciones de otros aparatos o señales, impidiendo establecer itinerarios incompatibles que al interferir con los primeros afecten a su seguridad.

En la figura 18 se puede observar la zona de actuación de los enclavamientos, y de los bloqueos entre estaciones.

Los principios básicos de los enclavamientos son los siguientes:

- Para efectuar la apertura de una señal que autorice un itinerario, es imprescindible que con anterioridad todos los aparatos del mismo se hallen dispuestos en la posición adecuada.
- Mientras esté abierta la señal que autoriza un itinerario, no se puede cambiar la posición de ningún aparato relacionado con el mismo.
- No se puede realizar la apertura de una señal que autorice un itinerario incompatible con otro ya autorizado.

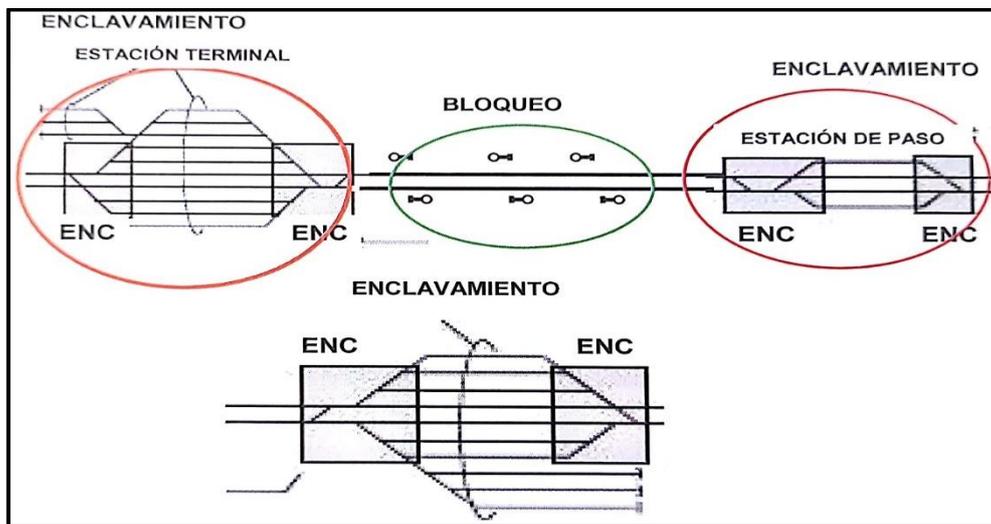


Figura 18 – Zonas de enclavamientos y bloqueo en una línea [6]

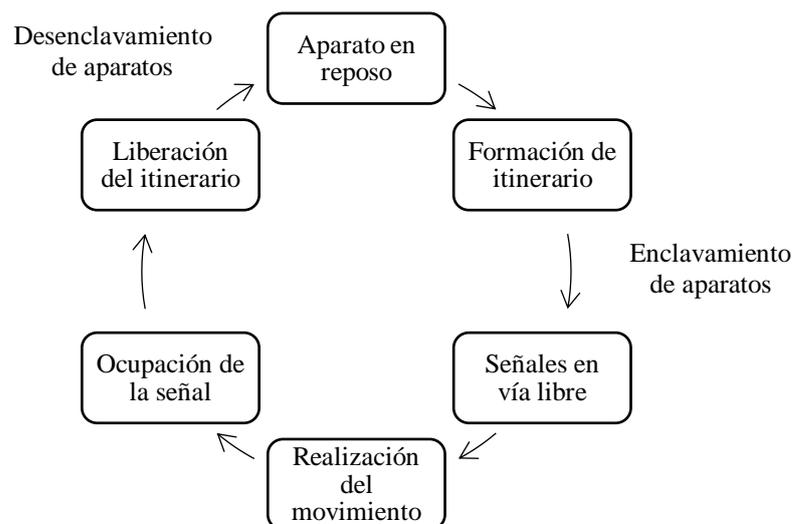


Figura 19 – Fases del movimiento en estaciones

En el diseño del enclavamiento se tienen en consideración tres requisitos fundamentales:

1.- **La zona de actuación o control del enclavamiento**, es decir, la identificación del área de responsabilidad ya sea en el plano de vías o aparatos de cada enclavamiento. La zona está delimitada por el área comprendida entre las señales de entrada y el final de las rutas de salida o primera señal de bloqueo.

La zona de entrada está controlada por las señales de entrada y de avanzada, cuya distancia entre ambas será de 2800 metros aproximadamente para una velocidad de 200 km/h, según los cálculos realizados y explicados anteriormente; cuando la señal de avanzada tenga el aspecto verde/amarillo, la ruta se hace por la desviada, y en el caso de que el aspecto de la señal de avanzada sea el verde, la ruta se hace por la recta.

Los enclavamientos de la línea están ubicados en las estaciones (principales), y los pasos de vía única a doble y viceversa (auxiliares), tal como se muestra en la figura 20.

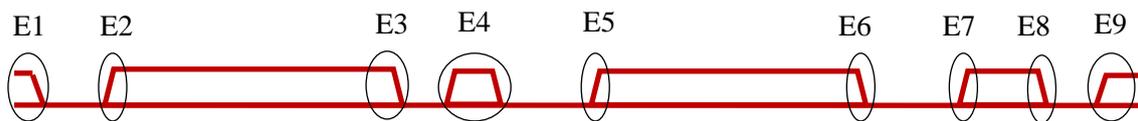


Figura 20 – Zonas de enclavamientos

- Enclavamientos Principales: Enclavamiento 1 (E1), Enclavamiento 3 (E3), Enclavamiento 4 (E4) y Enclavamiento 9 (E9).
- Enclavamientos Auxiliares: Enclavamiento 2 (E2), Enclavamiento 5 (E5), Enclavamiento 6 (E6), Enclavamiento 7 (E7) y Enclavamiento 8 (E8).

2.- **El cuadro de movimientos**, es decir, definir los itinerarios que se quieren establecer para el movimiento de los trenes, especificando las señales que autorizan el movimiento desde el inicio al final del mismo.

El itinerario de un tren es la ruta o recorrido que recorre al entrar, salir o circular por una estación o bifurcación. Los itinerarios considerados en este proyecto son los siguientes:

- Itinerario de entrada, recorrido desde la señal de entrada hasta el estacionamiento en una vía, limitado por la señal de salida.
- Itinerario de salida, ruta desde la señal de salida hasta la entrada en el bloqueo.
- Itinerario de paso directo, circulación desde una señal de entrada hasta la señal de salida de la estación o bifurcación.

En cuanto al deslizamiento u overlap que puede tener un tren al rebasar indebidamente una señal, se han definido la ubicación de señales con una mayor distancia a la que generalmente suele colocarse (200 metros en circulaciones de 200 km/h), aunque el diseño final de la línea incluirá el ERTMS, donde la garantía de la supervisión de la velocidad pudiese variar esta estimación, en este proyecto se colocaran las señales de entrada a 400 metros, considerando la circulación a 200 km/h y 300 km/h.

3.- **Cuadro de incompatibilidades**, es decir, los posibles conflictos que pudiesen ocurrir entre los movimientos de los trenes. Este cuadro se realiza analizando, sobre el plano de vía y aparatos, los itinerarios que se quieren establecer, y los posibles conflictos entre trenes por realizarse de forma simultánea, ya sea por incompatibilidad de agujas o incompatibilidades por condición. En este proyecto solo se han considerado los movimientos de tren sin especificar los posibles movimientos en régimen de maniobras.

A continuación, se muestran los enclavamientos de la línea propuesta en este proyecto, especificados en la figura 7, junto con sus cuadros de movimientos e incompatibilidades, e indicando el punto kilométrico de las señales y aparatos de vía dispuestos a lo largo de la línea. En el caso del cuadro de incompatibilidades, se representan con una “X” los conflictos originados por la posición de las agujas, y con una O las originadas por una condición, por ejemplo, la no autorización de dos entradas simultaneas.

**4.3.1.7.1.- Enclavamiento Principal E1**

El enclavamiento número 1 pertenece a la Estación A, compuesto por tres vías y dos desvíos (ver Figura 21), se ha añadido una señal a 100 metros antes de la topera, con su respectiva baliza previa de ASFA, para casos en que ocurran deslizamientos y reducir el riesgo de colisión.

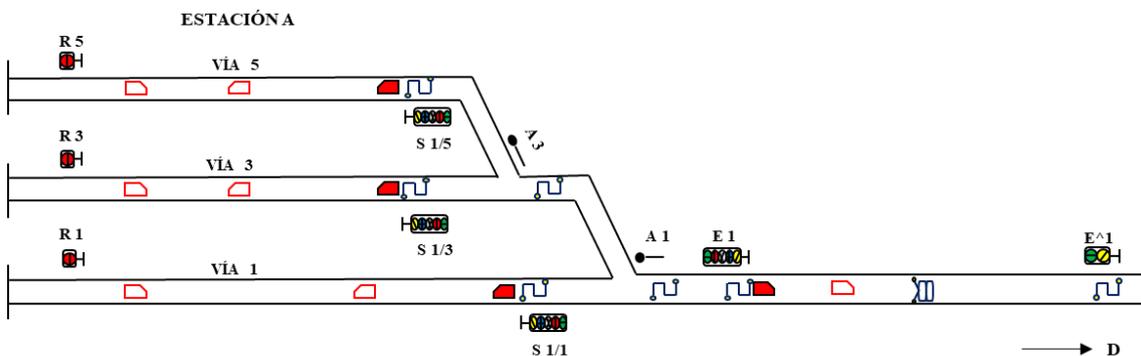


Figura 21 – Diseño del enclavamiento E1

La ubicación de los aparatos y señales de vía se muestran en la tabla 9. El cuadro de movimientos representados en la tabla 10, refleja los movimientos desde la Estación A en dirección a la Estación D, la posición de las agujas, y el aspecto que deben tener las señales, para lograr la seguridad en la operación. El cuadro de incompatibilidades de estos movimientos se muestra en la tabla 11.

APARATOS		SEÑALES	
Nº	P.K	NOMBRE	P.K
1	1,2	E^1	4,8
3	1,6	E1	2
		S 1/1	1,5
		S 1/3	1,1
		S 1/5	0,9

Tabla 9 – Posición de los aparatos y señales de vía en E1

MOVIMIENTOS		APARATOS		SEÑALES				
		1	3	E^1	E1	S 1/1	S 1/3	S 1/5
1	Entrada desde D a vía 1	+		⊘	⊘	⊖	⊖	⊖
2	Entrada desde D a vía 3	-	+	⊙ ⊘	⊘	⊖	⊖	⊖
3	Entrada desde D a vía 5	-	-	⊙ ⊘	⊘	⊖	⊖	⊖
4	Salida hacia D de vía 1	+		⊖	⊖	⊙	⊖	⊖
5	Salida hacia D de vía 3	+	-	⊖	⊖	⊖	⊙	⊖
6	Salida hacia D de vía 5	-	-	⊖	⊖	⊖	⊖	⊙

Tabla 10 – Cuadro de movimientos de E1

INCOMPATIBILIDADES						
	1	2	3	4	5	6
1		X	X	O	X	X
2	X		X	X	O	X
3	X	X		X	X	O
4	O	X	X		X	X
5	X	O	X	X		X
6	X	X	O	X	X	

Tabla 11 – Cuadro de incompatibilidades de E1

#### 4.3.1.7.2.- Enclavamiento Auxiliar E2

El enclavamiento número 2 (Figura 22), corresponde a un desvío ubicado en una transición de paso de vía única a vía doble, debido a que los enclavamientos **E5** y **E7**, son similares tanto en

diseño como sus cuadros de movimientos (Tabla 13) e incompatibilidades (Tabla 14), sólo se explicará uno, en este caso E2.

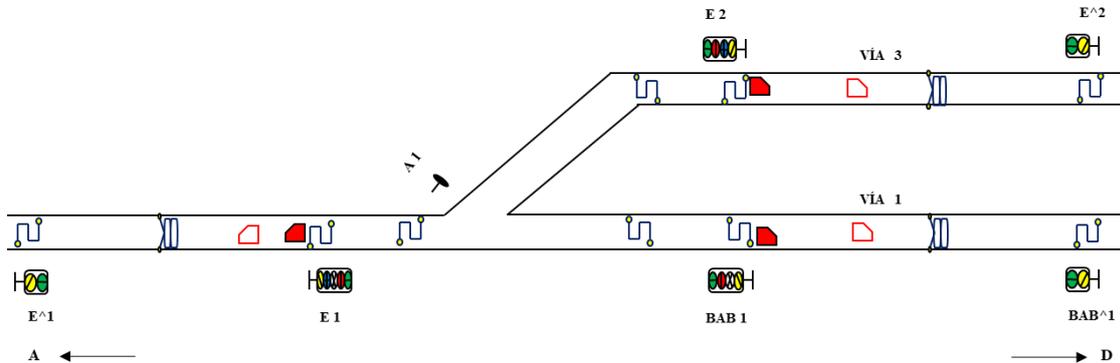


Figura 22 – Diseño del enclavamiento E2

APARATOS		SEÑALES	
Nº	P.K	NOMBRE	P.K
1	15	E^1	11,8
		E1	14,6
		BAB 1	15,8
		BAB^1	18,6
		E 2	15,8
		E^2	18,6

Tabla 12 – Posición de los aparatos y señales de vía de E2

MOVIMIENTOS		APARATO	SEÑALES					
			1	E^1	E1	E^2	E2	BAB 1
1	Salida de vía 3 hasta A	-	⊖	⊖	⊗	⊗	⊖	⊖
2	Entrada desde A hasta vía 1	+	⊕	⊕	⊗	⊖	⊖	⊖
3	Entrada banalizada desde A hasta vía 3	-	⊗	⊗	⊖	⊖	⊗	⊖
4	Salida banalizada de vía 1 hasta A	+	⊖	⊖	⊗	⊖	⊕	⊕

Tabla 13 – Cuadro de movimientos de E2

INCOMPATIBILIDADES				
	1	2	3	4
1	■	X	X	X
2	X	■	O	O
3	O	X	■	X
4	X	O	X	■

Tabla 14 – Cuadro de incompatibilidades de E2

El movimiento en este enclavamiento es sencillo, ya que los trenes que se dirigen sentido A – D, van por recta, y los trenes que en el sentido D – A utilizan la vía 3, sin embargo, se ha dispuesto de señales banalizadas para usarse en caso de avería en la vía principal y poder autorizar movimientos a contravía en régimen de maniobra. En este enclavamiento se observa la señal de salida a vía única BAB 1, utilizada para los trenes en dirección D – A, también se tiene un movimiento de entrada banalizado desde E1 a vía 3, y cuya señal salida (BAB 2) se puede observar en el siguiente enclavamiento E3.

#### 4.3.1.7.3.- Enclavamiento Principal E3

El enclavamiento E3 corresponde a la Estación B, formada por cuatro vías, la circulación de trenes va desde la Estación A en dirección a la Estación D (par) circulando por la vía 1 o vía 2, y desde la estación D circulando por la vía 3 o vía 5 (impar), constituido por 7 agujas, además de la señal banalizada sólo utilizada en caso de avería en la vía principal.

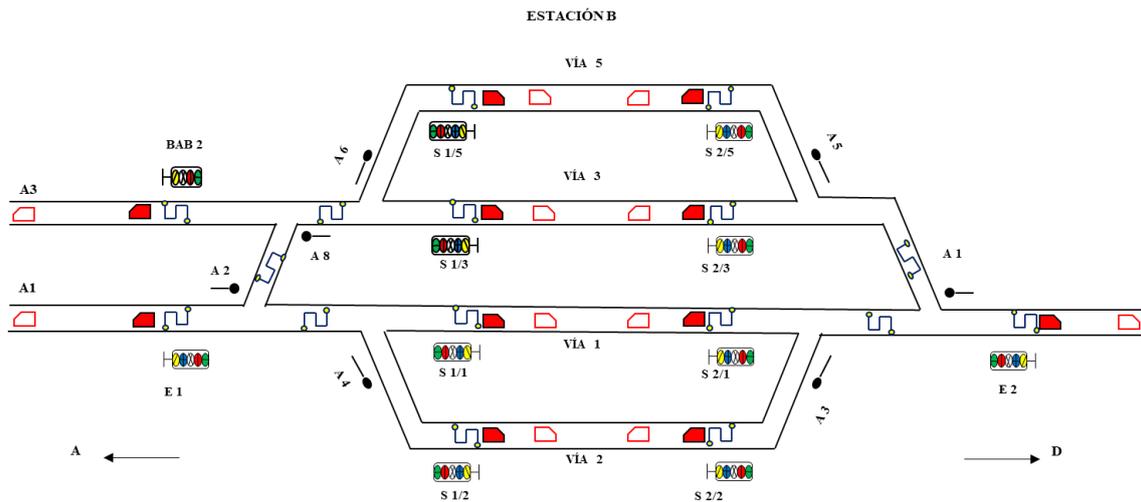


Figura 23 – Diseño del enclavamiento E3

Por consigna se ha decidido colocar los movimientos de la Estación B como se muestra en la tabla 15, los movimientos sombreados en color verde corresponden a los movimientos regulares de la estación, y los movimientos banalizados sombreados en color amarillo los correspondientes en caso de avería de las vías principales, en este caso se da la salida por la señal BAB 2 del movimiento 3 del E2, la entrada a las vías 3 o 4, y su posterior salida en dirección a la Estación D, y los movimientos de entrada desde D por las vías 1 y 2, y su posterior salida por A1. En el movimiento de entrada desde A hasta vía 1, la señal E1 tiene el aspecto amarillo, debido a que la distancia desde la señal de entrada a la señal de salida no es suficiente para frenar.

MOVIMIENTOS		APARATOS						SEÑALES														
		1	2	3	4	5	6	8	E^1	E1	BAB^2	BAB2	S 1/1	S 1/2	S 1/3	S 1/5	S 2/1	S 2/2	S 2/3	S 2/5	E2	E^2
1	Entrada desde A1 hasta vía 1		+		+			+	⊗	⊗			⊖	⊖			⊖	⊖			⊖	⊗
2	Entrada desde A1 hasta vía 2		+		-			+	⊗	⊗			⊖	⊖			⊖	⊖			⊖	⊗
3	Entrada desde D a vía 3	-				-					⊗	⊖			⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊗
4	Entrada desde D a vía 5	-				-					⊗	⊖			⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊗
5	Salida hacia D de vía 1	+		+					⊗	⊖			⊖				⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
6	Salida hacia D de vía 2	-		+					⊗	⊖				⊖			⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
7	Salida hacia A3 de vía 3		+				+	+			⊖	⊖			⊖	⊖			⊖		⊖	⊖
8	Salida hacia A3 de vía 5		+				-	-			⊖	⊖			⊖	⊖				⊖	⊖	⊖
9	Salida banalizada desde A3 hasta vía 3		+				+	+			⊗	⊗			⊖	⊖			⊖		⊖	⊗
10	Salida banalizada desde A3 hasta vía 5		+				-	+			⊗	⊗			⊖	⊖				⊖	⊖	⊗
11	Salida hacia D desde vía 3	-				+					⊗	⊖			⊖		⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
12	Salida hacia D desde vía 5	-				-					⊗	⊖			⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
13	Entrada desde D hasta vía 1	+		+					⊗	⊖			⊖				⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊗
14	Entrada desde D hasta vía 2	+		-					⊗	⊖				⊖			⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊗
15	Salida banalizada hacia A1 de vía 1		+		+			+	⊖	⊖			⊖	⊖			⊖	⊖			⊖	⊗
16	Salida banalizada hacia A1 de vía 2		+		-			+	⊖	⊖			⊖	⊖			⊖	⊖			⊖	⊗
17	Paso directo desde A1 hacia D	+	+	+	+			+	⊖	⊖			⊖	⊖			⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖

Tabla 15 – Cuadro de movimientos de E3

APARATOS		SEÑALES	
Nº	P.K	NOMBRE	P.K
1	60,2	E^1	54
2	57,2	E 1	56,8
3	59,4	BAB^2	54
4	57,8	BAB2	56,8
5	59,4	S 1/1	58,3
6	58	S 1/2	58,3
8	57,6	S 1/3	58,3
		S 1/5	58,3
		S 2/1	59,1
		S 2/2	59,1
		S 2/3	59,1
		S 2/5	59,1
		E2	60,6
		E^2	63,4

Tabla 16 – Posición de los aparatos y señales de vía de E3

INCOMPATIBILIDADES																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		X			O								O		O	X	O
2	X					O								O	X	O	X
3				X	X	X	O		O	X	O	X	X	X			X
4			X		X	X		O	X	O	X	O	X	X			X
5	O		X	X		X					X	X	O	X	O		O
6		O	X	X	X						X	X	X	O		O	X
7			O					X	O	X	O						
8				O			X		X	O		O					
9			O				O	X		X	O						
10				O			X	O	X			O					
11			O	X	X	X	O		O			X	X	X			X
12			X	O	X	X		O		O	X		X	X			X
13	O		X	X	O	X					X	X		X	O		O
14		O	X	X	X	O					X	X	X			O	X
15	O	X			O								O			X	O
16	X	O				O								O	X		X
17	O	X	X	X	O	X					X	X	O	X	O	X	

Tabla 17 - Cuadro de incompatibilidades de E3

#### 4.3.1.7.4.- Enclavamiento Principal E4

El enclavamiento número 4 (Figura 24) engloba la Estación C de la línea y tramos a ambos lados de la misma en doble vía, debido a que la longitud total de este trayecto es de 6 km. Debido a la configuración, la circulación de trenes es banalizada permitiendo algunos movimientos de entrada





INCOMPATIBILIDADES												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			X	O	X	X	O	O	O		O	O
2			O	X	O		X	X		O	X	X
3	X	O			O	X			X	O	X	X
4	O	X				O	O	X	O	X	O	O
5	X	O	O			X			X	O	X	X
6	X		X	O	X		O	O	X		X	X
7	O	X		O		O		X	O	X	O	O
8	O	X		X		O	X		O	X	X	X
9	O		X	O	X	X	O	O			O	O
10		O	O	X	O		X	X			X	X
11	O	X	X	O	X	X	O	X	O	X		O
12	O	X	X	O	X	X	O	X	O	X	O	

Tabla 20 - Cuadro de incompatibilidades de E4

#### 4.3.1.7.5.- Enclavamiento Auxiliar °6

El enclavamiento número 6 (Figura 25), se ubica en la transición de vía única a vía doble, los trenes circularan por su derecha, excepto cuando la vía principal este averiada se hará uso de la señal BAB8. El enclavamiento E8 tiene un diseño similar, por lo que los cuadros de movimientos (Tabla 22) e incompatibilidades (Tabla 23) son iguales a los mostrados a continuación.

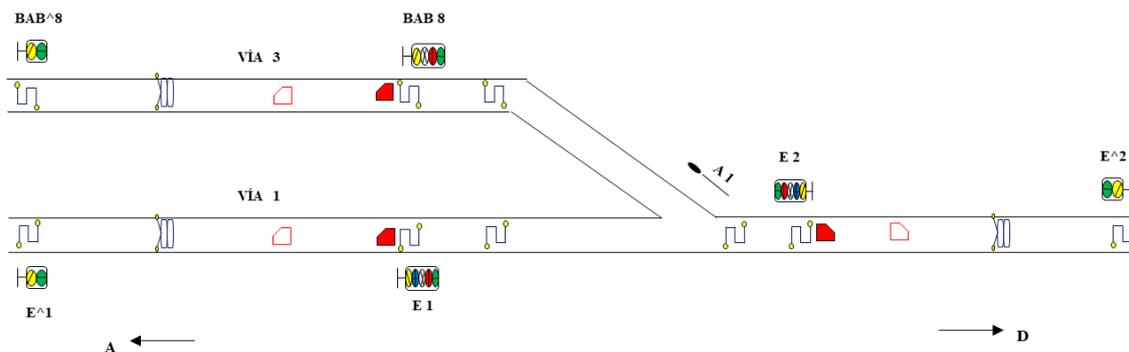


Figura 25 – Diseño del enclavamiento E6

APARATOS		SEÑALES	
Nº	P.K	NOMBRE	P.K
1	135	E^1	133,6
		E1	134,2
		BAB^8	133,6
		BAB 8	134,2
		E 2	135,4
		E^2	138,2

Tabla 21 – Posición de los aparatos y señales de vía de E6

MOVIMIENTOS		APARATO	SEÑALES					
		1	E^1	E1	E^2	E2	BAB 8	BAB^8
1	Entrada desde D a vía 3	-	⊗	⊖	⊗	⊗	⊖	⊖
2	Salida desde vía 1 a D	+	⊗	⊗	⊖	⊖	⊖	⊖
3	Entrada banalizada desde D hasta vía 1	+	⊖	⊖	⊗	⊗	⊖	⊗
4	Salida banalizada de vía 3 hasta D	-	⊗	⊖	⊖	⊖	⊗	⊗

Tabla 22 – Cuadro de movimientos de E6

INCOMPATIBILIDADES				
	1	2	3	4
1		X	X	O
2	X		O	X
3	X	O		X
4	O	X	X	

Tabla 23 – Cuadro de incompatibilidades de E6

#### 4.3.1.7.6.- Enclavamiento Principal 09

El enclavamiento número 9 corresponde a la Estación D, más una sección de vía doble de 3,8 km. La estación tiene 3 vías, una travesía, y un desvío, ubicado en el paso de vía única a vía doble en el punto kilométrico 175.

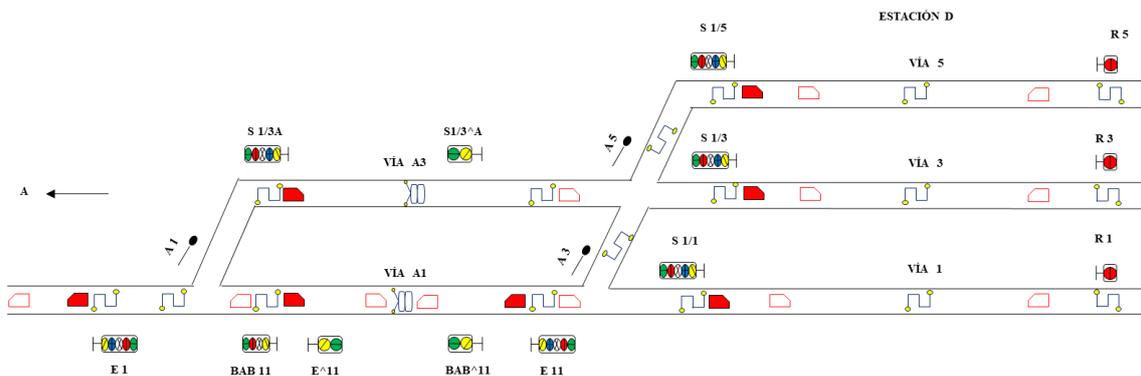


Figura 26 – Diseño del enclavamiento E9

Los trenes que llegan a la Estación D desde A, entran a las vías de la estación por A1, y los trenes que salen lo hacen por A3, esto para los movimientos regulares dentro de E9 (sombreados de color verde en la tabla 25), sin embargo, se ha incluido una señal banalizada (BAB 11) para ser usada, en caso de avería y descongestionamiento de la estación, en los movimientos sombreados con amarillo 6,7 y 8.

APARATOS		SEÑALES	
Nº	P.K	NOMBRE	P.K
1	175	E^1	171,8
3	178,6	E1	174,6
5	178,8	BAB 11	175,5
		BAB^11	178,2
		S 1/3 A	175,5
		S 1/3^A	178,2
		E^11	175,4
		E11	178,2
		S1/1	178,9
		S1/3	179,1
		S1/5	179,1

Tabla 24 – Posición de los aparatos y señales de vía de E9

MOVIMIENTOS	APARATOS			SEÑALES										
	1	3	5	E^1	E1	E^11	E11	BAB^11	BAB 11	S1/3^A	S1/3A	S1/1	S1/3	S1/5
1 Entrada desde A a vía 1	+	+		⊙	⊙	⊙	⊙	⊖	⊖	⊙	⊖	⊖	⊖	⊖
2 Entrada desde A a vía 3	+	-	+	⊙	⊙	⊙	⊙	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
3 Entrada desde A a vía 5	+	-	-	⊙	⊙	⊙	⊙	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
4 Salida hacia A de vía 3	-	+	+	⊖	⊖	⊖	⊖	⊙	⊖	⊙	⊙		⊙	⊖
5 Salida hacia A de vía 5	-	+	-	⊖	⊖	⊖	⊖	⊙	⊖	⊙	⊙		⊖	⊙
6 Salida de vía 1 por vía A1	+	+		⊖	⊖	⊖	⊖	⊙	⊙	⊙	⊖	⊙	⊖	⊖
7 Salida de vía 3 por vía A1	+	-	+	⊖	⊖	⊖	⊖	⊙	⊙	⊙	⊖	⊖	⊙	⊖
8 Salida de vía 5 por vía A1	-	-	+	⊖	⊖	⊖	⊖	⊙	⊙	⊖	⊖	⊖	⊖	⊙

Tabla 25 – Cuadro de movimientos de E9

INCOMPATIBILIDADES								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		X	X	X	X	O	O	O
2	X		X	O	O	O	O	O
3	X	X		X	O	O	O	O
4	X	O	X		X	X	X	X
5	X	O	O	X		X	X	O
6	O	O	O	X	X		X	X
7	O	O	O	X	X	X		X
8	O	O	O	X	O	X	X	

Tabla 26 – Cuadro de incompatibilidades de E9

#### **4.3.1.8.- Control de Tráfico Centralizado**

Es un sistema que permite gobernar, desde un puesto único de mando central, el tráfico de una determinada zona o líneas ferroviarias mediante el intercambio continuo de información entre los enclavamientos, (rutas con sus aparatos de vía, señales y circuitos de vía), los trenes y el mando central. El sistema permite accionar por control remoto los cambios, señales y otros dispositivos para regular el movimiento de los trenes (enclavamientos y bloqueos) y establecer las rutas e itinerarios necesarios en cada momento.

Principios básicos:

- El CTC podrá ejecutar las mismas órdenes y recibirá las mismas comprobaciones que los cuadros de mando locales de los enclavamientos.
- Podrá efectuar las mismas actuaciones de bloqueo entre estaciones que las que establecen estas entre sí.
- Ninguna estación tomará el mando local de su enclavamiento, ni decisiones que afecten a la circulación, sin la autorización del Responsable de Circulación del CTC, salvo casos de emergencia.

Elementos fundamentales:

- Enclavamientos eléctricos o electrónicos en las estaciones y de las agujas situadas en plena vía.
- Bloqueo automático en las estaciones.
- Sistema de comunicaciones eficientes para mantener en comunicación permanente del puesto de mando del CTC con cada una de las estaciones y dependencias a gobernar, y con cada uno de los trenes que se hallan en circulación de las líneas o maniobrando dentro de las estaciones.

### **4.3.2.- Diseño de la línea incluyendo el sistema ERTMS Nivel 2**

La evolución histórica de las distintas redes ferroviarias nacionales ha provocado que, en la actualidad, exista una gran heterogeneidad en los sistemas de señalización y ATP instalados en los distintos países europeos. En Europa existen prácticamente tantos sistemas como países y, al ser estos incompatibles entre sí, resulta complicada la circulación de trenes con itinerarios transnacionales, con esta gran cantidad de sistemas distintos, para que una composición pueda circular en itinerarios que recorren varios países, es imprescindible que el tren lleve instalados tantos sistemas como sean de aplicación en las redes de todos los países que se atraviesen, lo que se traduce en un incremento de costes y una complejidad elevada en la operación. Esta situación mejoraría sustancialmente si existiera un sistema paneuropeo interoperable que fuera adoptado por todos los países de la Unión Europea y con ese fin, nació el ERTMS/ETCS.

A continuación, se explicará el funcionamiento de este sistema, incluyendo sus principales equipos y arquitectura, los cuales servirán de guía en el diseño final de la línea.

#### **4.3.2.1.- ETCS / ERTMS**

El *ETCS* es un sistema de control y protección de trenes con tres niveles de aplicación pensados para que progresivamente se pueda acceder desde la aplicación más sencilla (Nivel 1), a la más compleja (Nivel 3), compuesto por dos subsistemas: el subsistema del tren o equipo embarcado, y el subsistema de la vía o equipo de suelo. Estos subsistemas emplean componentes estándar para comunicarse a través de interfaces estandarizadas usando para ello funciones normalizadas.

La Directiva Europea 96/48/CE estableció en 1996 la base para la introducción del sistema ETCS y definió las especificaciones que todo sistema debe cumplir para garantizar la Interoperabilidad. El ETCS, junto con el sistema de radio móvil GSM-R y los sistemas estándar europeos de gestión de tráfico (ETMS - European Train Management System), conforman el sistema de gestión europeo de tráfico ferroviario *ERTMS* (European Rail Traffic Management System).

#### **Ventajas del sistema ERTMS:**

- Aumentar la capacidad en líneas existentes y la capacidad de responder a las demandas crecientes del transporte: como sistema de señalización basado en comunicaciones continuas, ERTMS puede reducir la distancia entre trenes aumentando la capacidad 40% en infraestructuras existentes.

- Mejores prestaciones que cualquier otro sistema de protección debido a la completa información recibida a bordo sobre las características del trayecto e incluida en cada autorización de movimiento.
- Velocidades más altas en comparación a los sistemas tradicionales.
- Aumento índice de fiabilidad: ERTMS puede aumentar considerablemente los índices de fiabilidad y puntualidad, los cuales son cruciales tanto para transporte de pasajeros como de mercancías.
- Disminuir costes de producción y aumentar la competitividad entre suministradores: una vez probado, el sistema armonizado es fácil de mantener y fabricar haciendo a las compañías ferroviarias más competitivas.
- Mejorar seguridad para pasajeros, empleados y transporte de mercancías.

#### 4.3.2.2.- Señales en ERTMS

Las señales en alta velocidad en las líneas de AV españolas están definidas por cinco aspectos, verde, rojo, blanco, azul y amarillo, tal como se muestra en la figura 27.

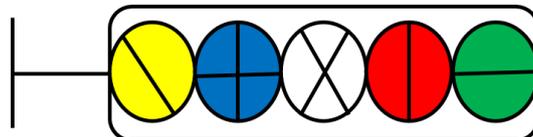


Figura 27 – Aspectos de señales en ERTMS

Cuando un tren opera en ERTMS Nivel 2 el maquinista no necesita la señalización lateral, podrían estar incluso apagadas, pero en el caso de este proyecto se han incluido, ya que también circularan trenes con sistema de señalización convencional. Para evitar confusiones al maquinista al circular con ERTMS, se ha definido un nuevo aspecto, el azul e indica que un tren en Nivel 2 puede pasar, la función de este aspecto está definida a continuación:

*Aspecto Rojo – Azul:*

- ✓ Para trenes que no circulen con ERTMS, ordena parar ante la señal sin rebasarla.

- ✓ Ruta autorizada para Nivel 2 de ERTMS. Si el ERTMS es Nivel 2, ordena continuar la marcha de acuerdo con las indicaciones del DMI.
- ✓ Rojo – Azul con destello: Ruta autorizada para Nivel 1 y 2 (verde), trenes sin ERTMS ordena detenerse (rojo).

En el caso de las señales banalizadas, solo tendrán cuatro aspectos, excluyendo el azul, debido a que no opera con el sistema ERTMS.

#### **4.3.2.3.- Niveles de Operación**

Los niveles de operación se definen para proporcionar una mayor flexibilidad a la hora de utilizar ERTMS. Este sistema de niveles no exige que se instale ERTMS en todas las líneas al mismo tiempo o que se instalen todos los componentes, sino solo parte de ellos. El EVC tiene la obligación de tener implementados todos los niveles, pero no la vía, por lo que este proyecto se centrará en el Nivel 2, aunque se explicaran brevemente los otros niveles.

##### **➤ Nivel 0**

El Nivel 0 fue creado en ERTMS para aquellos casos en los que hubiese tramos de vía que no tuviesen ningún tipo de protección ATP y por los que fueran a pasar trenes ERTMS. Es el nivel que menos protección ofrece, operable en el modo Unfitted, el cual se explica más adelante.

Con el nivel 0 se logra que cualquier tren equipado con ERTMS estará operando bajo las reglas de señalización correspondiente al sistema nacional en ese tramo o trayecto, asociadas a dicho nivel. Puede o no haber señalización lateral, esto depende del grado de instalación disponible en la vía. En cualquier caso, si hay señalización disponible la responsabilidad de supervisar esta señalización es del maquinista y no del EVC.

El equipo de abordaje ERTMS de un tren operando en un área de Nivel 0 proporciona las siguientes funciones:

- Control de la velocidad del tren hasta un valor máximo definido por la autoridad ferroviaria nacional.
- Gestión de la entrada en zonas equipadas con otros niveles de manera interoperable.

- Lecturas de balizas, chequeo de consistencia de la información procedente de las balizas y el guardado de la información.

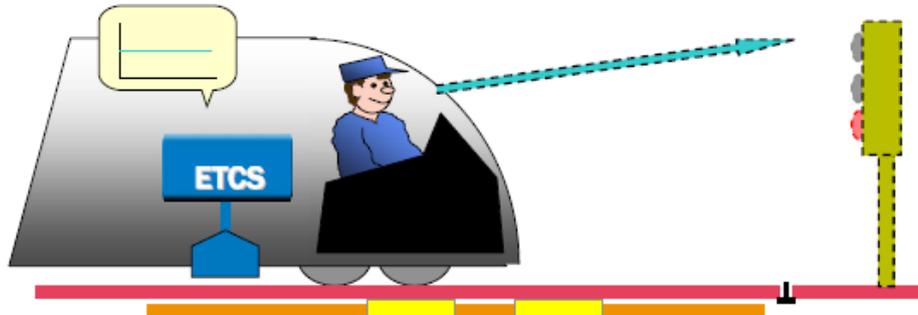


Figura 28 – Nivel 0 de ERTMS [10]

Los circuitos de vía, se utilizan para detectar la posición del tren por parte de la vía, asegurando la detección e integridad del tren, ya que en caso de que el tren pierda la integridad el circuito de vía quedará ocupado y no se liberará al pasar el tren al siguiente circuito.

### ➤ Nivel 1

El Nivel 1 es el primer nivel de supervisión de ERTMS y el grado de supervisión otorgado por este nivel viene dado por la característica de recepción de información puntual de este nivel, es decir, el tren solo recibe información de su autoridad de movimiento en ciertos puntos situados a pie de las señales laterales de las que toma la información correspondiente a la autoridad de movimiento. Entre medio las características de su autoridad de movimiento podrían variar, pero el tren no los cambiaría hasta pasar por encima del siguiente punto de información (balizas de señal). Los circuitos de vía son los responsables de la detección y la integridad del tren.

En el Nivel 1 la información se transmite desde la vía al tren a través de grupos de balizas situadas a lo largo del recorrido. El grupo de balizas es el medio de trasmisión puntual que transmitirá toda la información que el equipo de abordó ERTMS necesita para garantizar el movimiento del tren.

El tren al pasar por encima de la baliza, a través del captador que va emitiendo a una frecuencia determinada, energiza el circuito resonante lo que hace que se transmita la información almacenada en la baliza. La frecuencia de transmisión del mensaje de la baliza es de 4,7 MHz.

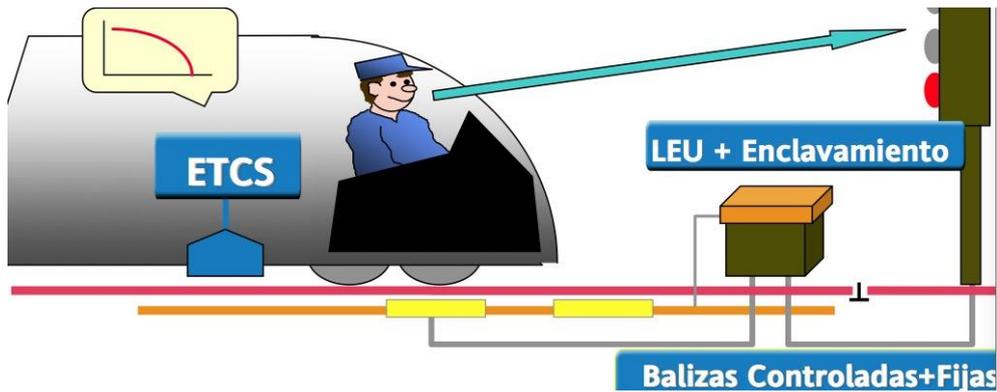


Figura 29 – Nivel 1 de ERTMS [10]

A bordo, el sistema de detección de balizas está formado por el captador de balizas y por el BTM (encargado de tratar la información recibida por el captador), en la vía, por las balizas, las cuales están conectadas a los LEU's obteniendo de los enclavamientos y/o de las señales, la situación de la vía.

La información fija de las balizas está relacionada con parámetros de vía de difícil modificación como, por ejemplo, las restricciones de velocidad por curvas y perfiles de gradientes, siempre que no haya ningún desvío. Son ciertas balizas que tienen información fija grabada y que no cambia, aunque cambien las condiciones de la vía.

La información variable de las balizas está relacionada con la situación del tráfico ferroviario (por ejemplo, la autoridad de movimiento y restricciones de velocidad al paso por agujas), transmiten un telegrama controlado por el LEU que depende de la ruta asignada por el enclavamiento. Las comunicaciones entre el LEU y la baliza son unidireccionales, solo son transmisoras de la información gestionada por el LEU.

### **Funcionalidad Infill**

La información infill (o información previa a la señal) adelanta el estado de la señalización antes de llegar al grupo de balizas situado al pie de la señal. Esta información se tiene que dar una distancia antes de llegar a la señal para que el equipo de abordaje ERTMS tenga tiempo suficiente para tomar las acciones necesarias para cumplir con lo indicado por el estado de la señalización. Esta información puede ser transmitida a través de:

- Baliza Infill: Es un grupo de balizas colocado a una cierta distancia del grupo de señal.
- Eurolazo: Es un equipo basado en un cable radiante que se coloca cerca de la señal y que transmite continuamente el estado de la señal.

- Radio Infill: Se ordena la conexión vía radio con el equipo Radio Infill cuando el tren está a una cierta distancia de la señal y se ordena la desconexión una vez pasada la señal. Un mismo Radio Infill puede controlar varias señales.

➤ **Nivel 2**

El Nivel 2 es un nivel de operación basado en el envío de información desde la vía al tren de forma continua, con lo cual el equipo de abordaje tiene información instantánea de cualquier cambio en el estado de la vía. La transmisión de información es bidireccional entre el equipo de abordaje y la vía, añadiendo la posibilidad de que el equipo de abordaje solicite información al de vía y/o de que le informe del estado actual del tren.

La información se transmite desde la vía al tren por medio de un nuevo elemento de gestor del tráfico: el Radio Block Center (RBC). El sistema radio está basado en la tecnología GSMR, la cual es la tecnología de la telefonía móvil, pero usando una banda de frecuencias reservada para los ferrocarriles. La información que envía el tren vía radio es, además de los datos geográficos de la ruta seleccionada por el enclavamiento, la distancia al próximo obstáculo en la ruta (autoridad de movimiento), sea el circuito de vía o cantón de vía ocupado por el tren que le precede u otro obstáculo que limite su movimiento, es decir, la autoridad de movimiento.

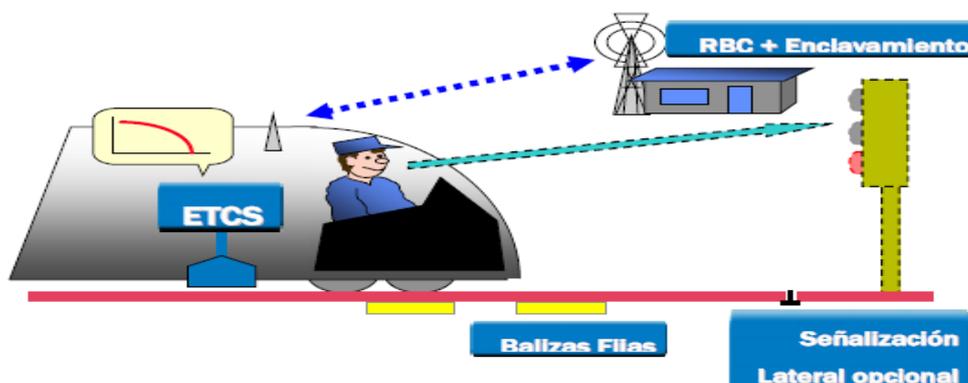


Figura 30 - Nivel 2 de ERTMS [10]

El EVC transmite al RBC su identificación y su posición en la vía para que el RBC pueda enviarle la información de señalización correcta. La gestión del envío de la posición del tren es controlada por el RBC a través de unos parámetros denominados *Position Report Parameters*, en caso de no recibir ningún parámetro, el EVC por defecto envía informes de localización al paso por baliza.

En el Nivel 2 no son necesarias las señales laterales, la información de conducción que recibe el equipo embarcado del RBC, es presentada al maquinista a través del DMI situado en el pupitre

de conducción, si este no atendiera a las indicaciones se aplica automáticamente el freno de servicio.

La detección de la posición del tren se sigue realizando por medio de los circuitos de vía, aunque la localización precisa del tren la realiza la propia Eurocabina, por medio del equipo de odometría, que supervisa continuamente la velocidad de circulación. Para las funciones de localización y corrección de errores de medida, se utilizan las balizas fijas.

### ➤ Nivel 3

El Nivel 3 de operación es una evolución del Nivel 2, que permite conseguir un sistema ferroviario de altas prestaciones e intercambio de información continua entre el RBC y el EVC, en general la mayor parte de la funcionalidad y las características del Nivel 3 son idénticas a las del Nivel 2.

La característica fundamental del Nivel 3 y que le diferencia del Nivel 2, es que al no existir circuitos de vía, se requiere de un equipo a bordo del tren que en todo momento verifique la integridad del tren, esta función controla de alguna manera que la longitud del tren se mantiene intacta, y en caso de detectar un fallo en la integridad del tren, el EVC se lo comunicaría de manera inmediata al RBC para que este tomara las acciones oportunas para asegurar la circulación ferroviaria en las inmediaciones del tren que ha perdido su integridad.

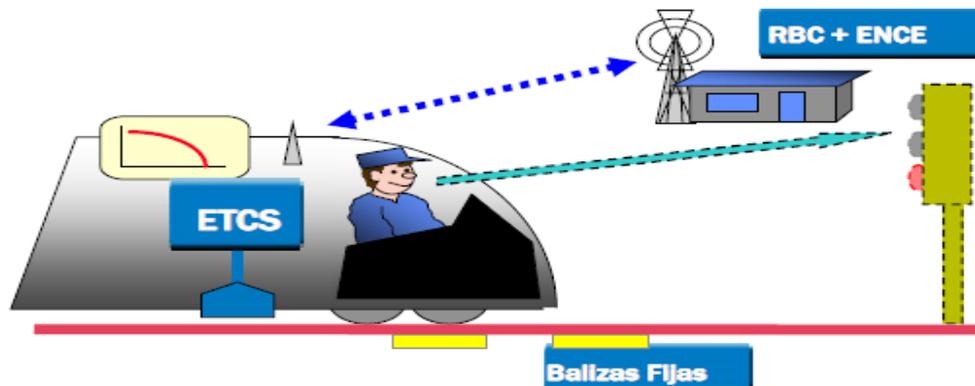


Figura 31 - Nivel 3 de ERTMS [10]

El nivel 3 responde al modo de funcionamiento llamado “moving block o cantón móvil”, el RBC, al no existir circuitos de vía, envía la MA hasta la cola del tren precedente. Este nivel sigue necesitando la existencia de balizas fijas para la relocalización y corrección de posibles errores del sistema de odometría.

### ➤ Nivel STM

El nivel STM se ha creado para que los trenes equipados con el equipo de abordaje ERTMS sean capaces de operar en áreas en las que actualmente hay instalado un sistema ATP.

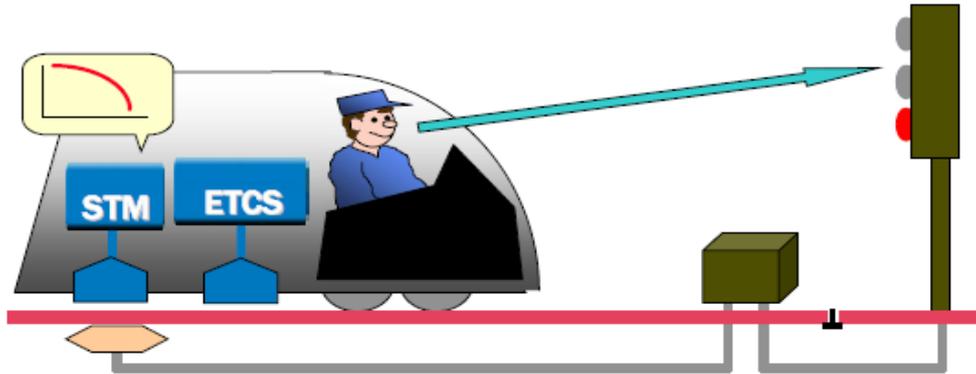


Figura 32 - Nivel 3 de ERTMS [10]

Este sistema permite al equipo ERTMS entrar en un área con equipamiento nacional siendo capaz de utilizar la información que el sistema nacional proporciona y por lo tanto proporcionar el mismo nivel de supervisión que el nacional (que normalmente es mayor que el nivel de supervisión proporcionado por el Nivel 0, nivel al que pasaría si no tuviera el STM disponible). El Nivel STM, por definición, no puede ser interoperable, dado que cada STM tiene una funcionalidad específica.

El equipo ECTS presenta al maquinista la información para la conducción que recibe del STM, en formato ETCS u otro específico en función de las posibilidades de información del ATP nacional y siempre de la forma más coherente. Los circuitos de vía son los responsables de la detección y la integridad del tren.

#### 4.3.2.4.- Transición entre niveles

La transición de niveles en este proyecto se efectuará entre los sistemas embarcados estudiados, ASFA (Nivel 0) y ERTMS Nivel 2. Antes de iniciar la circulación de un tren, el maquinista debe conectar todos los equipos de señalización que vayan a ser utilizados en el recorrido del mismo y poner en servicio el que corresponda al inicio del viaje.

*De ETCS Nivel 0 (con ASFA) a ETCS Nivel 2 [2]*

1. Cuando el equipo ETCS lee la baliza de anuncio de cambio en Nivel 2 se prepara para tomar el control y desconectar el equipo ASFA.
2. El Maquinista recibe un mensaje de texto en el DMI avisándole de la transición.
3. Cuando recibe la orden de cambio de nivel, hacia el Nivel 2, el equipo ETCS desconecta el ASFA, tras lo que asume el control ETCS Nivel 2 y el modo que corresponda.

*De ETCS Nivel 2 a ETCS Nivel 0 (con ASFA) [2]*

1. Cuando el equipo ETCS lee la baliza de anuncio de transición hacia el Nivel 0, se prepara para hacer la conmutación automática a Nivel 0 + ASFA, por lo que se alimenta el equipo ASFA y se envía un mensaje al Maquinista “Transición a Nivel 0” en el DMI.
2. En el momento en que el equipo ETCS conmute a Nivel 0 el sistema ASFA será el que pase a supervisar la conducción.

#### **4.3.2.5.- Modos técnicos de ERTMS**

Según el Reglamento de Circulación Ferroviaria, se entiende por modo técnico de operación “al estado de operación del equipo embarcado en relación con la supervisión que puede ofrecer en función de la información recibida de la infraestructura, en cada uno de sus niveles”.

Los modos técnicos del ETCS son:

- **Isolation (Equipo Aislado):** Se utiliza para cuando surge la necesidad de seguir operando un tren cuando el equipo ERTMS de abordó no está disponible debido a un fallo, además permite aislar el equipo de otro equipo/sistemas de a bordo (incluyendo al conductor) y físicamente aislado de los frenos.

El conductor tiene responsabilidad completa, el tren está sin protección ATP, cuando el equipo ERTMS es aislado éste no tiene responsabilidad alguna. Usado en todos los niveles.

- **No Power (Sin Alimentación):** Este modo se define para mantener una consistencia entre las transiciones de modo: desde apagado al modo de inicio de misión o desde cualquier modo a apagado. También se utiliza para detectar en que momento hay que guardar la información que debe almacenarse antes de quitar la alimentación al equipo.

El equipo ERTMS de a bordo no tiene ninguna responsabilidad excepto cuando ordena el freno de emergencia. Usado en todos los niveles.

- **System Failure (Fallo del sistema):** Es un modo seguro en el cual el equipo ERTMS entra, cuando detecta que se ha producido un fallo grave que impide que el equipo pueda continuar realizando su función de supervisión del sistema con seguridad. La supervisión realizada por el EVC no se realiza con el nivel de seguridad exigido.

El maquinista no tiene la responsabilidad de actuar sobre el equipo. El equipo ERTMS es el responsable de mandar los frenos de emergencia. Se usa en todos los niveles.

- **Stand By (En Espera):** Modo utilizado para el inicio del equipo (se deben introducir los datos del tren al inicio de la misión), para su autocomprobación y la de los dispositivos periféricos. El tren permanece parado por la acción de los frenos.

La entrada en Stand By se realiza a través de la acción del maquinista. Se usa en todos los niveles.

- **Full Supervision (Supervisión Completa):** Modo en el cual se proporciona la mayor cantidad de protección dentro del ERTMS, siendo el modo más deseable dentro de una explotación ferroviaria.

En este modo como se tiene la mayor cantidad de información posible de la vía es posible una supervisión completa evitando que el tren entre en posibles situaciones peligrosas a través de un control de los datos en tiempo real, por lo que no solamente evita que se sobrepase la velocidad máxima permitida, sino que además dirige al maquinista para alcanzar las velocidades objetivo con total seguridad.

El equipo ERTMS es totalmente responsable de la protección del tren cuando se encuentre operando en este modo, cuando se produce la entrada al modo Full Supervision el maquinista es responsable de conducir el tren, pero en caso de que no actúe correctamente el equipo le avisa, llegando a aplicar el freno de emergencia. Se usan en los niveles 1, 2 y 3.

- **Staff Responsible (Responsabilidades del Maquinista):** Este modo es lo que se podría llamar un modo de operación de tránsito que se utiliza hasta que el equipo ERTMS obtenga información suficiente de la vía para poder transitar a un modo de mayor

supervisión. Así como el modo Stand By es un modo de adquisición de datos del tren, el modo Staff Responsable se podría definir como un modo de marcha a la vista.

La responsabilidad recae en el maquinista hasta que se adquieren los datos necesarios para transitar a un modo de mayor supervisión. Se usa en los niveles 1,2 y 3.

- **Shunting (Maniobra):** Este modo se utiliza para permitir al tren realizar movimientos de maniobras bajo “cierta” supervisión del equipo ERTMS, y es el único modo que permite movimiento hacia delante y hacia atrás sin ningún tipo de distinción. Las maniobras son en general movimientos fuera del control de la señalización.

El equipo ERTMS de a bordo es responsable de la supervisión del límite de velocidad de maniobras. El conductor es responsable de los movimientos del tren y de todas las operaciones. Usado en niveles 0, 1, 2 y 3.

- **On Sight (A la Vista):** Se utiliza para permitir entrar a un tren en una zona que puede estar ocupada por otro tren u obstruida por un obstáculo. El equipo de a bordo supervisa movimientos de tren contra un perfil de velocidad dinámico. El equipo ERTMS de abordo mostrará la velocidad del tren al conductor.

El equipo ERTMS es responsable de la supervisión de los movimientos de tren. El conductor es responsable de comprobar que la ocupación de pista no esté ocupada. Usados en niveles 1, 2 y 3.

- **Sleeping (Durmiendo):** Este modo se utiliza para mover varias unidades tractoras conectadas eléctricamente entre sí. Uno de los equipos EVC se comportará como el maestro y el otro como esclavo, en este caso la unidad que esté en el modo Sleeping será el equipo esclavo, siendo controlado remotamente por el maestro. El EVC del maestro irá en el modo ERTMS necesario para supervisar el movimiento del tren.
- **Unfitted (Obsoleto):** Se utiliza en vías que no son equipadas con ningún sistema de señalización ERTMS, o se está instalando o en vías que hay un sistema ATP nacional. Se supervisa la velocidad máxima del tren frente al valor nacional. Se le muestra la velocidad al maquinista.

El equipo ERTMS supervisa las limitaciones de velocidad. El maquinista debe respetar todas las señales y es total responsable de los movimientos de tren. Usado en nivel 0.

- **Trip (Rebase Indebido):** Se pone en este modo cuando el equipo de abordaje detecta una situación peligrosa, cuando excede un MA, pierde comunicación con el RBC (niveles 2 y 3) o si excede la velocidad permitida mandará el ERTMS que actúen los frenos de emergencia. Primero el equipo de abordaje manda una advertencia al conductor, cuando el tren pare el maquinista debe hacer un reconocimiento del tren.

El equipo ERTMS es el encargado de parar al tren y mantenerlo en la posición de parada. El conductor no tiene ninguna responsabilidad del movimiento del tren. Usado en niveles 1, 2 y 3.

- **Post Trip (Después del Rebase):** Se entra en este modo inmediatamente después de pasar por el modo TRIP y haber recibido el reconocimiento del maquinista. En este modo se liberará el freno de emergencia, el equipo de a bordo solo permitirá mover hacia atrás el tren una distancia dada (valor nacional) por si existiese una situación potencialmente peligrosa.

El equipo ERTMS de a bordo es responsable de supervisar los movimientos del tren y que no excedan de una distancia permitida. El maquinista es responsable del movimiento hacia atrás del tren. Usado en niveles 1, 2 y 3.

- **STM Nacional:** Se utiliza cuando se circula por una línea equipada con un sistema de señalización nacional. El módulo STM mantiene la funcionalidad del sistema nacional e interacciona con el equipo fijo de vía.

En este modo, el maquinista debe respetar los procedimientos establecidos para el sistema nacional. Usado en el Nivel STM.

- **Reversing (Marcha Atrás):** Este modo se utiliza para cambiar el sentido de la marcha del tren y conducir desde la misma cabina. Esto solo es posible en un área de retroceso previamente anunciado por el equipo fijo de vía. El equipo embarcado mostrará la velocidad del tren, la velocidad permitida y la distancia restante por recorrer.

El equipo ERTMS supervisa una velocidad máxima y una distancia para recorrer en dirección inversa. El conductor debe responsabilizarse del movimiento del tren dentro de la distancia permitida por recorrer.

#### 4.3.2.6.- Arquitectura del sistema

Debido a la naturaleza de las funciones requeridas para su funcionamiento, el sistema ETCS se encuentra instalado parte en vía y en parte a bordo de los trenes definiendo así dos subsistemas: el subsistema vía y el subsistema embarcado [2], que dependiendo del nivel de aplicación puede estar compuesto por los siguientes elementos:

##### *Subsistema de vía:*

- Eurobaliza: Es un dispositivo de transmisión puntual de información que envía telegramas al sistema ETCS embarcado. Pueden transmitir telegramas fijos (predeterminados) o, conmutables, esto es, variables en función de la señalización. Las eurobalizas están organizadas en Grupos de Balizas (BG) dentro de los cuales cada baliza transmitirá un telegrama al equipo ETCS embarcado, que circule sobre ellas.
- Unidad Electrónica de Línea (LEU): Son dispositivos electrónicos que conectan el enclavamiento con las eurobalizas conmutables. Su función es la de transmitir a las eurobalizas los telegramas variables en función de las condiciones de la señalización.
- Centro de Bloqueo por Radio (RBC): Es un sistema informático que elabora los mensajes a enviar, vía radio, al equipo ETCS embarcado en función de las condiciones de la señalización y de la información intercambiada con dicho subsistema embarcado. El principal objeto de estos mensajes es proporcionar autorizaciones de movimiento que permitan a los trenes circular con seguridad por la zona de infraestructura bajo la responsabilidad del RBC.
- Puesto de control ETCS (PCE): Puesto que gestiona las aplicaciones de control de ETCS de forma centralizada. El PCE permite al operador establecer y anular “limitaciones temporales de velocidad máxima”.
- Euroradio (GSM-R): Es un sistema de comunicaciones vía radio que se utiliza para el intercambio de mensajes en ambos sentidos entre los subsistemas ETCS embarcados y los RBC.
- Eurolazo o unidad de información previa vía radio: Son dispositivos opcionales para líneas equipadas con Nivel 1. Proporcionan información con antelación al equipo ETCS

embarcado, relativa a la próxima señal principal en el sentido de marcha del tren. De momento no son operativos.

***Subsistema embarcado:***

- EVC (*European Vital Computer*): Es el núcleo central del ERTMS, realiza las funciones propias de ERTMS y controla al resto de los elementos, muestra la información al DMI.
- STM (*Specific Transmission Module*): Ejecuta funcionalidad equipo nacional de vía.
- DMI (*Driver Machine Interface*): Es el dispositivo encargado de transmitir y presentar al conductor del vehículo, la información relevante de la ruta a seguir por el tren.
- JRU (*Juridical Recorder Unit*): Su función es la recopilación y registro de datos relevantes de la misión, para el esclarecimiento de responsabilidades en caso de accidentes o fallos ocurridos durante la marcha del tren.
- TIU (*Train Interface Unit*): Por medio de este equipo se conecta la eurocabina con el tren.
- BTM (*Balise Transmission Module*): Se ocupa de la recepción de información a través de eurobalizas.
- Euroradio: Se ocupa de gestionar las comunicaciones radio GMS-R.
- Odometría: Capta y procesa las señales que proporcionan velocidad y localización del tren.

La figura 33 muestra un diagrama de bloques con las funciones más importantes del ECTS, de acuerdo a las especificaciones de UNISIG, donde se muestra los subsistemas de vía y del tren, además de los interfaces entre los diferentes módulos para garantizar la interoperabilidad, con las siglas FFFIS (Form Fit Functional Interface Specification).

La terminología FIS (Functional Interface Specification) se usa para interfaces que necesitan una adaptación técnica específica.

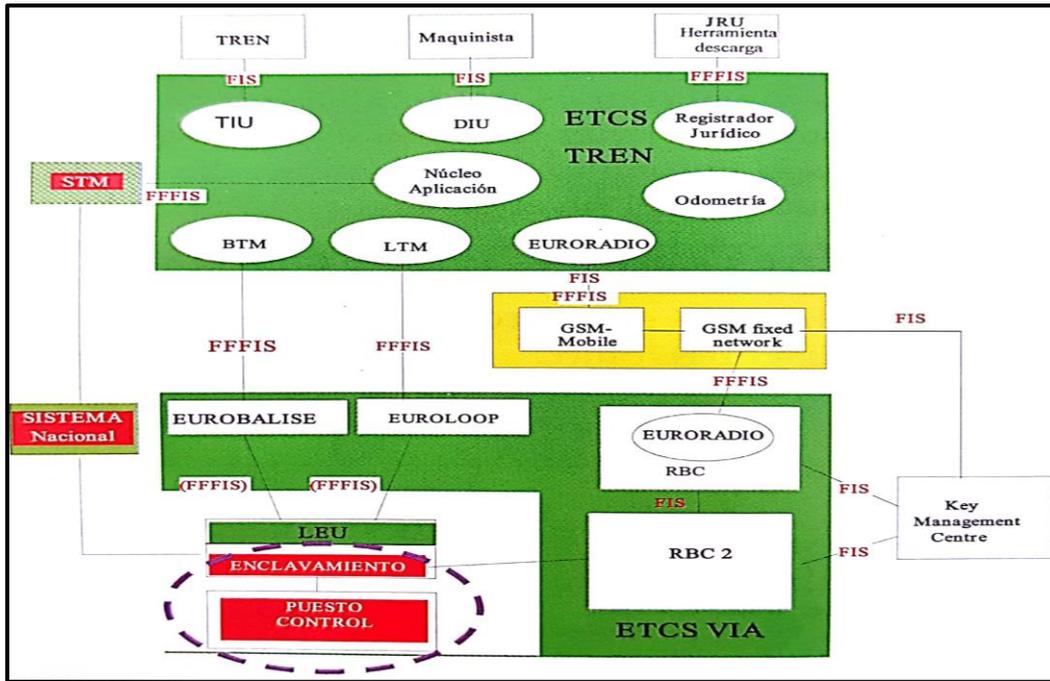


Figura 33 – Arquitectura del sistema ERTMS [6]

#### 4.3.2.7.- Arquitectura para ERTMS Nivel 2

La arquitectura de vía en el Nivel 2 de ERTMS es diferente a los otros niveles, por lo que a continuación se exponen los equipos necesarios para la operación de trenes a 300 km/h, el cual marca el objeto de estudio de este proyecto. La interacción y componentes más relevantes del sistema se muestran en la figura 34, las cuales son explicados a continuación.

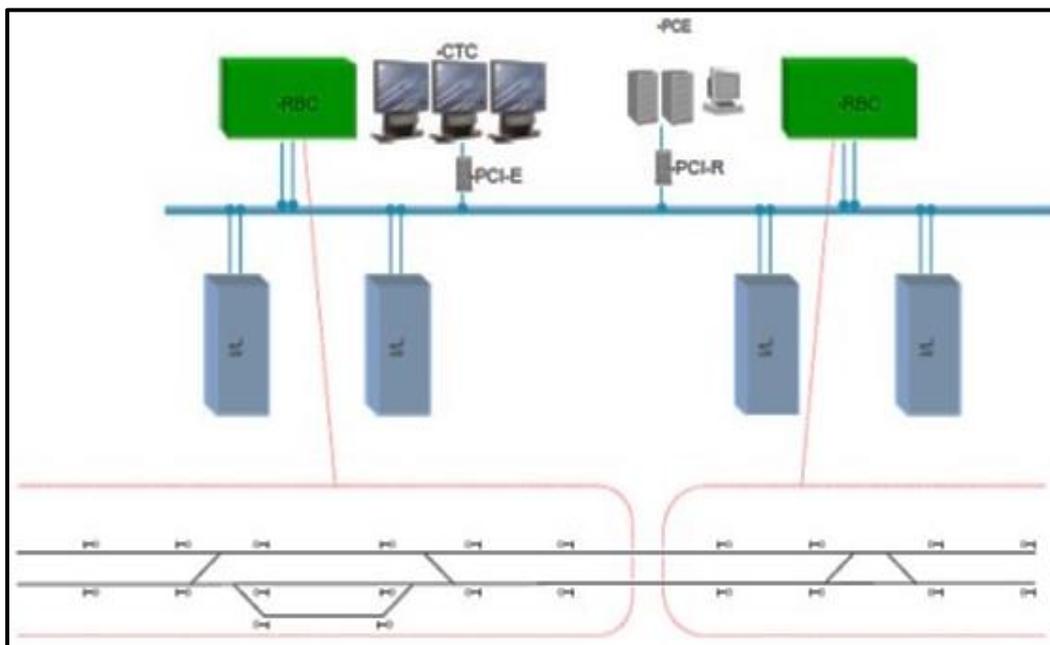


Figura 34 – Arquitectura de ERTMS Nivel 2 [10].

#### 4.3.2.7.1.- Radio Block Center (RBC)

Son los encargados de gestionar la supervisión de los trenes, con lo que estarán en comunicación continua a través de la red de comunicaciones GSM-R, enviando las autorizaciones de movimiento que correspondan, según la situación y las informaciones recibidas de los enclavamientos.

El RBC es un equipo SIL4 conforme a la norma CENELEC del subsistema de vía responsable de la seguridad de los trenes equipados con ERTMS Nivel 2.

En este proyecto se instalarán tres RBC en toda la línea (Figura 35), acompañados de un equipo de operación local (PLE), un equipo de mantenimiento local (SAM) y un registrador jurídico local (JRU). Las consideraciones para colocar tres RBC son:

- La línea tendrá tráfico homogéneo, y a velocidad constante, máxima de 300 km/h.
- Intervalo entre trenes cada 6 minutos.
- Se ha considerado un número limitado de trenes parados en estaciones, máximo 5.

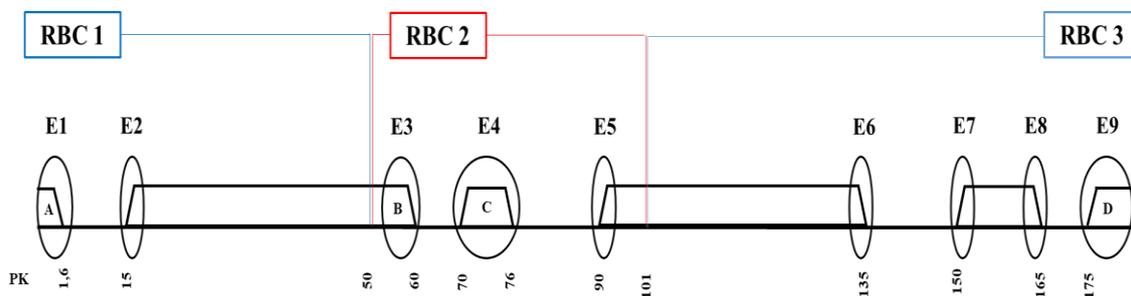


Figura 35 – Ubicación y área de influencia de cada RBC

1. El *RBC 1* está ubicado en la Estación A (PK 0), abarcando E1, E2, equipos y circuitos de vías hasta el PK 50.
2. El *RBC 2* está ubicado en la Estación B (PK 59), comprende la sección de línea desde el PK 50 hasta el PK 101, cubriendo E3, E4, E5, equipos y circuitos de vía en el área.
3. El *RBC 3* está ubicado en la Estación D (PK 180), abarcando los enclavamientos E6, E7, E8, E9, equipos y circuitos de vías, desde el PK 101 hasta el PK 180.

El RBC se comunica con los siguientes equipos:

- Con sus periféricos locales correspondientes a través de una red local instalada en el mismo local del RBC, y con los otros RBC a través de la red de señalización. La interfaz entre RBC debe realizarse de acuerdo a la norma UNISIG.
- Con los enclavamientos instalados en el mismo local del RBC o en sus dependencias a través de la red de señalización de acuerdo a parámetros nacionales.

Se transmite en tiempo real la información de operación, mantenimiento y registradores jurídicos al Puesto Central ERTMS (PCE) a través de la red de señalización y red operativa. La figura 36 muestra un ejemplo de la utilización del RBC.

- **Puesto Local de Operación (PLE)**

Gestiona la zona que le ha estado asignada, que es la misma que la del ENCE. Está pensado para coger el control del GR (Gestor ERTMS) en caso de que se pierda la comunicación con el Puesto Central, o se averíe alguno de los equipos del PCE, por tanto, tiene la misma funcionalidad que el PCE, pero en su zona asignada. Se le puede adjudicar el mando desde el PCE o por emergencia.

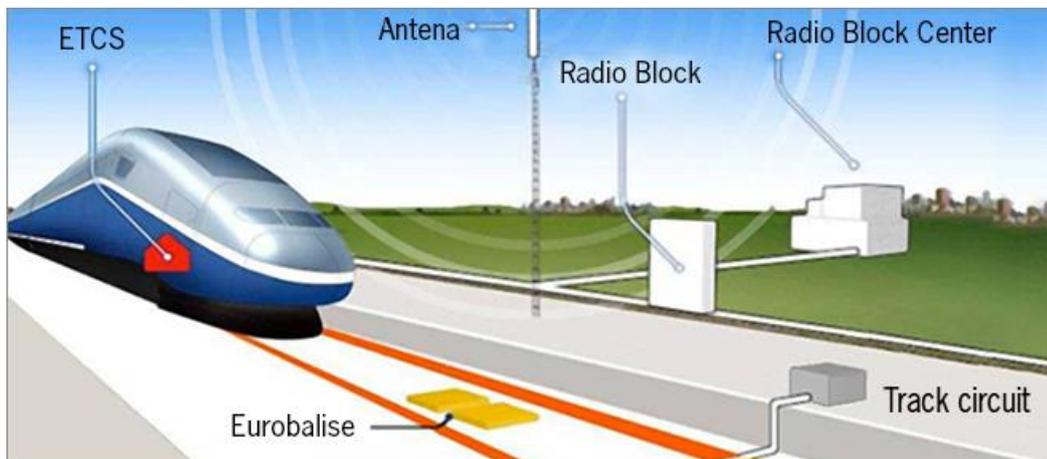


Figura 36 – Ubicación de equipos en vía Nivel 2 de ERTMS [www.auxitec.es]

- **Sistema de Ayuda al Mantenimiento (SAM)**

Este sistema permite el registro y la visualización de estado del sistema y de diferentes mensajes de avería e incidencias del RBC.

- **Sistema de Registrador Jurídico (JRU)**

Este puesto asegura la grabación de información con valor jurídico, guardando todos los mensajes, incidencias y averías del RBC acompañados de su correspondiente marca temporal.

#### **4.3.2.7.2. – Puesto Central de Interfaces ERTMS (PCI-E)**

Es un equipo de interface de comunicaciones, a través del cual, el PCE se comunica con los equipos locales, con GR y con PLE.

#### **4.3.2.7.3.- Puesto Central de Interfaces del RBC (PCI-R)**

Aísla la red de comunicaciones privada de señalización del lado de los RBC, de la red operativa en tiempo real del PCE.

#### **4.3.2.7.4.- Puesto Central ERTMS (PCE)**

Es un sistema de control centralizado para efectuar la supervisión y mando del Sistema ERTMS/ETCS Nivel 2 desde un único punto.

- Permite realizar las funciones asociadas al equipo de control y operación del RBC (PLE y GR).
- Permite las funciones asociadas al equipo de mantenimiento del RBC (SAM-R).
- Permite las funciones asociadas al registro jurídico del RBC (JRU-R)

La diferencia con el PLE, será en el ámbito de utilización, y prioridad de caso de conflicto, los PCE controlan la línea completa, mientras que los PLE controlan la zona de la línea correspondiente a su enclavamiento.

A continuación, se muestra en la figura 37, la interfaz entre los distintos equipos y puestos necesarios para el control y operación del sistema ERTMS Nivel 2, definidos por la ubicación del RBC 1 en la Estación A.

En los *Anexos F y G* se muestra la configuración de los RBC 2 y 3, ubicados en las Estaciones B y D respectivamente.

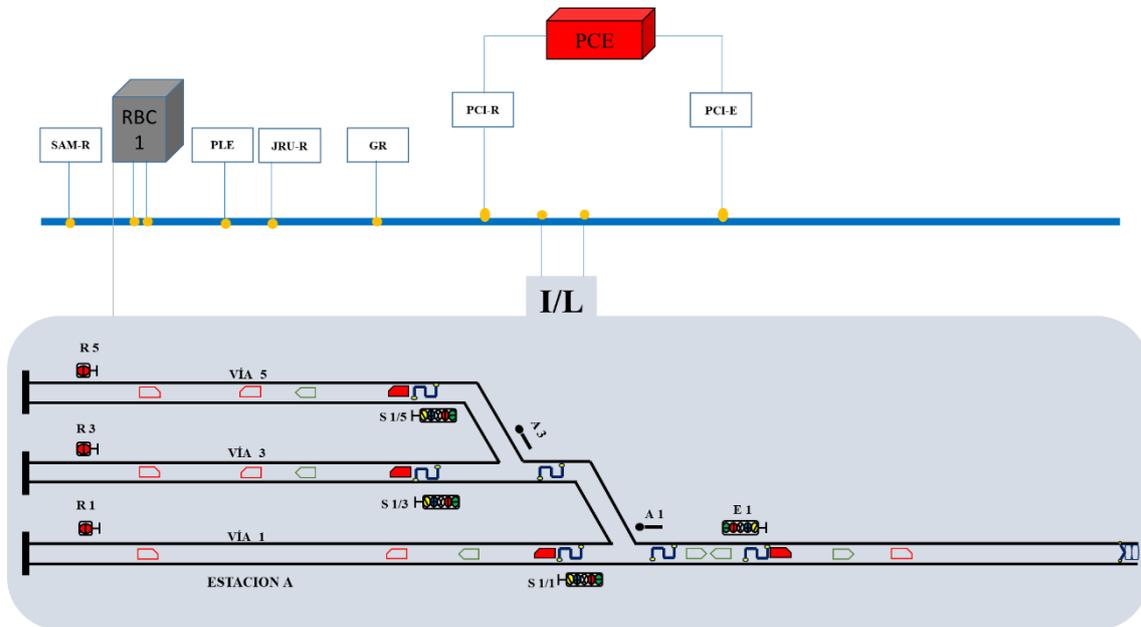


Figura 37 – Arquitectura del sistema en la Estación A

#### 4.3.2.7.5.- Balizas ERTMS

La Eurobaliza es el equipo que permite la transmisión de telegramas ERTMS a los trenes a su paso sobre ellas. Son instaladas en el centro de la vía y fijadas a la traviesa mediante un soporte específico.

En el Nivel 2 de ERTMS, las balizas cumplen una función de localización del tren, y a diferencia del Nivel 1 de ERTMS, solo necesitan las balizas fijas, no se necesitan las balizas conmutables, al igual que el elemento al que están conectadas: LEU, representando un ahorro significativo en equipos en el nivel implementado en este proyecto.

La distancia entre grupos de balizas fijas de relocalización será máxima de 1500 metros, puesto que el sistema de protección de trenes en Nivel 2 utiliza el RBC para enviar las autorizaciones de movimiento a los trenes, y los trenes envían al RBC correspondiente informes de su posición cada cierto tiempo, conteniendo información detallada sobre su posición con respecto al último grupo de balizas encontradas en la vía.

En este proyecto se utilizarán grupos simples de balizas para disminuir el coste de la instalación. Los grupos simples de balizas están formados por una única baliza en los que la dirección de paso del grupo se establece a través del enlace de balizas enviado por el RBC.

## **Posición de las Eurobalizas**

1. Las balizas fijas ERTMS serán colocadas a 200 metros antes de las señales de entrada y salida de cada estación, y a 300 metros de las señales entre estaciones. Las señales de avanzada al no utilizarse en el Nivel 2 de ERTMS, no tendrán balizas.
2. También se colocarán balizas ERTMS a 300 metros antes del final de cada circuito de vía ubicado entre estaciones, en el sentido de circulación regular del tren, cuando se tratan de vías dobles, en el caso de vía única, se colocará una baliza por sentido al final de cada circuito de vía. Su objetivo es mejorar la precisión de parada en caso de tener una autoridad de movimiento hasta el final del cv además de la relocalización en caso de no tener que parar.

Cuando se circule en modo degradado utilizando las señales de vía banalizada (BAB), el maquinista irá en marcha de maniobras con marcha a la vista, por lo que no se utilizará el sistema ERTMS en dicho movimiento. De esta forma se consigue una instalación sencilla a un coste reducido en equipamiento e ingeniería. Se podrían incluir los equipos de vía, pero como consecuencia el gasto sería mayor, además que no será un movimiento que se dé con frecuencia.

### **4.3.2.8.- Diseño final de línea**

Siguiendo los parámetros anteriormente mencionados se ha procedido al diseño final de la línea ferroviaria propuesta para permitir la circulación de 5 trenes/hora a 200 km/h y 10 trenes/hora a 300 km/h.

En el Plano General se puede observar la longitud total de la línea con las cuatro estaciones y zonas de paso de vía única a doble, y viceversa, además de la ubicación de los enclavamientos y el área de actuación de cada RBC.

El resto de planos muestra de forma más detallada las diferentes señales de entrada y salida de estaciones, avanzada, banalizadas y de bloqueos, circuitos de vías ya sea por alimentación lateral o central, además de las balizas ASFA y ERTMS.

## V.- CONCLUSIONES Y APORTACIONES

Las soluciones constructivas de vías ferroviarias tienen como base, el estudio de la cantidad de personas que se quieren transportar según los núcleos urbanos conectados en la línea, por consiguiente, el número de trenes a operar, y en base a esto, proyectar y construir líneas en vía doble o con tramos vía única. En el caso de este proyecto, con la propuesta inicial de línea, la capacidad sería de dos o tres trenes / hora. Para cumplir con la necesidad de cinco y diez trenes / hora, se ha tenido que incrementar desde un 47,7% a un 65,3% en secciones de vía doble de la longitud total de la línea, por lo que se puede concluir que es importante conocer y estimar el incremento de circulaciones en un plazo de 40 años. En ciertos casos, la combinación vía simple – vía doble es una solución razonable, debido a los menores costes en infraestructura y mantenimiento.

En cuanto al análisis de riesgo, se demuestra la importancia que tienen la selección correcta de los aparatos de vías, sistemas y elementos de señalización complementarios, para dotar a las instalaciones de un alto nivel de seguridad, desde el diseño y planificación de una línea ferroviaria, tanto en las estaciones de paso y terminales, a través de los enclavamientos, como en los tramos entre las estaciones, a través de los bloqueos.

Se han estudiado las señales laterales y aparatos de vías, para posteriormente añadirlas en el diseño de la línea, siguiendo la normativa nacional, para permitir la circulación de trenes a 200 km/h, de acuerdo a los itinerarios definidos en cada enclavamiento, por los cuadros de movimientos e incompatibilidades, y de los bloqueos en vía única y doble a través de las señales dispuesta entre estaciones, estos reflejan la circulación de trenes a su derecha, y en caso de avería de la vía principal poder circular en vía banalizada, en régimen maniobra y con marcha a la vista, a través de las señales específicas de banalización dispuestas en los tramos de paso de vía única a doble y viceversa, y en estaciones.

Los circuitos de vías por audiofrecuencia se han incluido debido a su detección segura del tren y de carril roto, inmunidad frente a la tracción, longitudes de entre 50 y 2500 metros de circuitos de vías y mínimas zonas muertas. Estos se han ubicado en las señales principales, y entre estaciones, cada 1000 metros, en el caso de los circuitos de vías de alimentación lateral, y la alimentación central mayoritariamente entre estaciones cuando se sobrepasan los 2000 metros de longitud.

Se ha dispuesto del Nivel 2 del ERTMS, debido a las prestaciones dadas en trenes de alta velocidad, utilizando la red GSM-R para la transmisión de las autorizaciones de movimiento a los

trenes bajo su supervisión. Los tiempos de instalación en la vía y de mantenimiento se reducen, debido a que solo se necesitan las balizas fijas para las funciones de odometría del tren y relocalización, prescindiendo también del codificador LEU. En este proyecto se han dispuesto de balizas fijas a 300 metros antes de las señales de entrada, salida y de bloqueo. En el caso de las señales banalizadas no se han incluido estas balizas, ya que no es movimiento regular de la línea. También se han previsto de tres RBC a lo largo de la línea, por ser suficientes en la capacidad de trenes esperada, además del elevado costo de estos equipos. El diseño final de la línea permite un tráfico mixto (circulación de trenes con sistema embarcado ASFA y ERTMS).

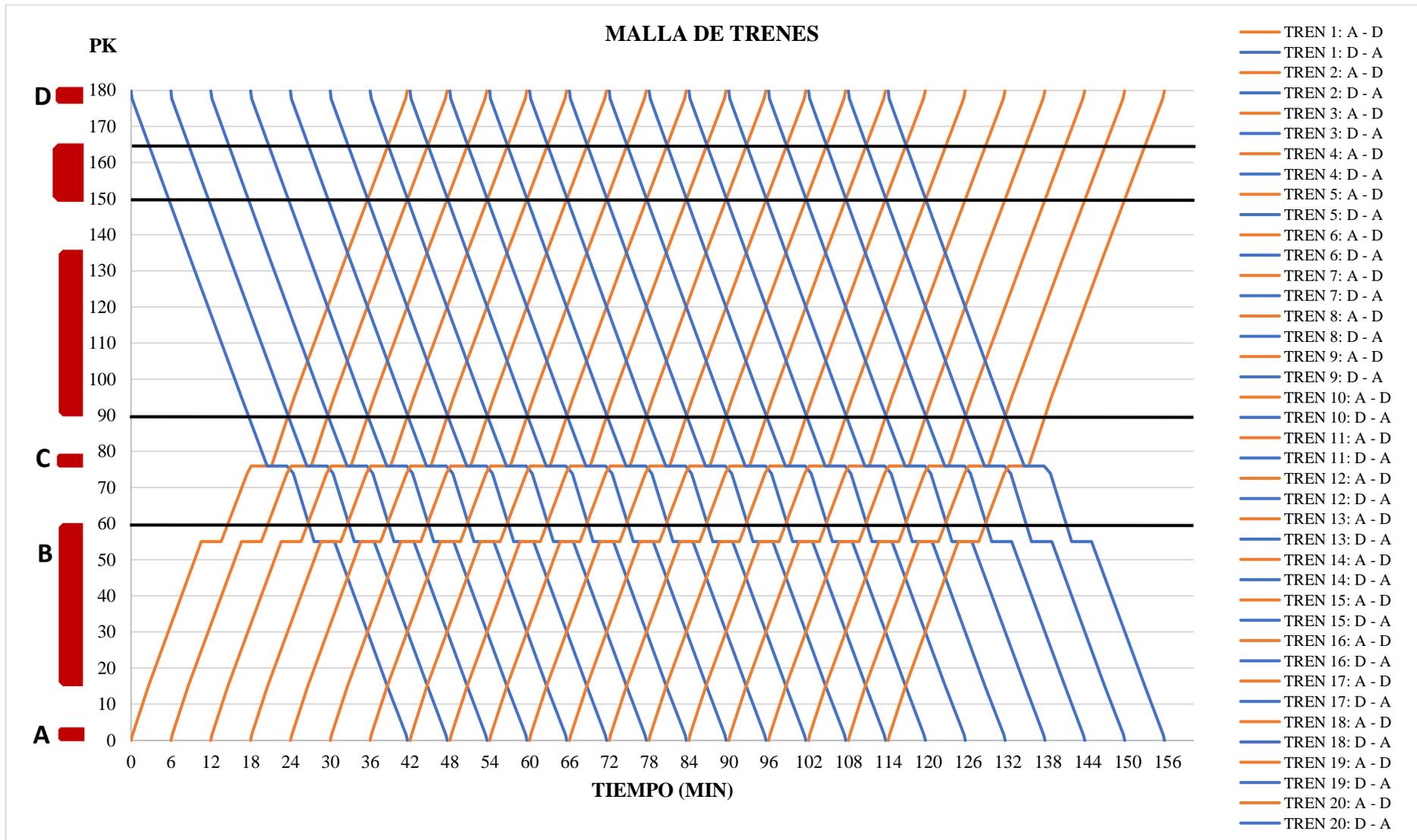
Las aportaciones de este trabajo son:

- Presentar el estudio previo de la capacidad de transporte de una línea (programa de explotación) en su fase de diseño para verificar que la capacidad de transporte prevista tanto a corto plazo como en el medio plazo se puede alcanzar.
- Presentar antes de comenzar la construcción de la línea, las modificaciones necesarias para alcanzar la capacidad de transporte prevista.
- Proceso de análisis de capacidad en líneas ferroviarias construidas a modificar, teniendo en cuenta los núcleos de población involucrados, y la perspectiva de futuro en cuanto al aumento de la demanda.
- Constatar que para una capacidad de tráfico de 10 trenes/hora (300km/h) difícilmente se puede conseguir de forma operativa con una línea en vía única, siendo necesario considerar trazados en vía doble.
- Diseño del sistema de control, mando y señalización para una línea prevista para circulación de trenes a 200 km/h con un tráfico de 5 trenes/hora.
- Incorporación a la línea de un sistema de protección ETCS (ERTMS) para permitir la circulación de trenes a 300 km/h y tráfico de 10 trenes/hora.
- Análisis del funcionamiento híbrido (mixto) de trenes equipados con ERTMS y trenes con señalización ASFA.

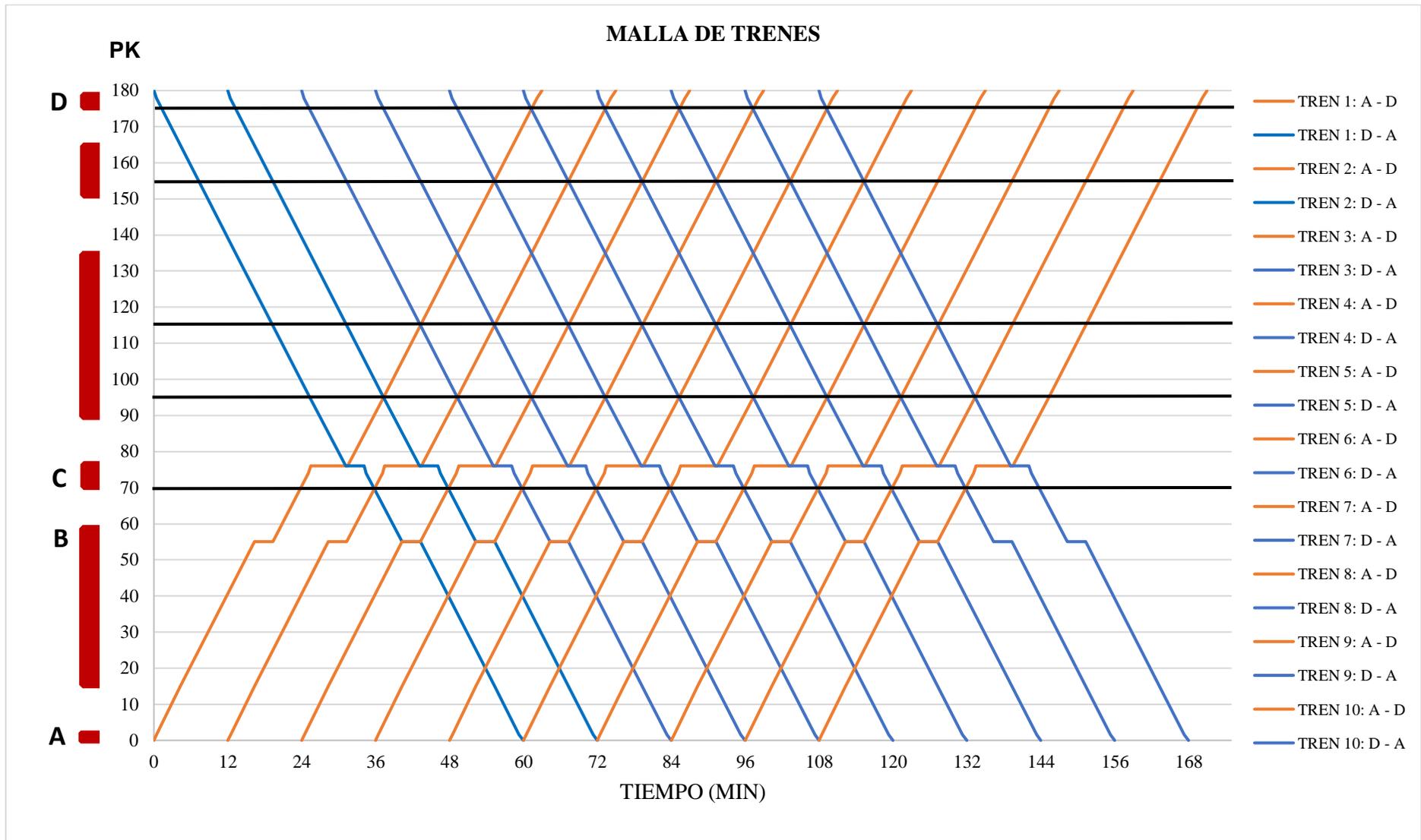
## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Enrique Castillo Instituto. 2013. *Una propuesta metodológica para racionalizar inversiones en infraestructuras de alta velocidad ferroviaria. Aplicación a la línea Palencia – Santander.*
- [2] España. Real Decreto 664/2015, de 17 de julio. *Reglamento de Circulación Ferroviaria.* Boletín Oficial del Estado, 18 de julio de 2015, núm. 171, pp. 59526 a 59860.
- [3] Iglesia Díaz, Jorge Ignacio. 2012. *El lenguaje ERTMS.* Madrid, España. Máster en Sistemas Ferroviarios - Universidad Pontificia de Comillas.
- [4] Internet. (2007). *El sistema ERTMS.* [Documento en línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2240810>.
- [5] Martín Lucas, Emilio. (2013). *La fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad ferroviaria.* Madrid, España, Máster en Sistemas Ferroviarios - Universidad Pontificia de Comillas.
- [6] Montes Ponce de León, Fernando. (2017). *Los sistemas de control de tráfico y señalización en el ferrocarril* (Segunda Edición). Madrid, España. Editorial Universidad Pontificia de Comillas.
- [7] Soler, José Miguel y Mateo, Carlos. (2017). *Señalización y Sistemas Informáticos.* Madrid, España. Máster en Sistemas Ferroviarios - Universidad Pontificia de Comillas.
- [8] Unión Europea. Norma Europea EN 50126 de septiembre de 1999. *Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (RAMS).*
- [9] Universidad Politécnica de Cartagena. 2013. *Instalación Ferroviaria.* [Documento en línea]. Disponible en: <http://ocw.bib.upct.es>
- [10] Valero Sabater, Sonia. 2015. Título: *ERTMS y RAMS. El sistema de señalización europea ERTMS.* Madrid, España. Máster en Sistemas Ferroviarios - Universidad Pontificia de Comillas.

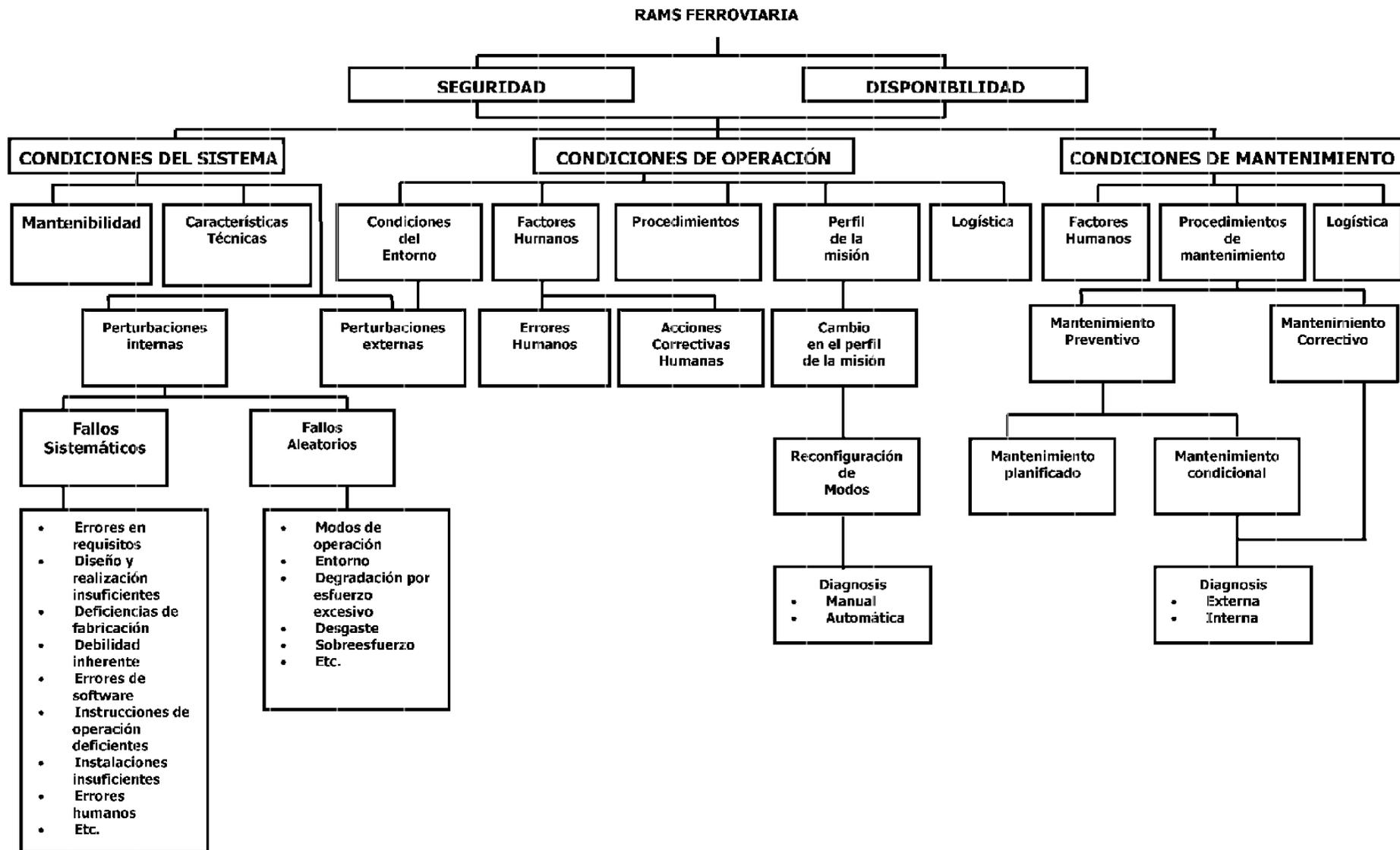
## **ANEXOS**



ANEXO A – Modificación de vía para permitir 10 trenes a la hora a 300 km/h



ANEXO B – Modificación de vía para permitir 5 trenes a la hora a 200 km/h



Anexo C – Factores que influyen en la RAMS Ferroviaria

N°	Amenazas	Causas	Consecuencias	Severidad	Probabilidad	Riesgo Inicial	Mitigación	Riesgo Final
1	<p>No posicionar el desvío conforme a lo ordenado por el enclavamiento.</p> <p>(I/F Externo el I/L)</p> <p>(I/F Instalación y mantenimiento)</p> <p>(I/F Externo: Medio ambiente)</p>	<p>Se ordena movimiento y no responde:</p> <p>*Las condiciones ambientales impiden el movimiento del accionamiento.</p> <p>*Avería interna / desconexión.</p> <p>*Error en instalación / mantenimiento.</p>	Colisión / Descarrilo	CAT	PRO	INT	<p>*El accionamiento debe detectar y proporcionar al I/L la posición del desvío. Función de Comprobación.</p> <p>*Seguir los manuales (instalación según contexto operacional / ambiental). Cumplir SRACs de producto (si existen).</p> <p>*Si el desvío no comprueba el I/L, cierra la señal que lo protege.</p> <p>*La mitigación es un requisito / función de seguridad que precisa integridad SIL 4 para que el riesgo inicial pase a despreciable. Justificado por los Safety Case + ISA (probado por uso).</p>	DESP
		<p>Se queda a medio camino.</p> <p>*Objeto impide terminar el recorrido.</p> <p>*Avería interna.</p> <p>*Ajuste incorrecto.</p>	Colisión / Descarrilo	CAT	PRO	INT	<p>El accionamiento debe detectar y proporcionar al I/L la posición del desvío. Función de comprobación.</p> <p>*Seguir los manuales (ajuste / galgado). Cumplir SRACs de producto (si existen).</p>	DESP

		<p>Movimiento hacia el lado no ordenado.</p> <p>*Error en instalación / mantenimiento.</p> <p>* Avería interna.</p>	Colisión / Descarrilo	CAT	PRO	INT	<p>El accionamiento debe detectar y proporcionar al I/L la posición del desvío. Función de comprobación.</p> <p>*Seguir los manuales (pruebas de concordancia). Cumplir SRACs de producto (si existen). Justificado por los Safety Case + ISA (probado por uso).</p>	DESP
		<p>Cortos y derivaciones en señales de mando y comprobación.</p>	Colisión / Descarrilo	CAT	PRO	INT	<p>*El accionamiento debe detectar y proporcionar al I/L la posición del desvío. Función de comprobación.</p> <p>*Instalación de cableado que evite cortes y derivaciones / cortos de otros accionamientos. Seguir manuales.</p>	TOL
2	Instalación errónea de las señales	<p>*Error de diseño.</p> <p>* Avería interna.</p> <p>*Error en instalación.</p>	Colisión / Descarrilo	CAT	OCA	INT	<p>*Debe haber coincidencia entre el enclavamiento y las señales instaladas. Función de comprobación.</p> <p>*Seguir los manuales de instalación.</p> <p>* Cumplir SRACs de producto (si existen).</p> <p>* Elaborar informes de acometida de la instalación siguiendo manuales.</p>	DESP
	Fallo / Averías de las señales	<p>*Avería interna / desconexión.</p> <p>*Error en instalación / mantenimiento.</p>	Colisión / Descarrilo	CAT	OCA	INT	<p>*Pruebas en campo (concordancia) e integración, trazados a requisitos de subsistemas y sistema. (SAT).</p> <p>*Seguir los manuales de instalación y mantenimiento.</p>	DESP

		*Ajuste incorrecto.					*Registro de datos. *Informe de Plan de puesta en servicio.	
<b>3</b>	Posición incorrecta de una baliza: *Altura incorrecta *Desplazamiento lateral	*Error de diseño (requisitos / validación).  *Error en instalación / mantenimiento.	Colisión / Descarrilo	CRI	IMP	TOL	*Definición de requisitos completos y consistentes (Verificación / Validación). FRS. *Seguir manuales de instalación y mantenimiento. *Registro de datos.	DESP
	Fallos / Averías de una baliza:  (I/F Internos)  (I/F Externo)	Fallos de la tecnología empleada (Hardware – Software) que pueden provocar debilitamiento del campo magnético.	Colisión / Descarrilo	CRI	IMP	TOL	*Seguir manuales de mantenimiento.  *Realización de Análisis FMEA o árbol de fallos.	TOL
		Fallos provocados por causas medioambientales: nieve, hielo, balasto, humedad, animales, hongos, vibraciones, etc.	Colisión / Descarrilo	CRI	IMP	TOL	* Justificación del cumplimiento de la especificación de requisitos: pruebas de tipo serie. NFRS. *Informe de validación. *Análisis de FMEA.	DESP
		Fallo conexión señal – enclavamiento:  *Avería interna / desconexión.  *Error en instalación / mantenimiento.	Colisión / Descarrilo	CRI	IMP	TOL	*Debe haber coincidencia entre el enclavamiento y las señales instaladas. Función de comprobación. *Seguir manuales de instalación y mantenimiento. *Análisis del modo de fallo del I/F e inclusión de requisitos en los Requisitos funcionales del sistema (FRS).	DESP

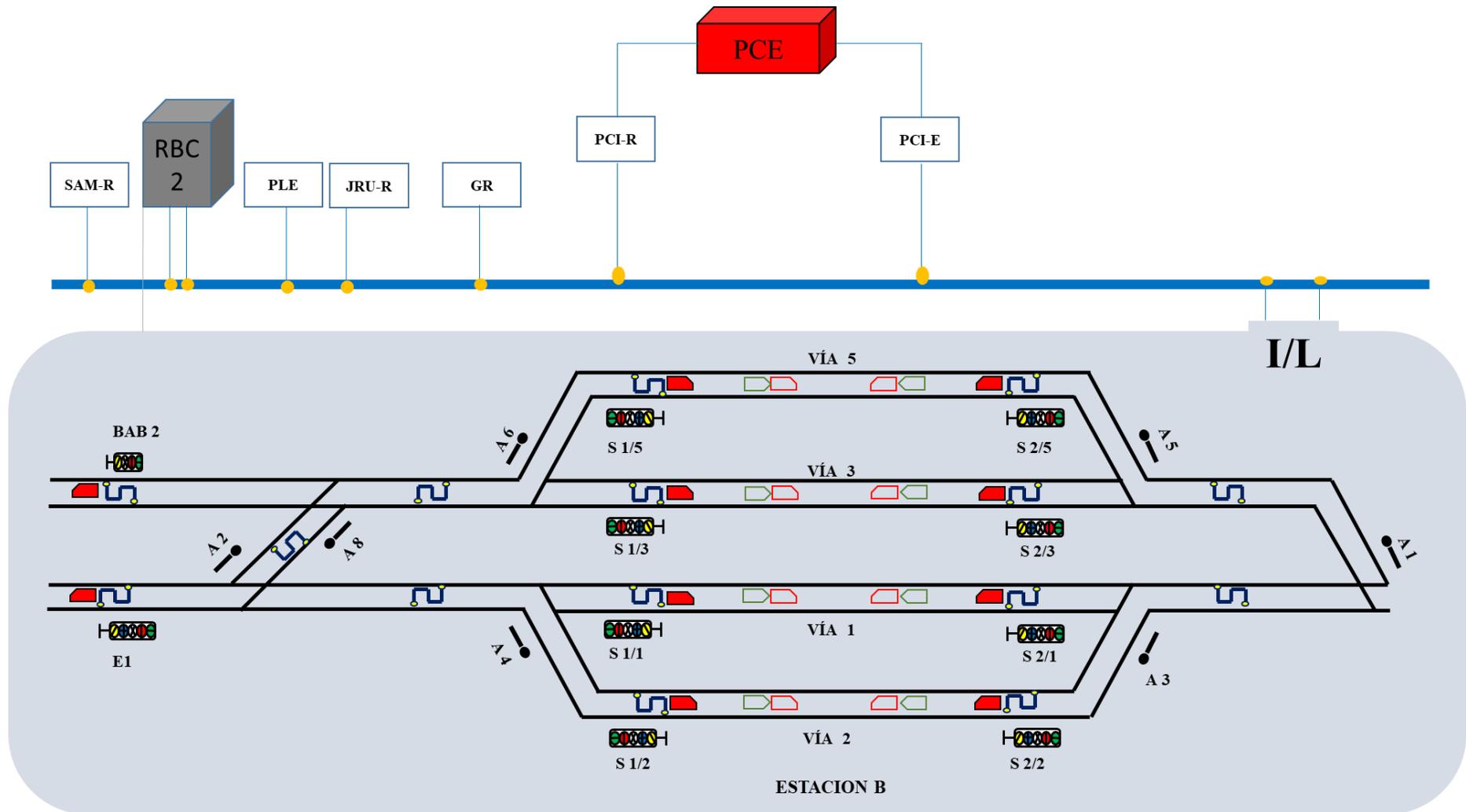
		Fallo entre la baliza – antena del tren:  *Diseño: Poco tiempo para detectar la baliza por antena.	Colisión / Descarrilo	CRI	IMP	TOL	*Análisis de Predicción de Fiabilidad (MTBF). * Informe de Pruebas tipo y serie en productos o certificados de calidad de fabricantes. * Análisis FMEA.	DESP
4	Instalación incorrecta de circuitos de vía	*Error de diseño (requisitos / validación).  *Error en instalación.	Colisión	CAT	OCA	INT	*Debe comprobarse la conexión y coordinación entre enclavamiento / circuito de vía. *La mitigación es un requisito / función de seguridad que precisa integridad SIL 4 para que el riesgo inicial pase a despreciable. Justificado por los Safety Case + ISA (probado por uso). *Seguir manuales de instalación.	DESP
	Fallos / Avería del circuito de vía	*Avería interna / desconexión.  *Error en instalación / mantenimiento.  *Ajuste incorrecto.	Colisión	CAT	OCA	INT	*Pruebas en campo (concordancia) e integración, trazados a requisitos de subsistemas y sistema. (SAT). *Seguir los manuales de mantenimiento. *Registro de datos. *Informe de Plan de puesta en servicio.	DESP
5	Instalación incorrecta del sistema ASFA	*Error de diseño (requisitos / validación).  *Error en instalación.	Colisión / Descarrilo	CRI	REM	NDE	*Debe comprobarse la conexión enclavamiento / equipos del sistema ASFA. *Seguir manuales de instalación. *Informe de Validación / Verificación.	DESP

	Fallos / Avería del sistema ASFA	<p>*Avería interna / desconexión: por ejemplo, fallo del receptor de la cabeza tractora.</p> <p>*Error en instalación / mantenimiento.</p> <p>*Ajuste incorrecto.</p>	Colisión / Descarrilo	CRI	REM	NDE	<p>*Pruebas en campo (concordancia) e integración, trazados a requisitos de subsistemas y sistema. (SAT).</p> <p>*Realización de Análisis FMEA o árbol de fallos.</p> <p>*Seguir los manuales de mantenimiento.</p> <p>*Registro de datos.</p> <p>*Informe de Plan de puesta en servicio.</p>	DESP
6	<p>Fallo en instalación / Averías.</p> <p>*Balizas ERTMS</p> <p>*RBC</p> <p>*Radio In-Fill</p>	<p>*Error de diseño.</p> <p>*Error en instalación: Localización del tren, interfaz RBC / equipo a bordo, key management center y conexión entre RBC.</p> <p>*La radio In-Fill no interviene en la seguridad aunque se averíe, ya que la integridad del tren está a cargo del RBC y del EVC.</p>	Colisión / Descarrilo	CRI	OCA	INT	<p>* Pruebas en entorno / laboratorio trazados a requisitos funcionales subsistema y sistema. FAT.</p> <p>*Pruebas de concordancia. Para mejorar la localización del tren las balizas se colocan en 0 el contador cada 1000 – 1500 metros.</p> <p>*Cumplir SRACs de producto. Justificado por los Safety Case + ISA (probado por uso).</p> <p>*Seguir manuales de instalación y mantenimiento.</p> <p>*Informe de puesta en servicio.</p>	DESP

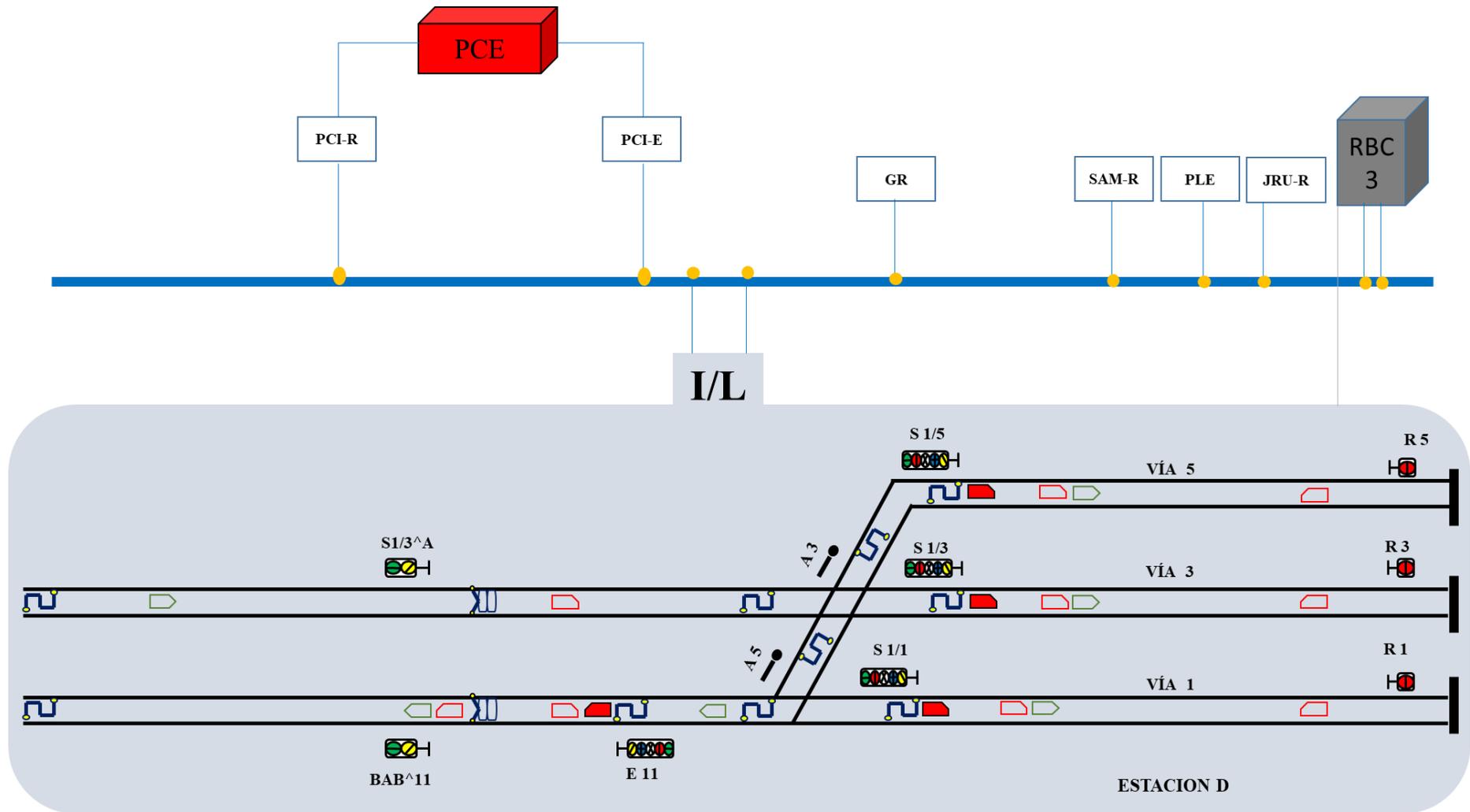
Anexo D – PHA de la instalación y ajuste de equipos usados

Vmax (km/h)	Vmax (m/s)	TRM (s)	TRF (s)	D.S (m/s <sup>2</sup> )	Dist. F (m)	Coef. Seguridad	DFS (m) + 30%
320	89	4	4	0,85	5359	0,3	6753
310	86	4	4	0,85	5051	0,3	6359
300	83	4	4	0,85	4752	0,3	5977
290	81	4	4	0,85	4462	0,3	5607
280	78	4	4	0,85	4181	0,3	5248
270	75	4	4	0,85	3909	0,3	4901
260	72	4	4	0,85	3646	0,3	4567
250	69	4	4	0,85	3392	0,3	4243
240	67	4	4	0,85	3148	0,3	3932
230	64	4	4	0,85	2912	0,3	3632
220	61	4	4	0,85	2686	0,3	3345
210	58	4	4	0,85	2468	0,3	3069
200	56	4	4	0,85	2260	0,3	2805
190	53	4	4	0,85	2061	0,3	2552
180	50	4	4	0,85	1871	0,3	2312
170	47	4	4	0,85	1690	0,3	2083
160	44	4	4	0,85	1518	0,3	1866
150	42	4	4	0,85	1355	0,3	1661
140	39	4	4	0,85	1201	0,3	1468
130	36	4	4	0,85	1056	0,3	1286
120	33	4	4	0,85	920	0,3	1116
110	31	4	4	0,85	794	0,3	958
100	28	4	4	0,85	676	0,3	812
90	25	4	4	0,85	568	0,3	678
80	22	4	4	0,85	468	0,3	555
70	19	4	4	0,85	378	0,3	445
60	17	4	4	0,85	297	0,3	346
50	14	4	4	0,85	225	0,3	259
40	11	4	4	0,85	162	0,3	183
30	8	4	4	0,85	108	0,3	120
20	6	4	4	0,85	63	0,3	68
10	3	4	4	0,85	27	0,3	28
0	0	4	4	0,85	0	0,3	0

Anexo E – Distancia de frenado según velocidad del tren

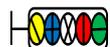


Anexo F – Arquitectura del sistema en la Estación B



Anexo G – Arquitectura del sistema en la Estación D

## SEÑALES LATERALES



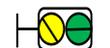
Señal de 5 aspectos



Señal de 4 aspectos  
(de bloqueo)



Señal de 4 aspectos  
(banalizada)



Señal de avanzada



Señal de topera

## BALIZAS



Baliza principal ASFA



Baliza previa ASFA



Baliza fija ERTMS

## APARATOS Y/O EQUIPOS



Posición de aguja



Circuito de vía



Alimentación central  
de CV



Frontera entre RBC

Autor: Edward J. Patiño Botino

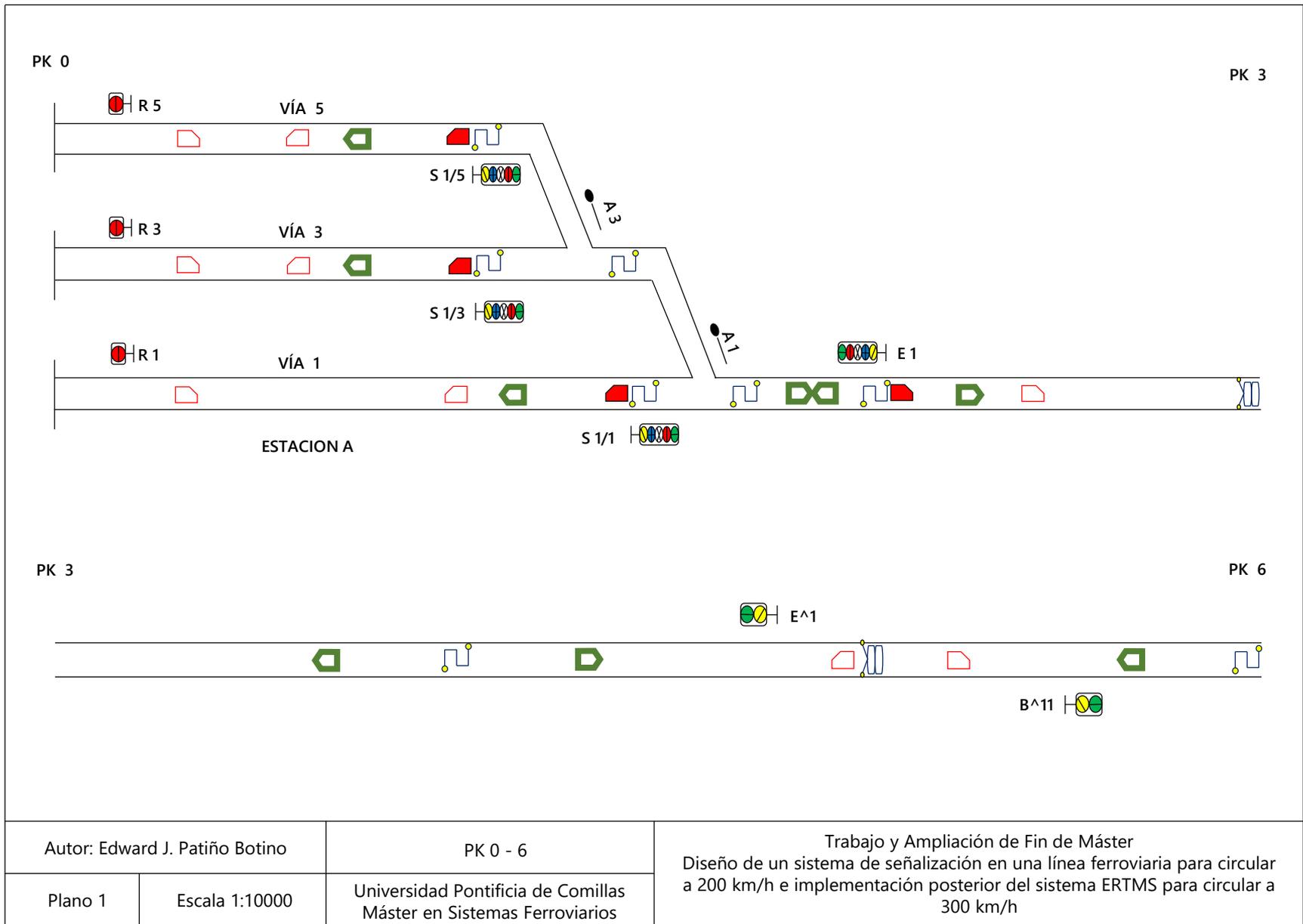
### LEYENDA

Universidad Pontificia de Comillas  
Máster en Sistemas Ferroviarios

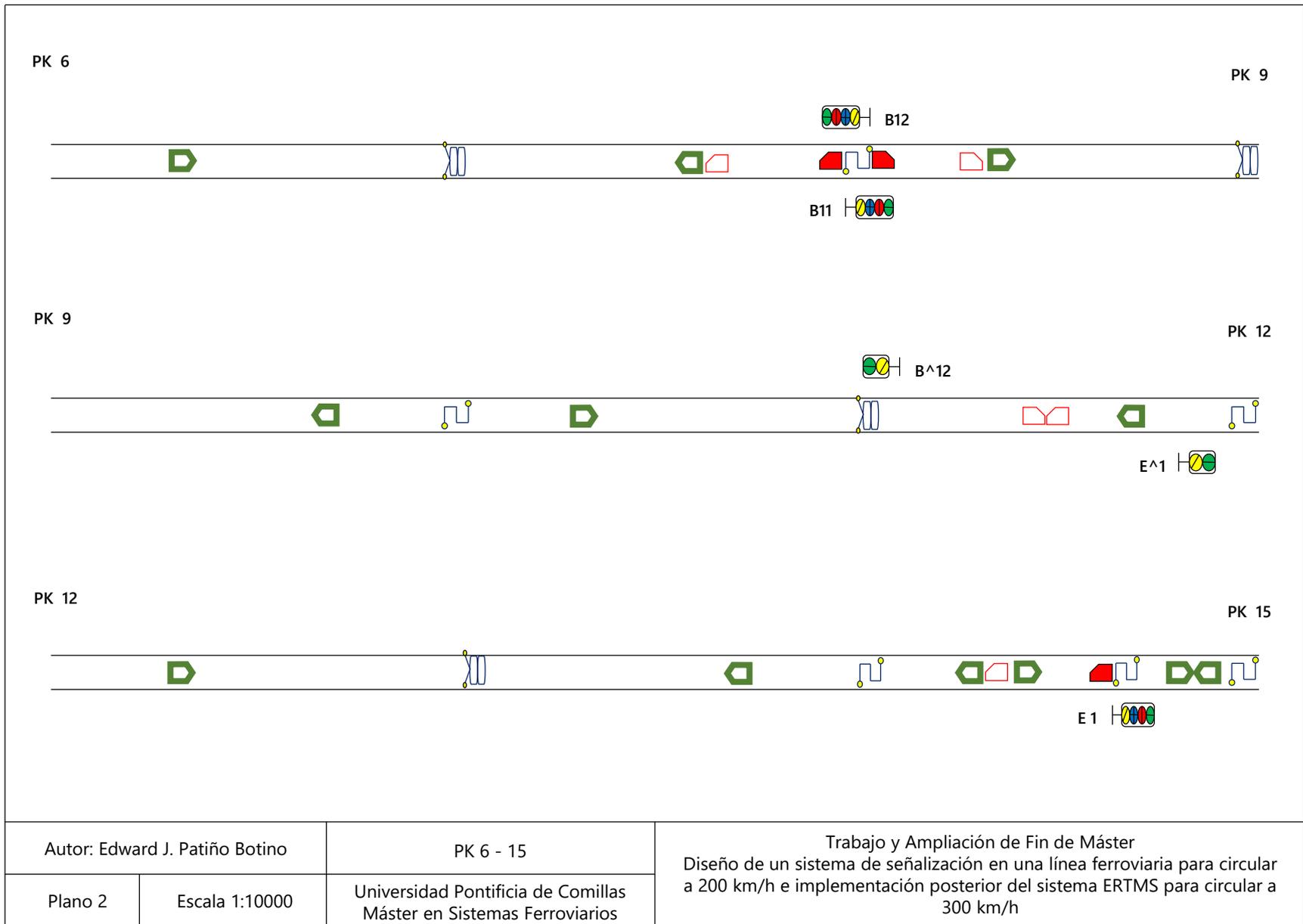
Trabajo y Ampliación de Fin de Máster  
Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h



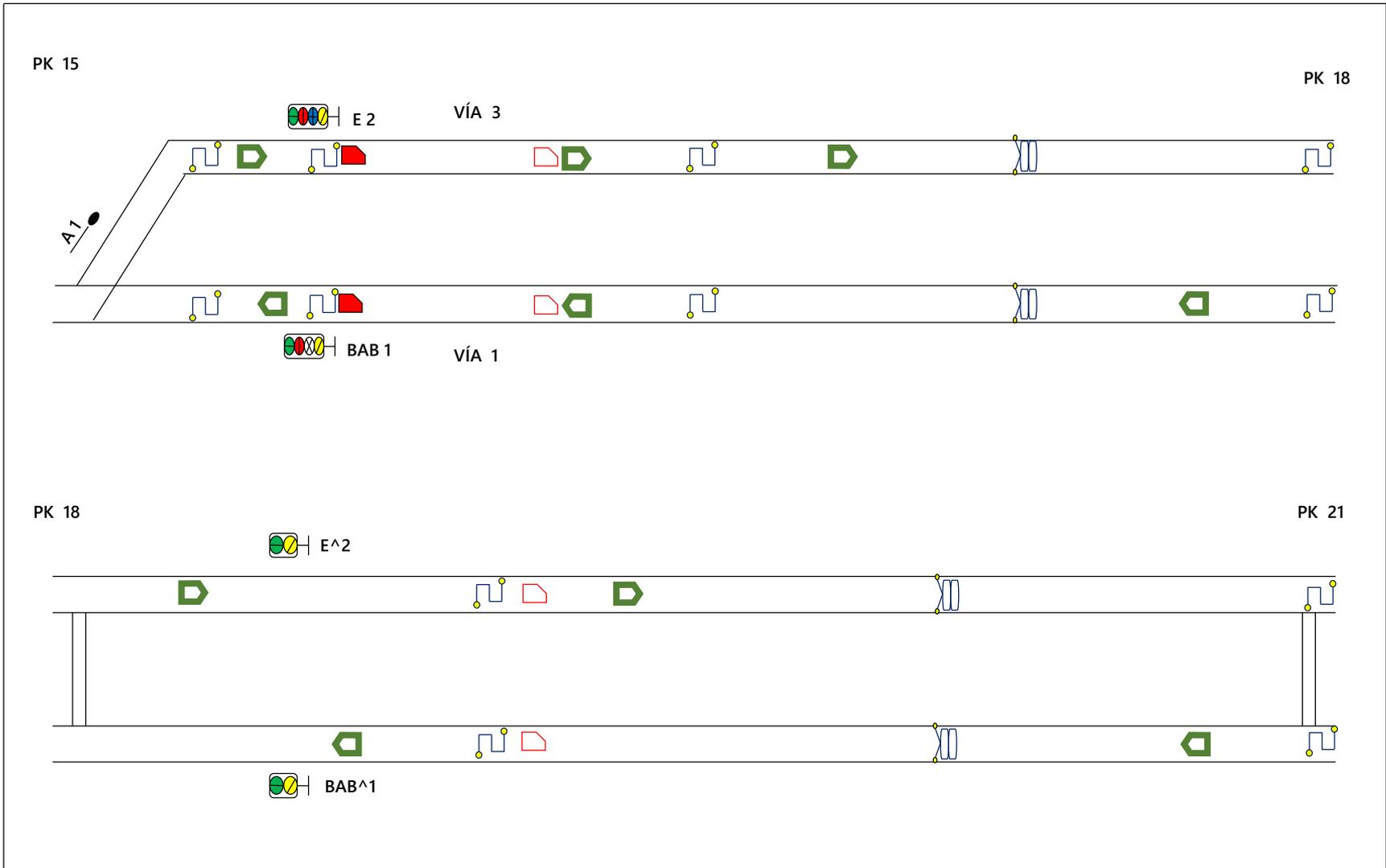
<p>Autor: Edward J. Patiño Botino</p>	<p>PK 0 - 180</p>	<p>Trabajo y Ampliación de Fin de Máster          Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h</p>
<p>Plano General de la línea</p>	<p>Universidad Pontificia de Comillas          Máster en Sistemas Ferroviarios</p>	



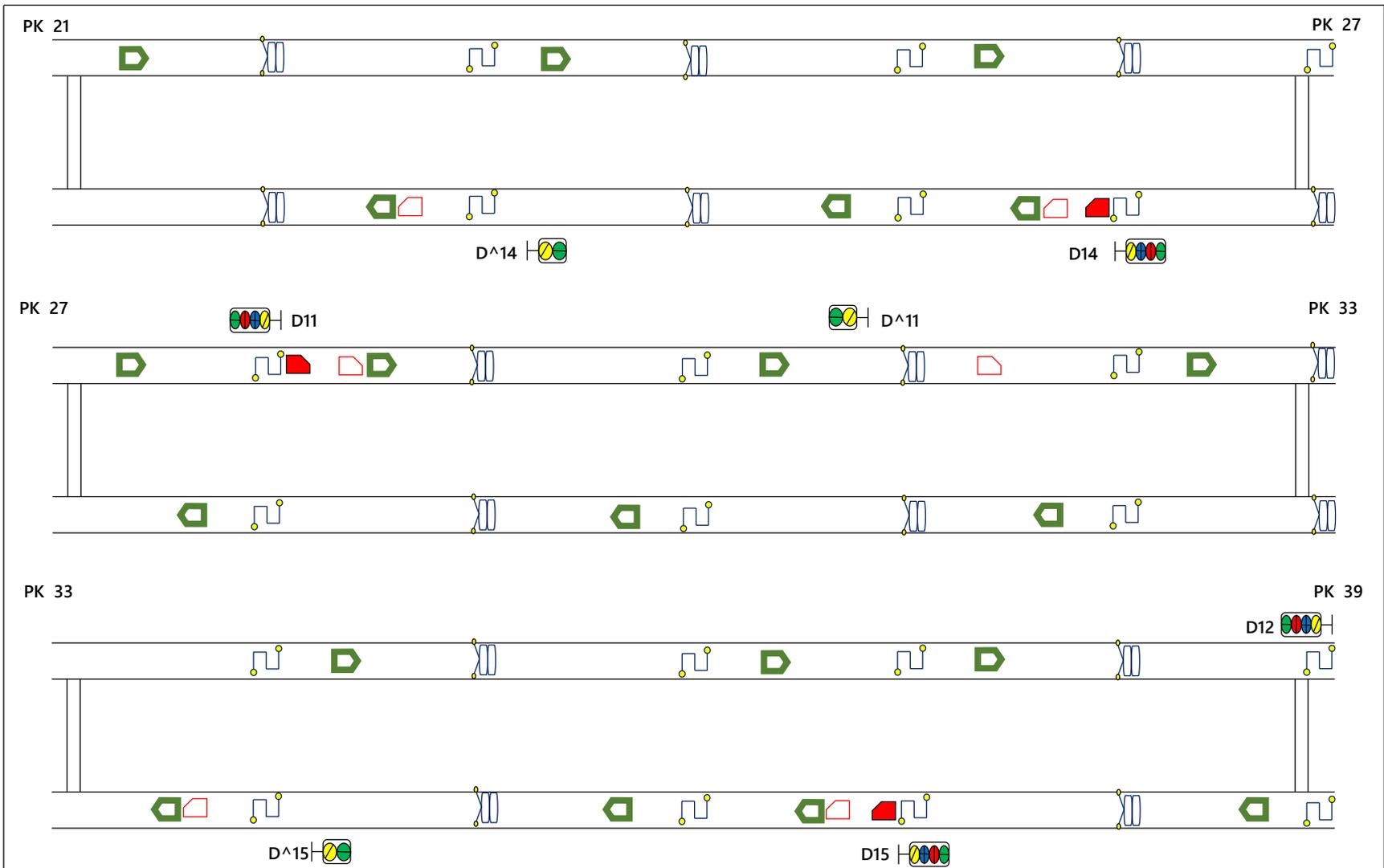
Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 0 - 6	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 1	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



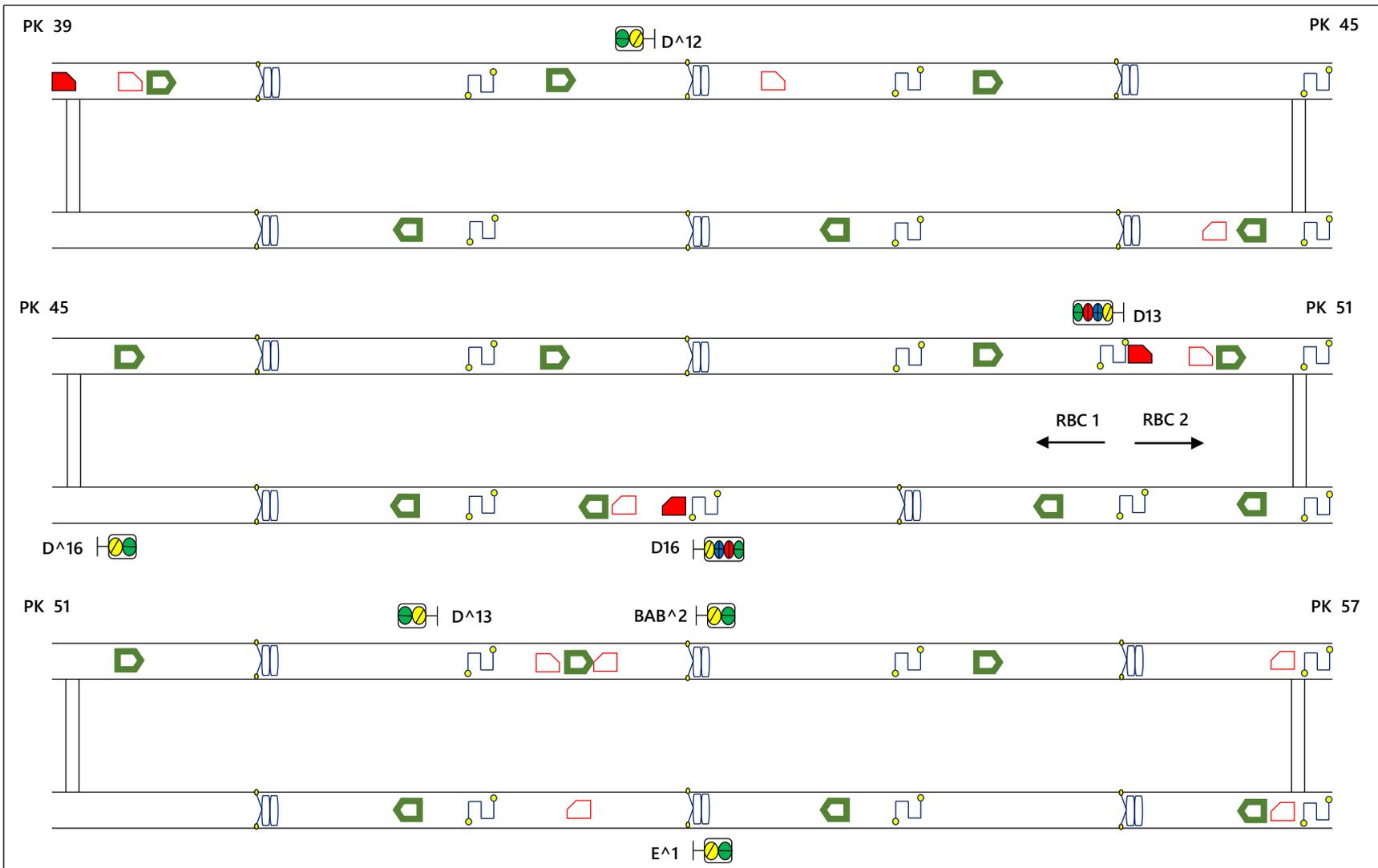
Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 6 - 15	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 2	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



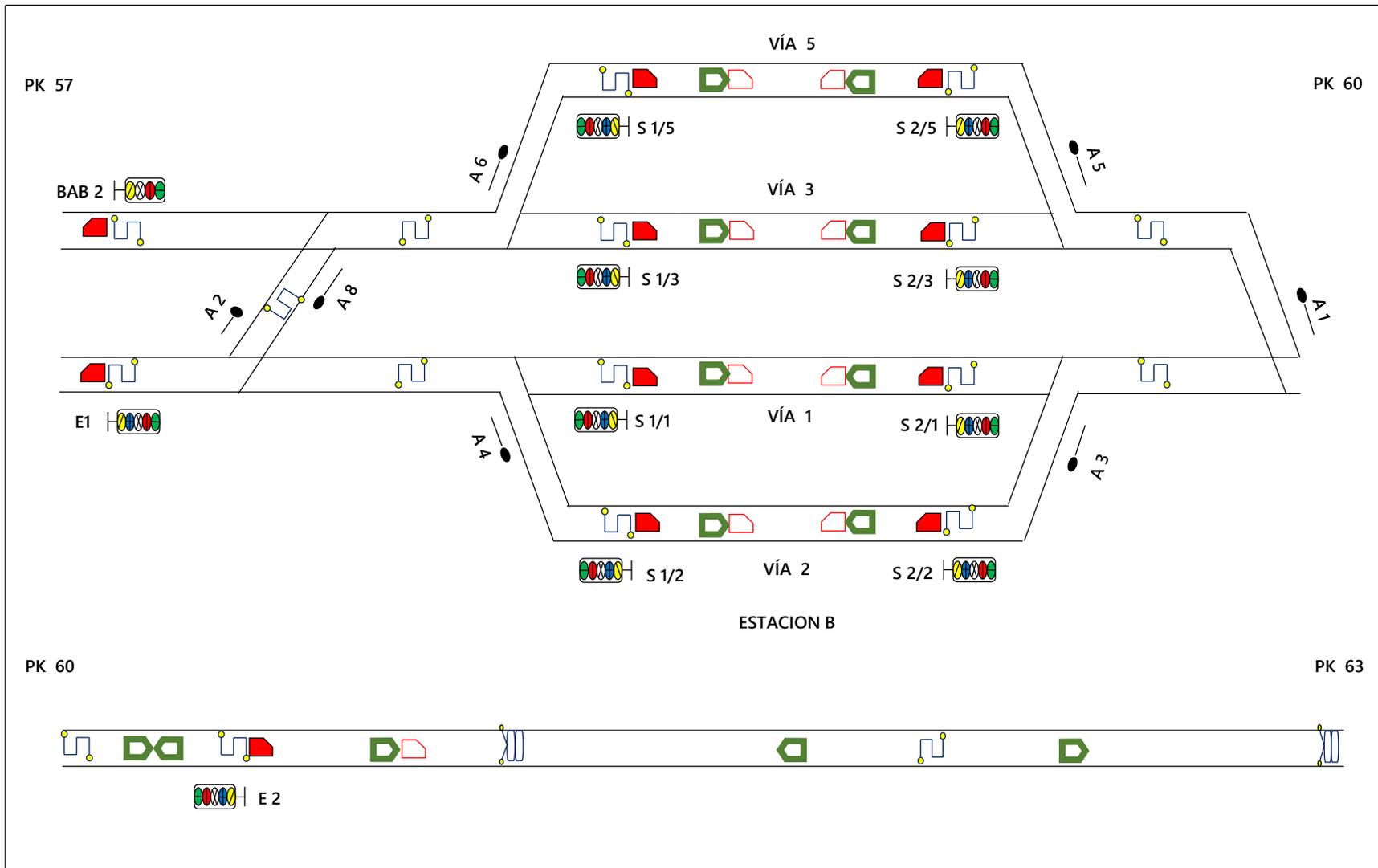
Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 15 - 21	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 3	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



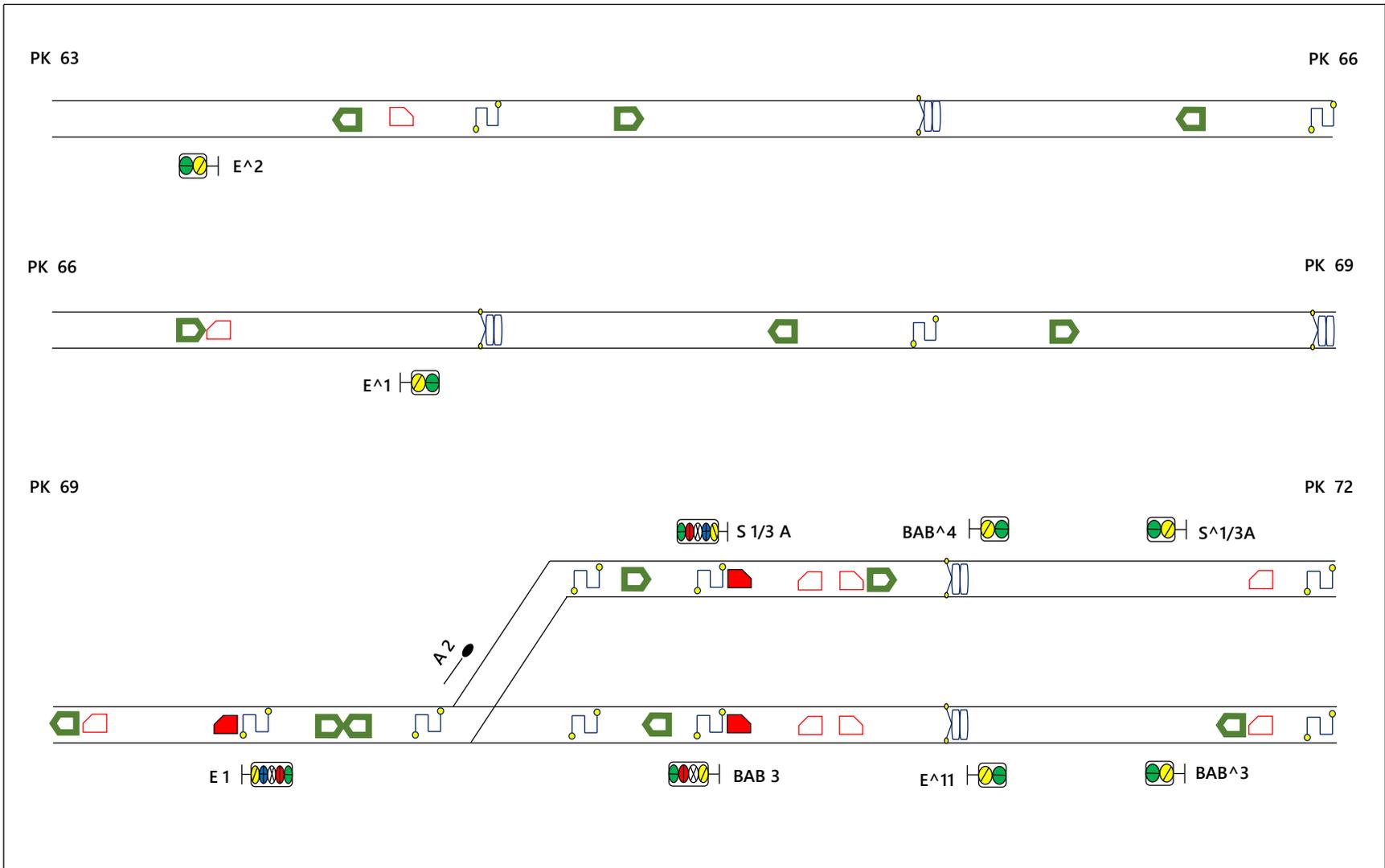
Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 21 - 39	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 4	Escala 1:20000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 39 - 57	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 5	Escala 1:20000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



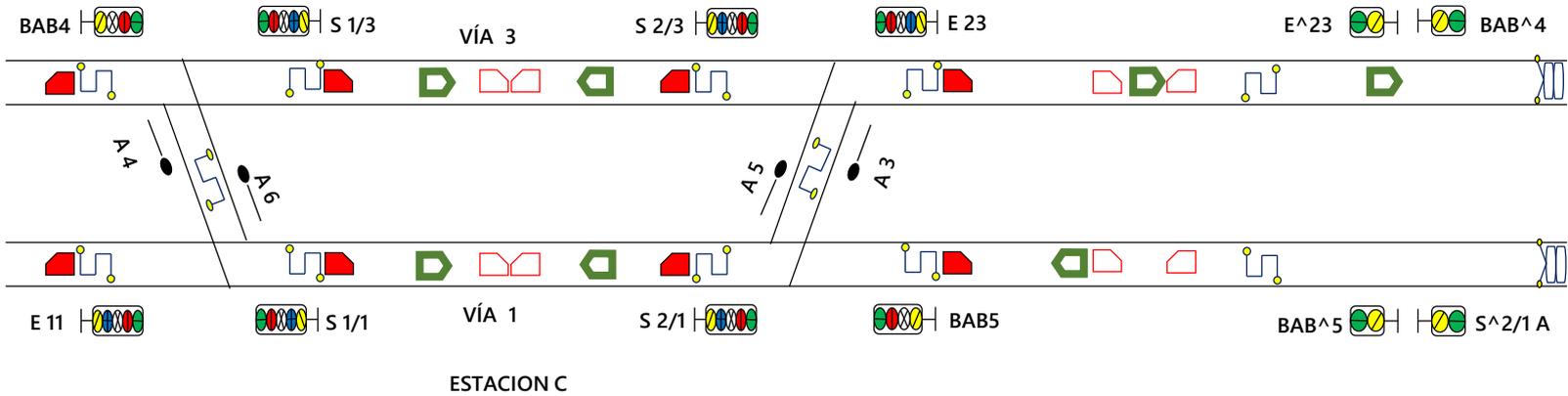
Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 57 - 63	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 6	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 63 - 72	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 7	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	

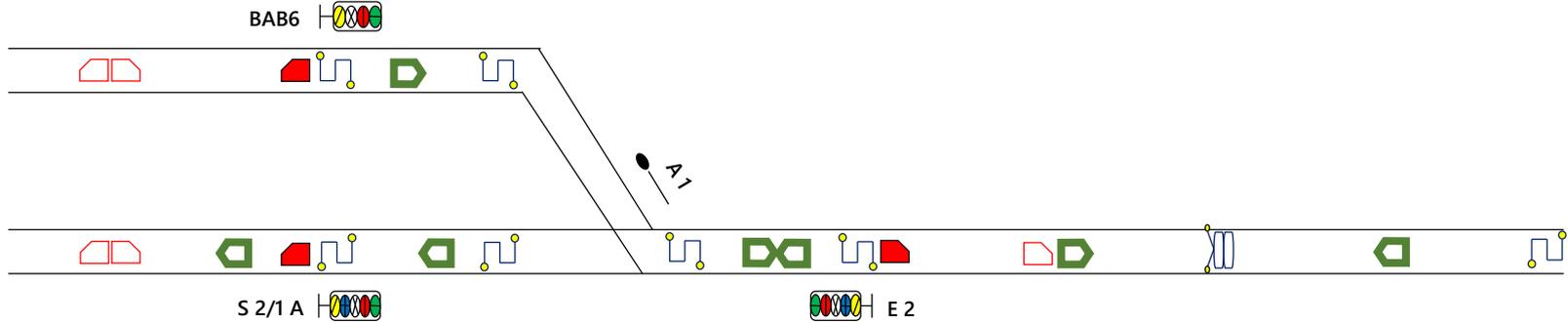
PK 72

PK 75



PK 75

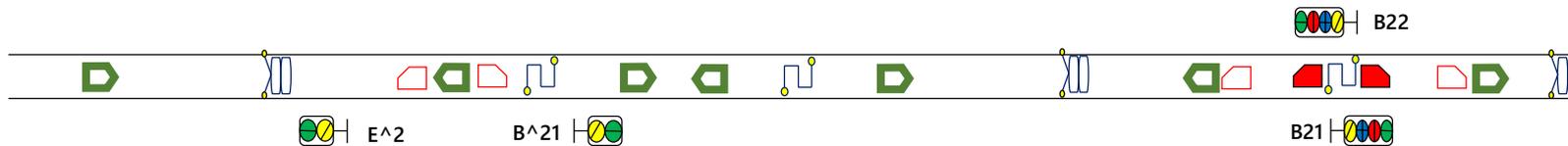
PK 78



Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 72 - 78	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 8	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	

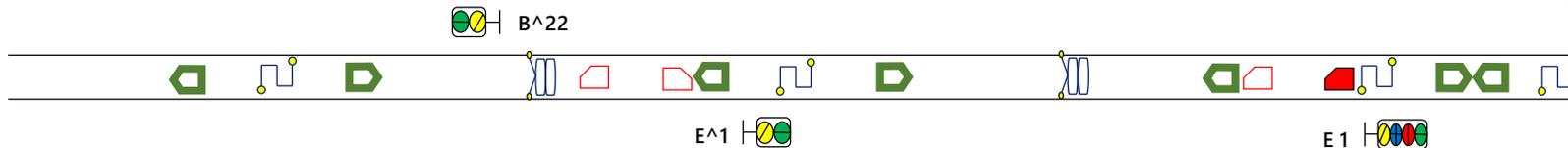
PK 78

PK 84



PK 84

PK 90



Autor: Edward J. Patiño Botino

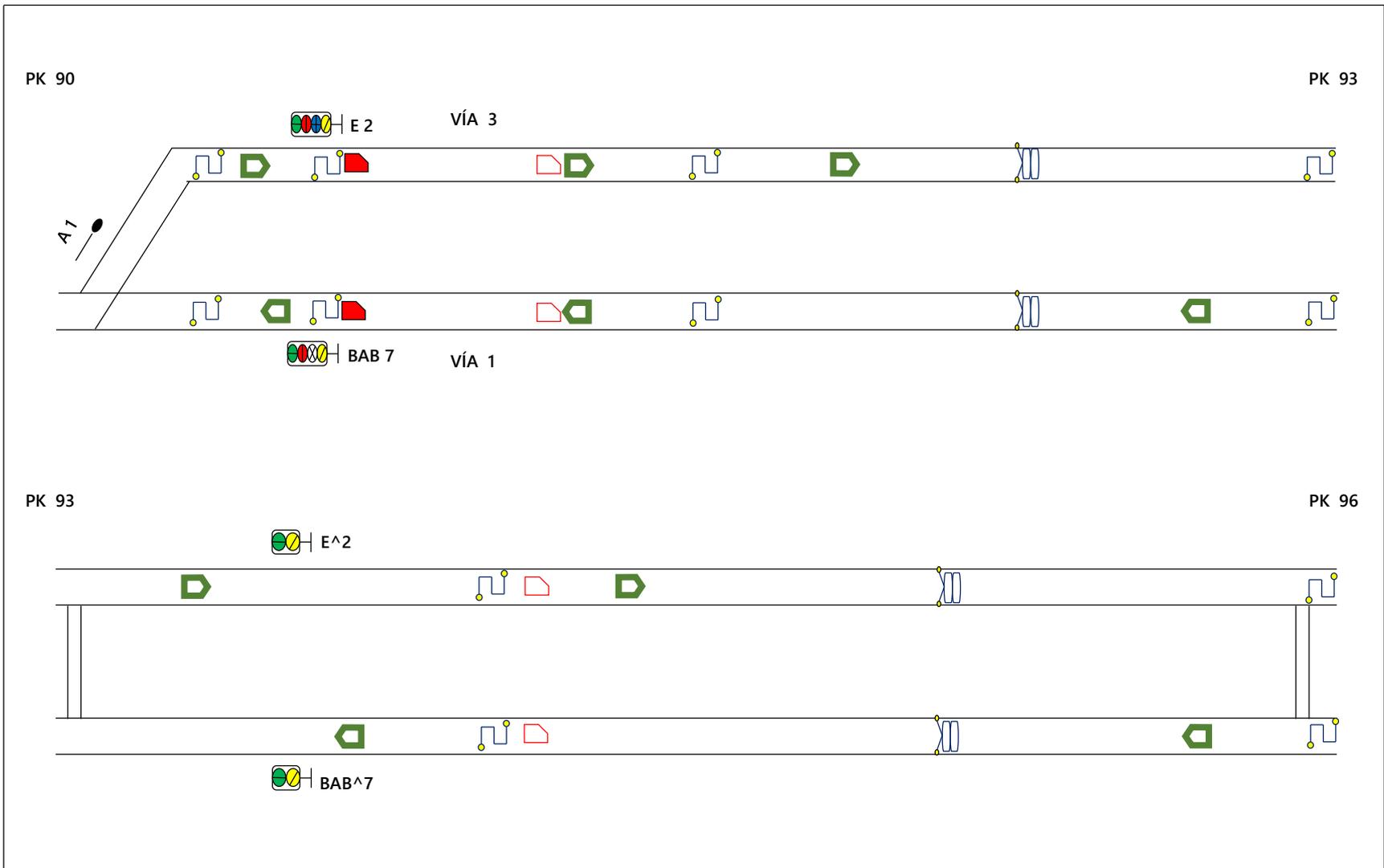
PK 78 - 90

Plano 9

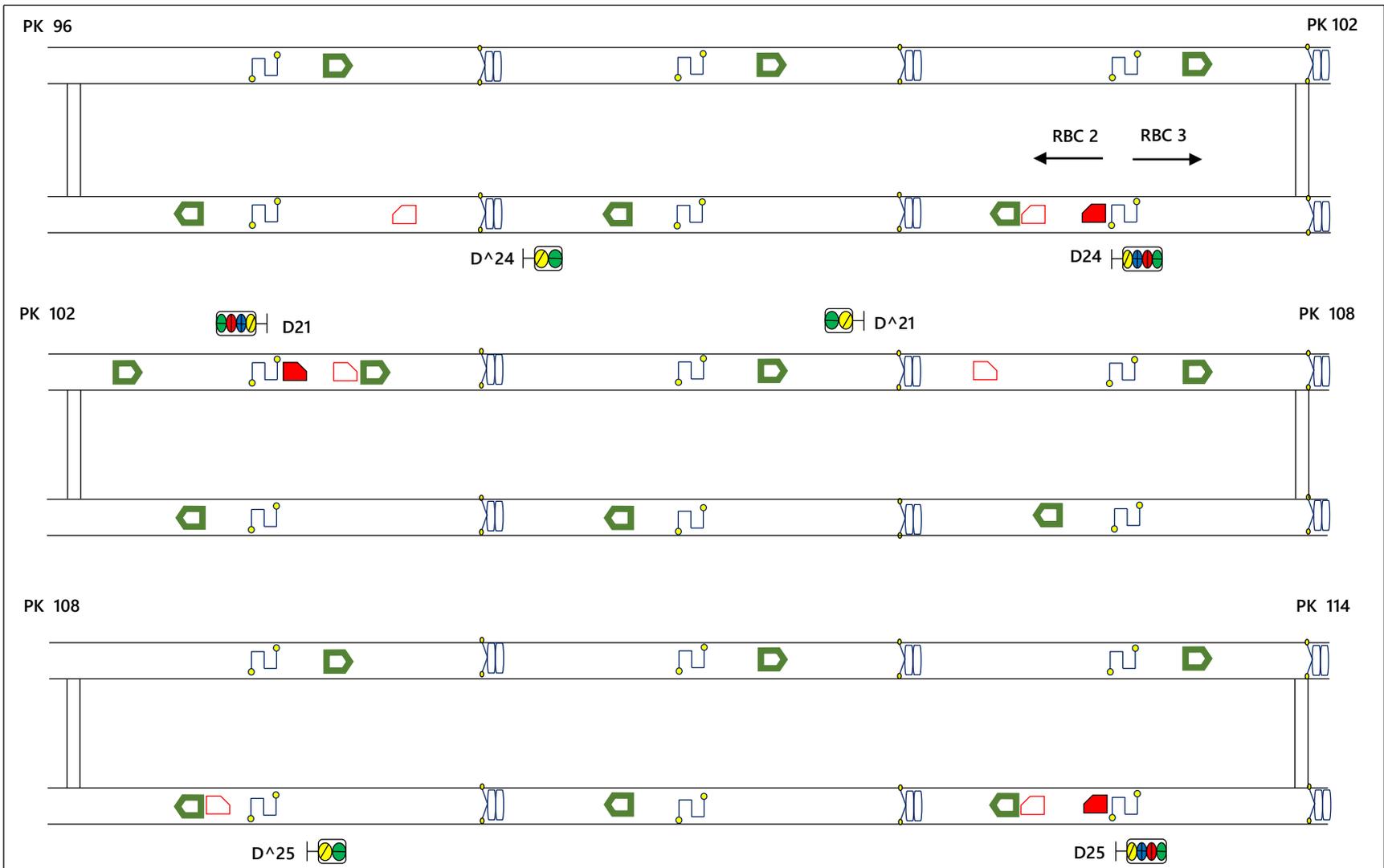
Escala 1:20000

Universidad Pontificia de Comillas  
Máster en Sistemas Ferroviarios

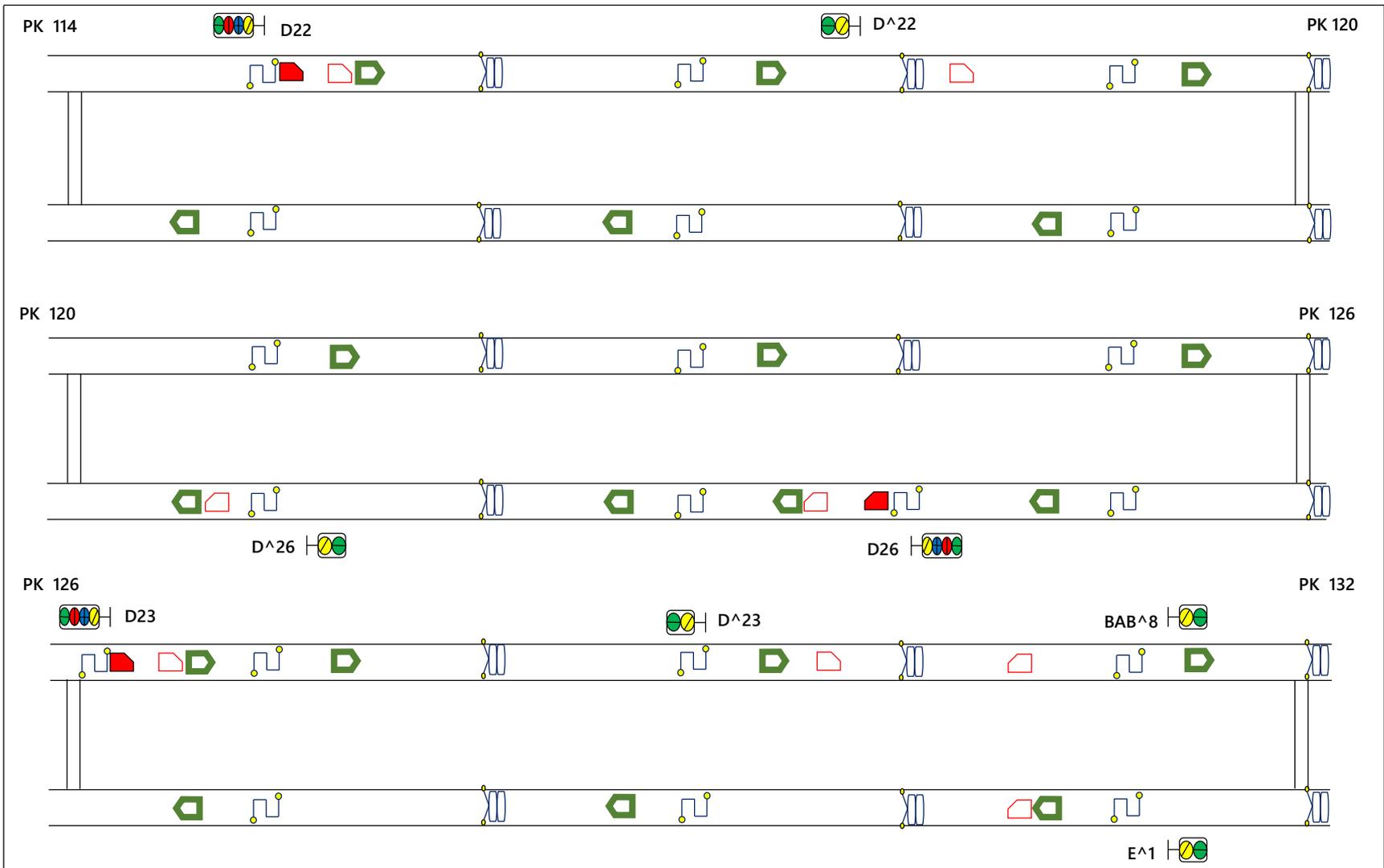
Trabajo y Ampliación de Fin de Máster  
Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h



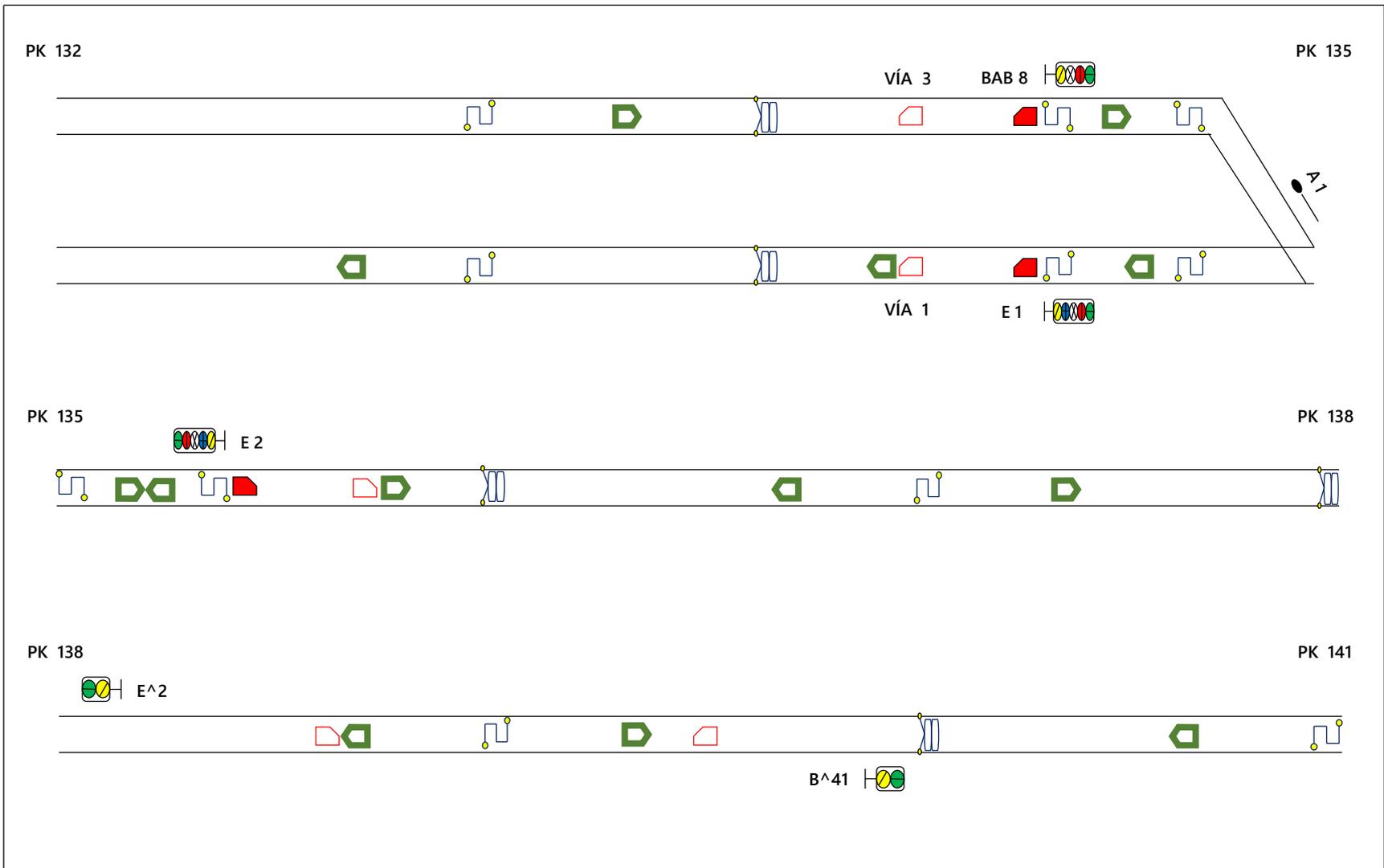
Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 90 - 96	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 10	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



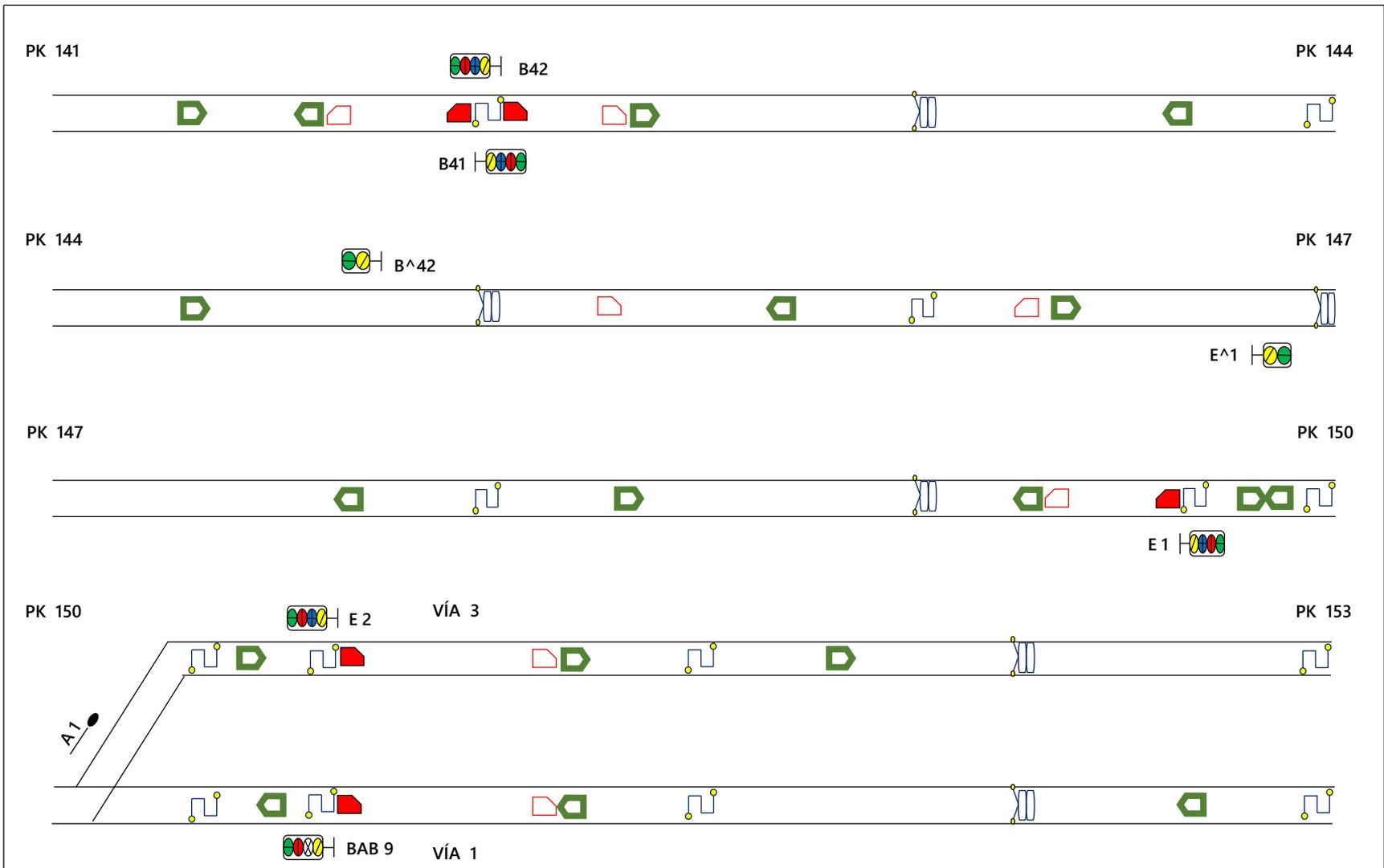
Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 96 - 114	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 11	Escala 1:20000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



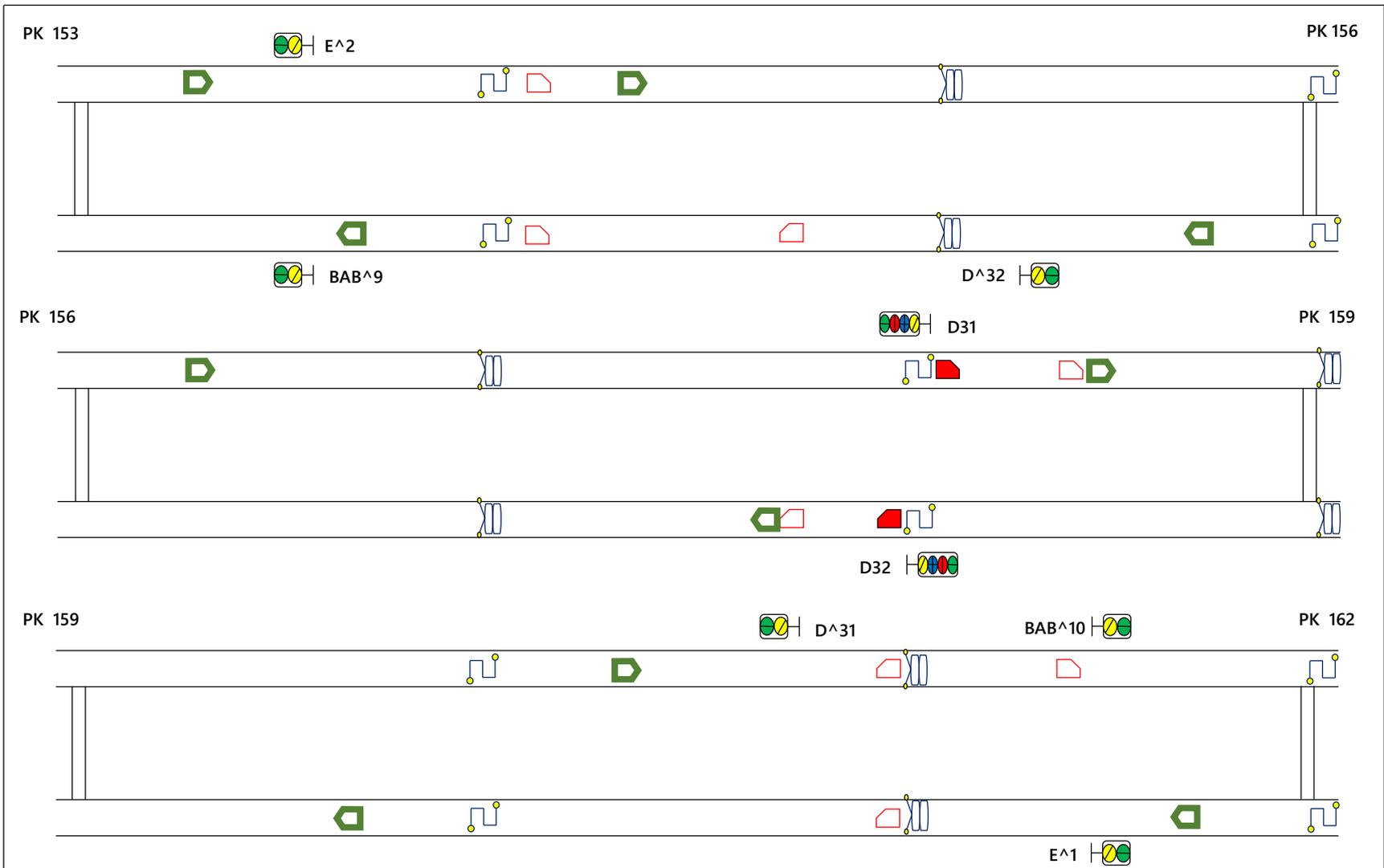
Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 114 - 132	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 12	Escala 1:20000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



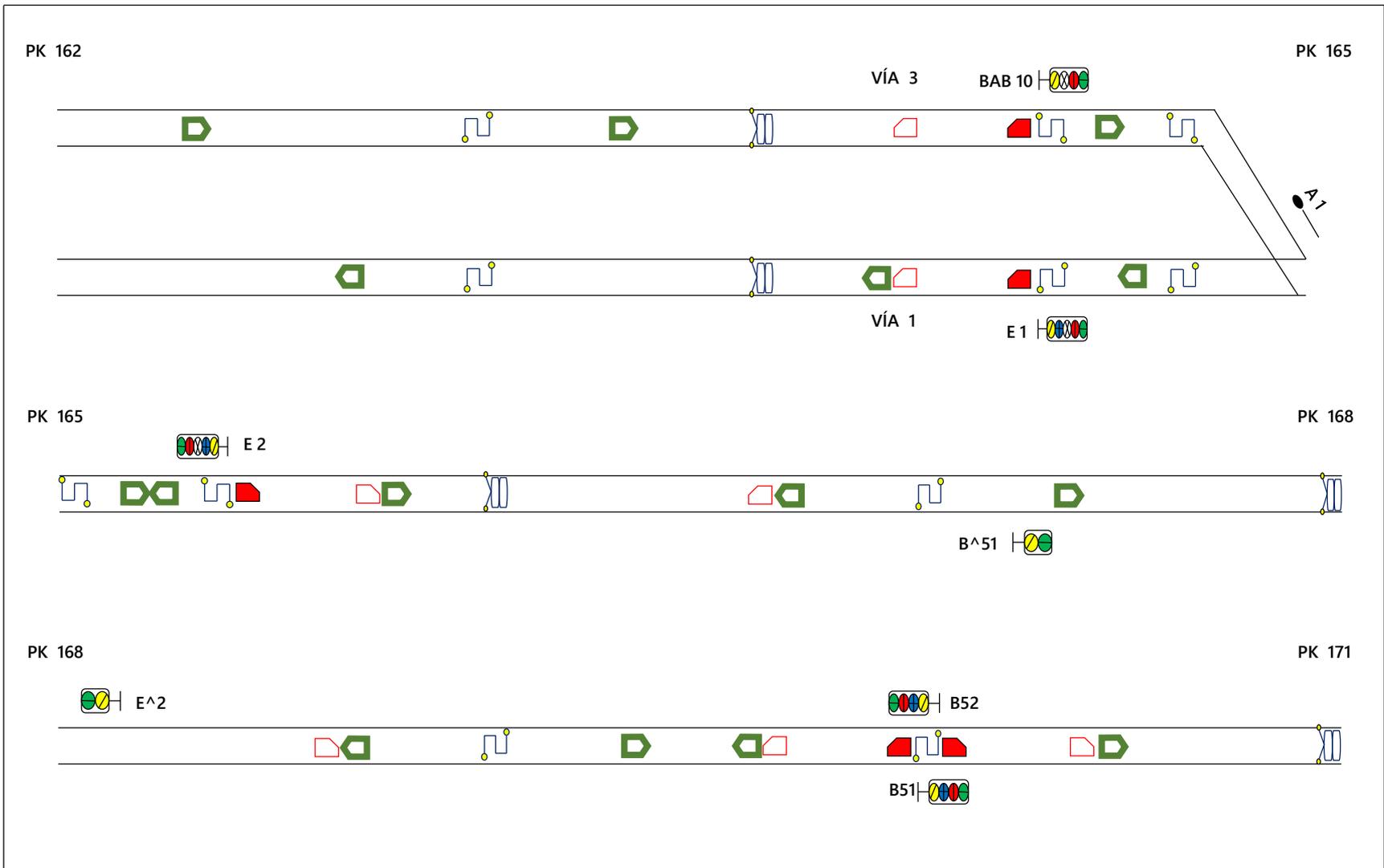
Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 132 - 141	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 13	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



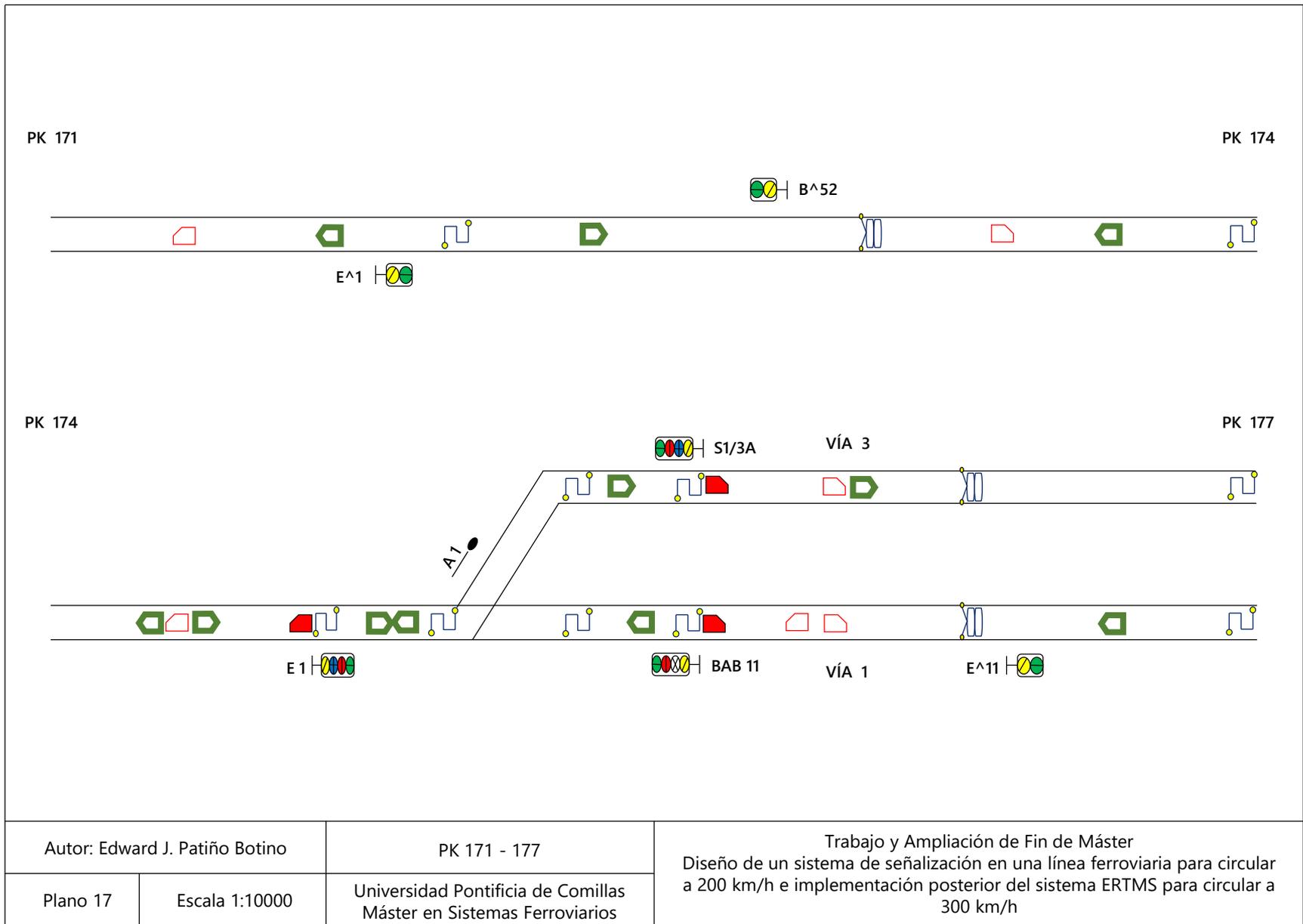
Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 141 - 153	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 14	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 153 - 162	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 15	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



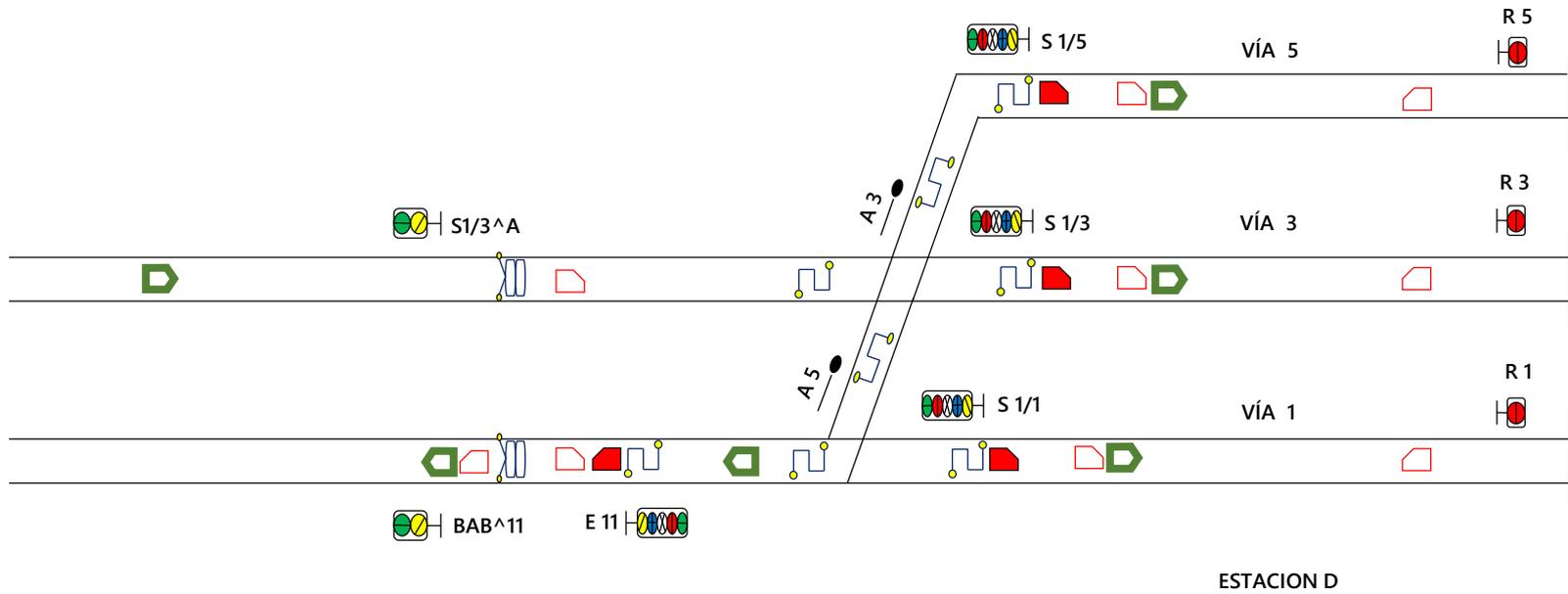
Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 162 - 171	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 16	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	



Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 171 - 177	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 17	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	

PK 177

PK 180



ESTACION D

Autor: Edward J. Patiño Botino		PK 177 - 180	Trabajo y Ampliación de Fin de Máster Diseño de un sistema de señalización en una línea ferroviaria para circular a 200 km/h e implementación posterior del sistema ERTMS para circular a 300 km/h
Plano 18	Escala 1:10000	Universidad Pontificia de Comillas Máster en Sistemas Ferroviarios	