



Máster Universitario en
Sistemas Ferroviarios

Tiempo de parada en estaciones: factores influyentes

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO: 2019/20

Máster Universitario en Sistemas Ferroviarios
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA ICAI

Autor:

Roi Blanco García

Directores:


Alberto García Álvarez

Ignacio González Franco

TÍTULO: Tiempo de parada en estaciones: factores influyentes

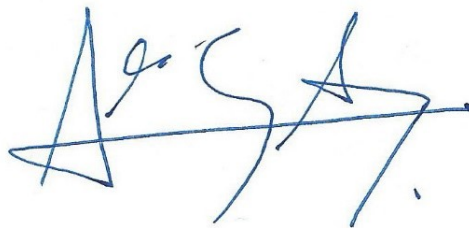
AUTOR: Roi Blanco García

Firma:




DIRECTOR: Alberto Matías García Álvarez

Firma:





CODIRECTOR: Ignacio González Franco

Firma:



FICHA TÉCNICA

MAESTRO UNIVERSITARIO EN SISTEMAS FERROVIARIOS

SOLICITUD DE ADMISIÓN DEL TRABAJO FIN DE MASTER (6 ECTS)
(Entregar al Profesor Tutor de Prácticas en Comillas)

Datos del alumno:
Apellidos: Blanco García
Nombre: Roi

Datos del director del Trabajo:
Apellidos: García Álvarez
Nombre: Alberto

Datos del co-director del Trabajo (si procede):
Apellidos: Gonzalez Franco
Nombre: Ignacio

Título del Trabajo Fin de Máster:
 Estudio de los tiempos de parada en trenes viajeros y sus condicionantes

Descripción breve:
 Estudio de las variables que influyen en el tiempo de parada en estaciones con subida y/o bajada de viajeros desde múltiples perspectivas: infraestructura, señalización, operación, características de los vehículos, etc.

Objetivos:

Determinar qué variables influyen, y de qué manera, en el tiempo de parada del tren, desde la reducción de velocidad que esta supone, operaciones de subida y bajada de viajeros y recuperación de la marcha normal.

Determinar cómo afectan las paradas, con respecto al tiempo total de viaje, en los diferentes servicios (AVE, Media Distancia, Cercanías, Metro)

Se realizará un estudio lo más amplio posible, pretendiendo analizar de manera global el sistema ferroviario y proponer soluciones, cuando sea posible, que se puedan ejecutar conjuntamente entre los diferentes actores del sector.

Aportaciones previstas del Trabajo:

Definir y argumentar las mejores prácticas para la reducción de los tiempos de parada en diferentes fases de la explotación (diseño-planificación, requisitos del material rodante, operativa del personal, señalética...).

Planificación de tareas:

- Definición de objetivos
- Definición estructura de la memoria
- Recopilación de datos en campo referentes a tiempos de subida y bajada de viajeros
- Encuestas a viajeros y personal operativo
- Elaboración de la memoria

Alumno: Roi Blanco García
Firma:



Director: Alberto García Álvarez
Firma:



Ignacio Gonzalez Franco



TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción.....	1
1.1	Estado del arte.....	1
2	Objetivos.....	3
2.1	Limitaciones.....	3
3	Planificación de tareas.....	4
4	Definiciones.....	5
4.1	Parada: definición e implicaciones	5
4.1.1	Definición	5
4.1.2	Implicaciones de la parada en la marcha del tren.....	7
5	Señalización y sistemas de protección.....	9
5.1	Definiciones	9
5.1.1	Tipos de conducción.....	12
5.1.2	ASFA Digital.....	13
5.1.3	ERTMS/ETCS, generalidades y elementos comunes.....	15
5.1.4	LZB (Linienförmige Zugbeeinflussung)	20
5.2	Implicaciones en el tiempo de parada	21
5.2.1	Deceleración	21
5.2.2	Parada	25
5.2.3	Aceleración.....	26
5.2.4	Señalización lateral: Itinerarios de salida	32
5.2.5	Comparativa entre situaciones en el arranque	32
6	Material rodante.....	35
6.1	Implicaciones en el tiempo de parada	35
6.1.1	Deceleración	35
6.1.2	Parada	35
6.1.3	Aceleración.....	37
7	Infraestructura.....	38
7.1.1	Deceleración	38
7.1.2	Parada	41
7.1.3	Aceleración.....	43
8	CONCLUSIONES y aportaciones	44
8.1	Señalización	44
8.2	Material rodante	44
8.3	Infraestructura	45
9	Bibliografía.....	46
10	Anexos.....	48

10.1	Anexo I: Gráficas comparativa de sistemas de protección.	48
10.1.1	Entrada a vía directa	48
10.1.2	Entrada a vía desviada	49
10.1.3	Arranque	49
10.1.4	Arranque II	50
10.1.5	Arranque en sucesión de señales	50
10.2	Anexo II: Resultados encuestas	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Marcha con parada técnica y comercial.....	6
Figura 2. Marcha sin parada	6
Figura 3. Tiempo perdido en una parada.....	7
Figura 4. Descomposición tiempo de parada.....	7
Figura 5. Sistema de protección, diagrama de bloques	10
Figura 6. Precisión de la velocidad supervisada al paso por una vía desviada.....	12
Figura 7. ASFA Digital, diagrama de bloques	13
Figura 8. ASFA Digital, velocidad de control y de intervención de freno.....	14
Figura 9. DMI de ERTMS/ETCS [10]	18
Figura 10. DMI de ERTMS/ETCS [10]	18
Figura 11. ERTMS/ETCS, Radio In Fill y Euroloop [12]	19
Figura 12. ERTMS, diagrama de bloques	19
Figura 13. DMI en ERTMS N2 [9]	20
Figura 14. LZB, diagrama de bloques	21
Figura 15. Supervisiones de velocidad de cara al punto de parada, entrada a vía desviada.....	22
Figura 16. Itinerario de entrada a vía directa y señalización	23
Figura 17. Itinerario de entrada a vía desviada y señalización	23
Figura 18. Entrada a vía directa en sucesión de trenes y señalización	23
Figura 19. ERTMS N1, control velocidad de liberación.....	28
Figura 20. ERTMS con función Euroloop/Euroradio	29
Figura 21. ASFA Digital, control L7, aproximación a señal en parada	30
Figura 22. Control ASFA Digital con doble L7, control de zonalímite de parada.....	31
Figura 23. ASFA Digital, control de zona límite de parada entre la doble baliza.....	31
Figura 24. Indicadora de posición de agujas a vía directa [6]	32
Figura 25. Indicadora de posición de agujas a vía desviada y velocidad de paso [6]	32
Figura 26. Arranque, habiendo encontrado S/S en parada (80 m entre p. parada y S/S)	33
Figura 27. Tabla 9. Arranque desde punto de parada con S/S en parada, 100 m entre p.parada y señal	33
Figura 28. Arranque en sucesión de señales.....	34
Figura 29. Necesidad de piso bajo. Fuente: 3/24.....	36
Figura 30. Estación con vías centrales (1 y 2) sin andén, Vilagarcía de Arousa.....	39
Figura 31. Marca de andén poco visible y sin información.....	40
Figura 32. Marca de andén para S/121	41
Figura 33. Marca de andén para S/447	41
Figura 34. Punto de parada crítico (espejo) sin marcas visibles.....	41
Figura 35. Estación de Sitges. Marquesina situada a 60 (o 150) metros de la cola del tren	42
Figura 36. Estación de Marienplatz, Munich	43

Figura 37. Estación de P. Catalunya FGC, Barcelona..... 43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Planificación de tareas.....	4
Tabla 2. Implicación de las paradas en la marcha de un tren	8
Tabla 3. Comparativa sistemas de protección	11
Tabla 4. Sistemas de protección, prestaciones	21
Tabla 5. Comparativa de tiempos, entrada a vía directa.....	24
Tabla 6. Comparativa tiempos entrada a vía desviada	25
Tabla 7. Comparativa tiempos, entrada a vía directa en sucesión de trenes.....	25
Tabla 8. Comparativa tiempos en el arranque	33
Tabla 9. Arranque desde punto de parada con S/S en parada, 100 m entre p.parada y señal.....	34
Tabla 10. Comparativa de tiempos, arranque en sucesión de señales	34
Tabla 11. ASFA Digital, controles de paso por desvío.	38

1 INTRODUCCIÓN

En un sistema ideal, cada tren llega y sale a la hora prevista en cada estación. Los horarios comerciales se diseñan con unos tiempos de marcha determinados, que incluyen los tiempos entre estaciones y las paradas comerciales. El tiempo de parada depende de muchos factores, desde el diseño de los vehículos hasta el comportamiento de los pasajeros, pasando por el diseño de la estación o del factor humano. Tiempos de parada excesivos provocan retrasos que se extienden al resto de trenes.

En el presente Trabajo de Fin de Máster se pretende, desde un triángulo compuesto por los conocimientos adquiridos en el mismo, por la experiencia personal del autor como maquinista y por una pequeña revisión de estudios y publicaciones relevantes sobre el tema, elaborar un documento que permita estructurar las variables que influyen -y cómo- en el tiempo de parada de los trenes, analizándolos no solo desde la óptica en la que el tren se encuentra con velocidad cero, sino también teniendo en cuenta la posible optimización de los tiempos de deceleración y aceleración.

1.1 Estado del arte

Para el desarrollo del presente trabajo se ha realizado un pequeño estudio de publicaciones relevantes, citadas a lo largo del mismo. Con el objetivo de que sirvan de guía a quien quiera aproximarse, ampliar o profundizar en la temática, se destacan las siguientes:

Metodología para la evaluación de las prestaciones y eficiencia de los trenes de viajeros, 2008 [1]

Publicado en 2008 y merecedor del premio Talgo a la innovación tecnológica, se trata de un estudio que pretende obtener una metodología objetiva para el análisis de las características más relevantes del material rodante, en operativa y en percepción del cliente. En él se establecen indicadores de arquitectura, productividad, consumo y emisiones, habitabilidad, confort o accesibilidad.

Entre muchas de sus aportaciones, desarrolla varios coeficientes y ecuaciones que relacionan variables como el ancho de puertas, el gap vertical o el equipaje que portan los viajeros con los tiempos de parada en una estación.

Reducing Dwell Time: London Underground Central Line, 2016 [2]

A través del análisis de 10 estaciones de la London Underground Central Line, intenta identificar las causas que producen los altos tiempos de parada de esta línea. Mediante observación de imágenes de los circuitos cerrados de televisión o encuestas a personal y viajeros, propone una serie de medidas para atenuarlas, como buscar medidas que eviten la distribución irregular de los viajeros en el andén o rediseñar el interior de los trenes.

Metodología para la estimación de la combinación de velocidades máximas que permiten alcanzar el tiempo de viaje comercialmente requerido en una infraestructura ferroviaria, 2017 [3]

Esta tesis doctoral plantea una metodología capaz de determinar la combinación de velocidades máximas de una línea ferroviaria de alta velocidad que permite obtener los máximos retornos con los mínimos costes. De ella se puede extraer una metodología para calcular los tiempos que se pierden en la deceleración y el frenado, aplicable no solo a la alta velocidad sino a otros servicios.

Análisis de los tiempos de parada en ferrocarriles metropolitanos. Estudio cuantitativo y análisis estadístico, 2018 [4]

En este estudio se realiza un análisis estadístico de una muestra de mediciones sobre tiempos de parada de trenes de cercanías en diferentes estaciones y momentos del día de diferente tipología de vehículos, para poder caracterizar el estado actual del material rodante en términos de

operación y capacidad. Aporta gran cantidad de datos de tiempos de subida y bajada, apertura y cierre de puertas, así como una base de datos de trenes de dos pisos.

Exploring the Effect of Train Design Features on the Boarding and Alighting Time by Laboratory Experiments, 2019 [5]

Experimento de laboratorio con personas que simulan su entrada y salida de un coche, analizando factores como el ancho de puerta, la superficie disponible para los viajeros a ambos lados de la puerta o la influencia de la altura entre coche y andén.

2 OBJETIVOS

El este trabajo se pretende, humildemente, aportar un documento argumentado que pueda ser consultado como punto de vista cuando se pretendan definir las variables que influyen en los tiempos de parada y las mejores prácticas (o practicas a evitar) a la hora de optimizarlos, y que pueda resultar en una pequeña *palanca* a la hora de definir una estrategia en este sentido. El ámbito de estudio se reduce a la Red Ferroviaria de Interés General, sin perjuicio de haber tomado ideas o inspiración de otras explotaciones ferroviarias. Tampoco se renuncia a la posibilidad de que lo aquí expuesto pudiera ser de aplicación, análogamente, en dichas explotaciones.

Se intenta en todo momento afrontar el estudio desde la óptica del ferrocarril como **sistema**, entendiéndolo como una serie de elementos conectados que, por una parte, deben tenerse en cuenta los unos a los otros en el desarrollo del mismo. Casi en cada hipótesis y propuesta del trabajo se tienen en cuenta dos o más variables interdependientes, desde la relación que guarda un diseño determinado del punto de parada en el andén con la confianza del maquinista en su entrada a la estación o la relación que existe entre la reglamentación de circulación y la elección de la velocidad de paso por desvío.

Si bien muchas de las hipótesis planteadas requieren de mayores tasas de investigación, recopilación de datos y mas *ojos* que puedan aportar información útil y visión crítica, todo lo aquí expuesto intenta ser coherente y honesto con lo observado, vivido y extraído de otras publicaciones.

En lo tocante al valor añadido que puede tener, se aporta una perspectiva a través de la profesión del autor, maquinista, de la interacción entre la conducción (manual o automática) la señalización y la reglamentación, así como de las operaciones que dependen de esta figura. Se adjunta una pequeña muestra de 140 respuestas a una serie de cuestiones realizadas a maquinistas para respaldar determinadas hipótesis y opiniones planteadas.

2.1 Limitaciones

Si bien el presente trabajo pretende ser riguroso, la particularidad de una explotación ferroviaria como la RFIG, donde la operación y la infraestructura se encuentran separadas, generando una gran diversidad de tipos de vehículo, estaciones, longitudes de andén, etc., que implicarían una gran cantidad de mediciones y casuísticas, así como las exigencias de un Trabajo de Fin de Máster como trabajo de investigación (con respecto, por ejemplo, a una tesis), hacen que su alcance y aplicabilidad sean limitados.

No obstante, pretende ser una pequeña puerta de entrada a una profundización mayor y futura.

3 PLANIFICACIÓN DE TAREAS

Las tareas más importantes de este trabajo han sido:

- Definición de objetivos del trabajo.
- Revisión de estudios relevantes sobre el tema. En el apartado *estado del arte* de la introducción se destacan los más relevantes, sin perjuicio de otros que se citan a lo largo del trabajo.
- Definición de la estructura de la memoria, generando un índice completo aproximado. De gran ayuda para tener una visión global del futuro trabajo.
- Investigación sobre las variables de cada parte del sistema ferroviario.
- Entrevistas a compañeros maquinistas.
- Desarrollo del *cuerpo* del trabajo. Cálculos de tiempos y planteamiento de hipótesis.
- Cierre de l trabajo: Introducción, conclusiones y aportaciones.

Se ha renunciado, por las circunstancias de confinamiento en las que se ha realizado esta memoria, a un trabajo de campo para medir y observar determinados factores *in situ*, tanto en estaciones como en cabinas de conducción. Como aproximación:

Tabla 1. Planificación de tareas

	dic-19	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20
Definición de objetivos	x							
Revisión de estudios		x	x	x				
Definición estructura		x	x	x	x	x		
Investigación variables					x			
Entrevista a maquinistas					x	x	x	
Desarrollo memoria.						x	x	x
Cierre								x

4 DEFINICIONES

En el presente capítulo se realiza una explicación del objeto de estudio, el tiempo de parada, y de las variables que influyen en el mismo: principalmente señalización, infraestructura y material rodante, aunque se revisarán también otros elementos de la operación. Se definen conceptos básicos de manera objetiva y se proporcionan herramientas para poder entender el enfoque de los siguientes capítulos.

4.1 Parada: definición e implicaciones

La velocidad máxima de un tren está limitada en cada punto de la línea por la combinación de dos tipos de restricciones: la que impone el trazado y la que impone la señalización. Las reducciones de velocidad que el tren debe realizar en cada tramo implican un aumento del tiempo de viaje debido no solo al tramo de restricción en sí, sino también al tiempo que se pierde en alcanzar la nueva velocidad menor (deceleración) y al tiempo que se tarda, una vez termina esta restricción, en recuperar nuevamente la velocidad máxima (aceleración). La parada puede tener, por tanto, una consideración de restricción de velocidad máxima de valor cero.

Durante los tramos en los que se produce una deceleración o una aceleración, el tren, por definición, estará circulando a una velocidad inferior a la permitida en ese punto ya que estos cambios en su velocidad no se producen de manera instantánea. Esta inevitable diferencia entre la velocidad máxima permitida y la real durante los procesos de deceleración y aceleración es mejorable gracias a características técnicas del vehículo y sistemas de señalización, sin embargo, es en el diseño de la infraestructura donde se debe intentar minimizar en la medida de lo posible este tipo de variaciones de velocidad, dándole homogeneidad a la velocidad máxima de la línea.

4.1.1 Definición

Según el Reglamento de Circulación Ferroviaria [6], *la parada de un tren puede estar prescrita en su marcha o realizarse de forma eventual por necesidades de regulación del tráfico o causa justificada del maquinista o la Empresa Ferroviaria.*

Por tanto, tendremos las paradas previstas (prescritas) y las sobrevenidas (eventuales).

4.1.1.1 Tipos de paradas prescritas

Las paradas prescritas podrán ser

- a) **comerciales**, si tienen por objeto la subida y bajada de viajeros, o
- b) **técnicas**, si se efectúan por otras causas derivadas de la explotación, como cruces y adelantamientos previstos o modificación de la composición del tren.

Dentro de las paradas comerciales se define un tipo de estas como **facultativas**, que son aquellas que se efectúan únicamente cuando en la estación bajan y/o suben viajeros y cuyo impacto en la marcha del tren en caso de no efectuarse es igualmente importante ya que el maquinista debe reducir la velocidad para comprobar visualmente la presencia o no de viajeros.

En todo caso, las paradas prescritas forman parte de la marcha establecida para el tren y por tanto afectan a la velocidad comercial del tren o, lo que es lo mismo, la que resulta de la división de la distancia del trayecto entre el tiempo comercial empleado en recorrerlo, incluyendo el tiempo de parada en estaciones intermedias. En el desarrollo de esta memoria nos enfocaremos principalmente en el tema comercial, sin perjuicio de que algunas de las conclusiones pudieran aplicarse a la mejora en las paradas técnicas.

En la siguiente imagen podemos ver un tramo (de Bif. Cambiador de Lleida a Barcelona-Sants) de dos marchas de tren – trenes nº 3261 y nº 3071-, ambas correspondientes a sendos AVE Madrid-Barcelona y calculadas en función de la combinación de las restricciones de velocidad máxima del tren y de la línea, representada en la segunda columna de la izquierda, y de sus paradas prescritas, primera y tercera columnas de la derecha.

3261.- AVE		Dependencia	Com	Hora	Téc	Com	Radio
100	444.1	BIF. CAMBIADOR LLEIDA	⊖	8.29			
220	445.1	P.T. LLEIDA NORTE	⊖	8.30			
	451.1	210 VIA IV KM 445,830 AL 450,044	⊖				
	448.2	175 VIA III KM 450,400 AL 450,863	⊖				
300	451.7	BIF. ARTESA DE LLEIDA	⊖	8.33			
	448.2	BIF. CAMBIADOR PUIGVERD	⊖	8.34			
	451.8	LES BORGES BLANQUES-A. V.	⊖	8.36			
	456.6	KM. 482,6	⊖	8.41			
	488.9	L'ESPLUGA DE FRANCOLI-A. V.	⊖	8.43			
280	500.9		⊖				
	503.0		⊖				
	509.3	ALCOVER-A. V.	⊖	8.47			
	512.8	BIF. LA GATELLADA	⊖	8.49			
	140	VIAS 3 Y 4 CAMP TARRAGON	⊖				
	30	VIAS 5,6,7,8 CAMP TARRAG	⊖				
300	520.9	CAMP DE TARRAGONA	⊖	8.54	5		
	534.7	LA POBLA DE MONTORNES-A.V.	⊖	9.04			
	552.7	L'ARBOÇ-A. V.	⊖	9.08			
250	562.2		⊖				
	563.3		⊖				
	50	VIA III DE VILAFRANCA KM 564,876 AL 566,564	⊖				
BCA ₁	300	VILAFRANCA DEL PENEDES-A. V.	⊖	9.11			
	579.6	GELIDA-A.V.	⊖	9.14			
245	583.6		⊖				
	591.9		⊖				
225	602.1	SANT VICENÇ DELS HORTS	⊖	9.21			
	604.2		⊖				
160	607.2		⊖				
130	612.9	EL PRAT DE LLOBREGAT-AV	⊖	9.25			
	615.0		⊖				
95	616.0	BIF. CAN TUNIS-A. V.	⊖	9.27			
	618.1		⊖				
	60	TASF KM 619,500 AL 619,933	⊖				
60	619.9		⊖				
	620.2		⊖				
30	621.0	BARCELONA-SANTS	⊖	9.34			

Figura 1. Marcha con parada técnica y comercial

3071.- AVE		Dependencia	Com	Hora	Téc	Com	Radio
	342.1	PINA DE EBRO-A. V.	⊖	8.17			
	356.5	BUJARALÓZ	⊖	8.20			
300	372.6	VALFARTA	⊖	8.23			
	396.8	BALLOBAR	⊖	8.28			
280	403.6		⊖				
	406.5		⊖				
	419.9	VALLMANYA	⊖	8.33			
	430.3	MONTAGUT-A.V.	⊖	8.35			
	432.9	BIF. LES TORRES DE SANUI	⊖	8.36			
	439.9	EL SEGRE	⊖	8.38			
300	442.2	BIF. ARTESA DE LLEIDA	⊖	8.40			
	451.8	BIF. CAMBIADOR PUIGVERD	⊖	8.41			
	456.6	LES BORGES BLANQUES-A. V.	⊖	8.42			
	482.6	KM. 482,6	⊖	8.47			
	488.9	L'ESPLUGA DE FRANCOLI-A. V.	⊖	8.49			
280	500.9		⊖				
	503.0		⊖				
	509.3	ALCOVER-A. V.	⊖	8.53			
	512.8	BIF. LA GATELLADA	⊖	8.54			
	140	VIAS 3 Y 4 CAMP TARRAGON	⊖				
	30	VIAS 5,6,7,8 CAMP TARRAG	⊖				
300	520.9	CAMP DE TARRAGONA	⊖	8.56			
	534.7	LA POBLA DE MONTORNES-A.V.	⊖	8.59			
	552.7	L'ARBOÇ-A. V.	⊖	9.03			
250	562.2		⊖				
	563.3		⊖				
	50	VIA III DE VILAFRANCA KM 564,876 AL 566,564	⊖				
BCA ₁	300	VILAFRANCA DEL PENEDES-A. V.	⊖	9.06			
	579.6	GELIDA-A.V.	⊖	9.09			
245	583.6		⊖				
	591.9		⊖				
225	602.1	SANT VICENÇ DELS HORTS	⊖	9.16			
	604.2		⊖				
160	607.2		⊖				
130	612.9	EL PRAT DE LLOBREGAT-AV	⊖	9.20			
	615.0		⊖				
95	616.0	BIF. CAN TUNIS-A. V.	⊖	9.23			
	618.1		⊖				
	60	TASF KM 619,500 AL 619,933	⊖				
60	619.9		⊖				
	620.2		⊖				
30	621.0	BARCELONA-SANTS	⊖	9.45			
	80	TASF KM 621,692 AL 623,758	⊖				
	621.7		⊖				
	622.8		⊖				
	624.3		⊖				
	626.7		⊖				
60	628.1	BIF. SAN ANDREU COMTAL	⊖	9.50			

Figura 2. Marcha sin parada

Se observa que el tren 3261 tiene calculada su marcha contando con una parada en la estación intermedia de Camp de Tarragona. Esta parada es, por un lado, **técnica** de 5', para ser adelantado por el tren 3071 -representado a la derecha- a las 8:56, y una parada **comercial** de 2', tiempo calculado para la subida y bajada de viajeros. Hay que aclarar que, las paradas técnicas -en este caso la de 5'- pueden ser suprimidas en caso de desaparición de su necesidad, pero no así las comerciales, de ahí la importancia de separar ambos conteos. En todo caso, la salida del tren 3261 nunca podrá ser anterior a las 8:54.

Por su parte, la parada **facultativa** no existe como tal desde el punto de vista del Administrador de Infraestructura de manera que corresponde a las Empresas Ferroviarias, a título interno y comercial, definir las. Por ejemplo, un tren con parada facultativa una estación A:

- Efectuará parada si en el tren existen viajeros con destino A. En este caso, el Operador Comercial del tren (*revisor, interventor*), debe ser conocedor de esta información y comunicársela al maquinista para que efectúe la parada.
- No existiendo viajeros en el tren con destino A, el maquinista reducirá la marcha en la aproximación a esta estación, de manera que pueda comprobar por observación directa la presencia o no de viajeros en el andén, efectuando o no la parada.

Esta situación genera una ineficiencia ya que la marcha del tren se calcula de la manera más desfavorable (como si el tren efectuara siempre parada) por parte del Administrador de Infraestructuras mientras que, en la realidad, esa parada puede efectuarse o no y, en todo caso, el tren no puede salir adelantado de A con arreglo al tanto al reglamento de circulación como a la posibilidad de la llegada *al límite* de viajeros a la estación.

Ampliando esta definición y para el objeto de este trabajo, podemos definir el **tiempo perdido en una parada** como el tiempo que transcurre desde que el tren, partiendo de la velocidad máxima

que permite su marcha, comienza a decelerar, hasta que recupera de nuevo su marcha normal, incluyendo en este tiempo aquel en el cual la velocidad fuese cero [3]:

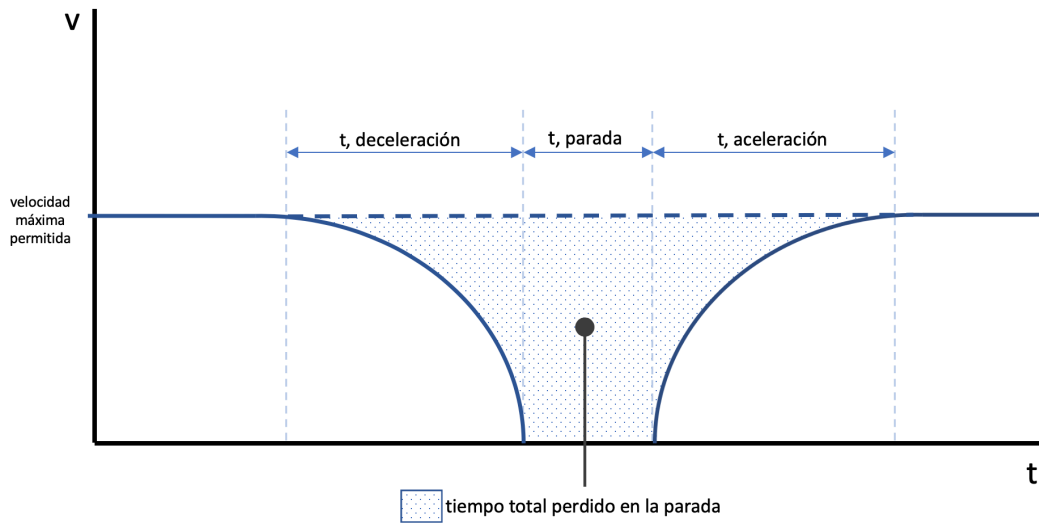


Figura 3. Tiempo perdido en una parada

En lo tocante al tiempo en el cual el tren se encuentra con velocidad igual a cero, este puede descomponerse en los siguientes hitos:[4]

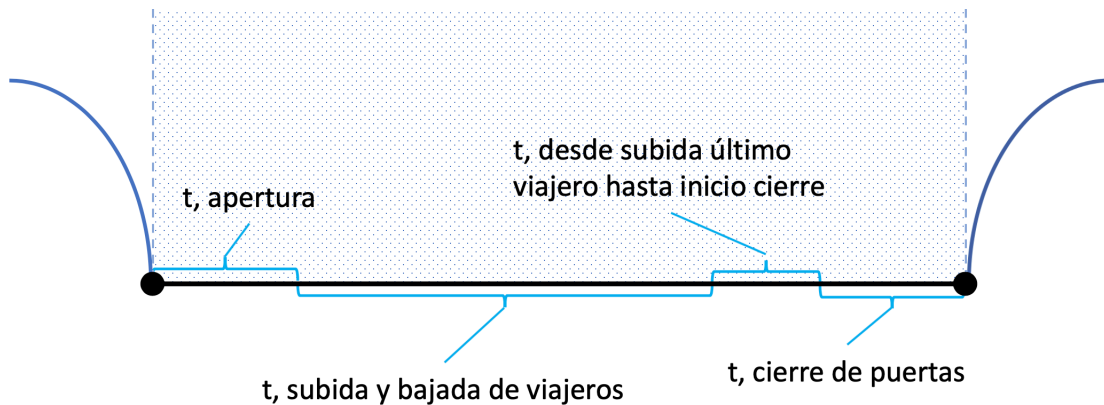


Figura 4. Descomposición tiempo de parada

En el tiempo de apertura y cierre de puertas se tiene en cuenta también los tiempos de desbloqueo (antes de la apertura) y de bloqueo (desde que se completa el cierre hasta que se establece la tracción), aunque son perfectamente desagregables.

4.1.2 Implicaciones de la parada en la marcha del tren

Tras la definición y desagregación anterior, podemos concluir que al estudio del tiempo empleado en la marcha de un tren la parada de un tren se le pueden imputar tanto el tiempo en el que el tren se encuentra detenido, como el tiempo en el que se está decelerando y acelerando, teniendo en cuenta la metodología existente al respecto, podemos realizar una pequeña comparativa entre

trenes directos o semidirectos entre estaciones con respecto a cuando en el mismo trayecto se efectúan más paradas:

Tabla 2. Implicación de las paradas en la marcha de un tren

	Directo /S-Directo	Con paradas	% diferencia
Cercanías	52' (9 paradas)	60' (16 paradas)	14% (Terrassa – L'Hospitalet)
Media Distancia	1h 20' (3 paradas)	1h 33' (6 paradas)	14% (A Coruña – Vigo)
Alta Velocidad	2h 32' (directo)	2h 38' (3 paradas)	4% (Madrid – Sevilla)

5 SEÑALIZACIÓN Y SISTEMAS DE PROTECCIÓN

El sistema ferroviario se descompone, dada su extensión y complejidad y con arreglo a la Directiva 2008/57 de interoperabilidad, en los siguientes subsistemas: infraestructura, control-mando y señalización, energía, material rodante, explotación-gestión del tráfico, mantenimiento y aplicaciones telemáticas al servicio de los pasajeros y del transporte de mercancías. [7]

El **subsistema de control, mando y señalización (CMS)** de una red se define en la propia directiva como *el conjunto de equipos necesarios para garantizar la seguridad, el mando y el control de la circulación de los trenes autorizados a transitar por la red.*

De una manera más general, se puede definir un sistema de señalización como aquel conjunto de normas, equipos e instalaciones que tiene como fin la consecución de una circulación segura y regular, mediante la detección de la posición e integridad de cada tren y la transmisión codificada de información a estos de manera que:

- a) se autorice de manera inequívoca el movimiento de cada tren, asegurando una ruta no incompatible con la de otros y no incompatible con la posición de los aparatos de vía y
- b) que este movimiento se haga en un sentido definido y con una separación adecuada, para evitar que se produzcan choques o alcances.

Dadas estas condiciones debe, además, permitir una frecuencia de circulaciones que sea útil para el viajero, fin último de cualquier explotación ferroviaria, y debe poder garantizar la explotación segura en modo degradado en caso de no funcionar correctamente.

5.1 Definiciones

Dentro de los elementos de la señalización ferroviaria moderna, se encuentran los diferentes **sistemas de protección** que podemos definir como el sistema que, mediante el intercambio de información entre equipos compatibles instalados en el vehículo y la vía, permite desarrollar todas o algunas de las siguientes funciones:

- a) Informar en cabina del estado de las señales y proteger determinados puntos de la infraestructura del acceso indebido del mismo.
- b) Supervisar, con mayor o menor precisión acorde a las características de la infraestructura y la señalización, la velocidad del tren evitando sobrepasar la máxima permitida y frenándolo total o parcialmente en caso de hacerlo.

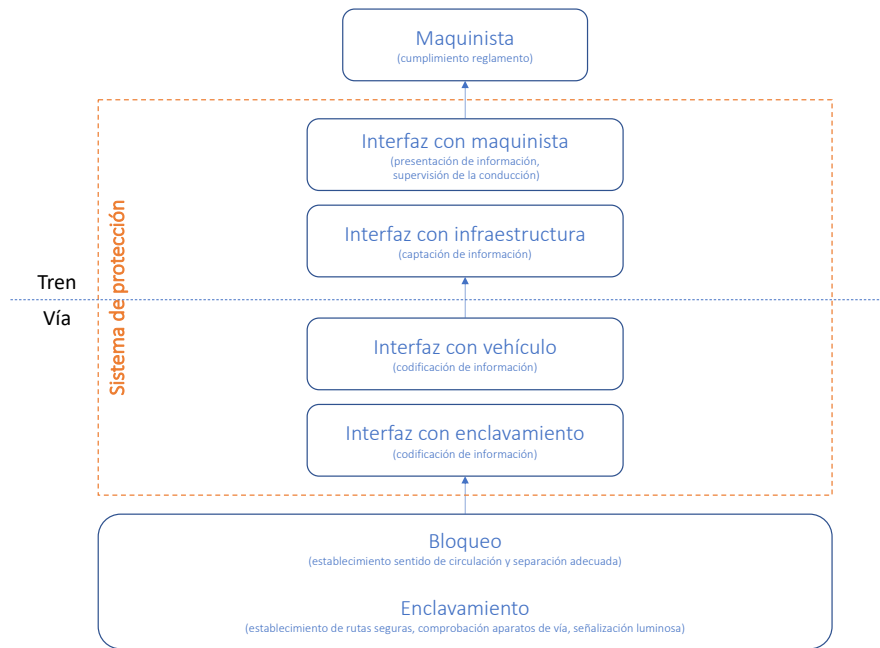


Figura 5. Sistema de protección, diagrama de bloques

Estado de los sistemas de protección instalados en la RFIG a fecha de realización de la presente memoria, julio de 2020. De ellos, se analizarán los más relevantes en el resto del capí

- **ASFA:** Instalado en algunos vehículos de la Red de Ancho Métrico, en proceso de desaparición.
- **ASFA Digital:** Instalado en la práctica totalidad de la RFIG y en la totalidad de vehículos que sobre ella circulan. Se utiliza como sistema principal, salvo en aquellas líneas donde se encuentran instalados y operativos otros sistemas de protección (ERTMS/ETCS y/o LZB)
- **EBICAB:** Tramos en corredor Mediterráneo. Se encuentra instalado en la infraestructura, en tramos del Corredor Mediterráneo, pero actualmente sin uso por parte de las empresas ferroviarias.
- **ERTMS/ETCS N1:** Instalado en la mayoría de las líneas de alta velocidad, como sistema principal o como respaldo del nivel 2. Pequeña implantación en líneas de Cercanías.
- **ERTMS/ETCS N2:** Instalado en algunas líneas de alta velocidad y proyectado para algunas de convencional
- **LZB:** Instalado en las líneas de alta velocidad Madrid-Sevilla y Madrid-Toledo, así como en la línea de Cercanías de Madrid C5.

En función de la manera en la que la información de la señalización es transmitida al vehículo, del grado de supervisión de la velocidad que se ejerce sobre el mismo en comparación con la permitida en cada momento, y del tipo de comunicación entre los subsistemas de infraestructura y material rodante, los sistemas de protección más comunes en el ferrocarril español se pueden clasificar en función de sus prestaciones:

Tabla 3. Comparativa sistemas de protección

Sistema	Transmisión	Transmisión vía-tren	Supervisión	V. máxima
ASFA	Puntual (balizas)	Unidireccional	Puntual	200 km/h
ASFA Digital	Puntual (balizas)	Unidireccional	Semicontinua	200 km/h
EBICAB	Puntual (balizas)	Unidireccional	Continua	220 km/h
ERTMS N1	Puntual (eurobalizas)	Unidireccional	Continua	300 km/h
ERTMS N2	Continua (GSM-R)	Bidireccional	Continua	350 km/h
LZB	Continua (cable radiante)	Bidireccional	Continua	300 km/h

Las implicaciones de estas características son clave en el desarrollo de la explotación ferroviaria, tanto en la operación como en la seguridad:

- La **transmisión** de información, cuando no es continua, penalizará la operativa del tren al provocar un retraso en la recepción de esta. Este retraso será equivalente al tiempo que transcurre entre el cambio en la indicación de una señal y el paso del tren por el punto de obtención de la nueva información, típicamente una baliza. Cuando la transmisión es continua, los cambios en el estado de la señalización son recibidos inmediatamente por el tren.
- La **supervisión** de velocidad, cuando no es continua, genera dos tipos de situaciones indeseables para la explotación, al permitir cierto grado de inexactitud:
 - Puede supervisar en contra de la seguridad, realizando un control de velocidad mayor a la permitida en cada instante, tanto por señalización como por trazado.
 - Puede supervisar en contra de la operación, realizando un control de velocidad inferior a la permitida (y óptima) en cada instante, tanto por señalización como por trazado.

Cuando es continua, la velocidad supervisada se ajusta a la máxima permitida en cada momento, de manera que operación y seguridad se encuentran conjugadas en lo que podemos llamar una velocidad óptima.

Podemos, de esta manera, definir el concepto e importancia de la **precisión** de los sistemas de protección o, lo que es lo mismo, la capacidad con la que estos se adecúan a la velocidad máxima permitida en cada punto de la vía, por señalización, infraestructura y operación comercial. Este concepto está necesariamente ligado a la transmisión de la información y a la supervisión de la velocidad de tipo continuo, de manera que recabe la mayor cantidad de parámetros relevantes en este aspecto de la marcha del tren.

Un ejemplo sencillo podría ser el control de velocidad que realiza el sistema de protección al paso por las agujas cuando estas se encuentran en posición de vía desviada:

PRECISIÓN DE LA SUPERVISIÓN

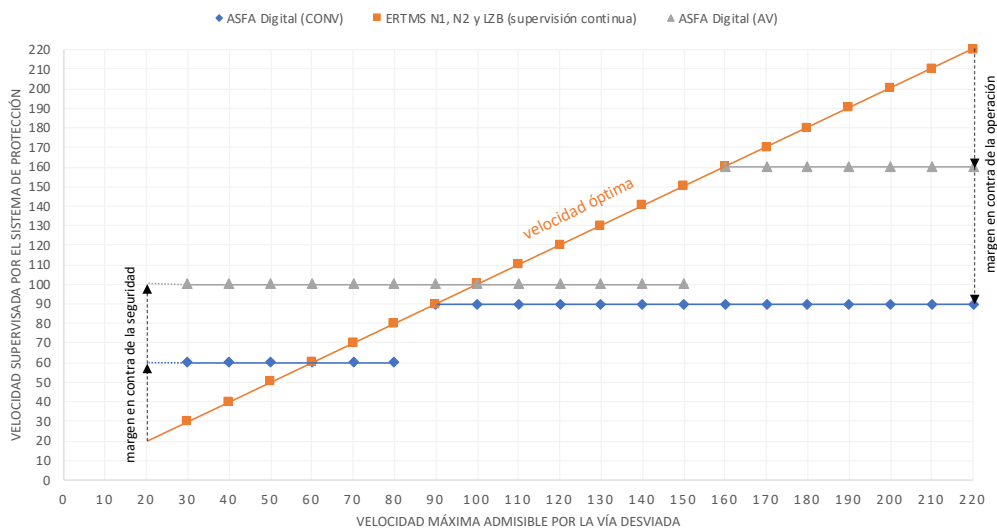


Figura 6. Precisión de la velocidad supervisada al paso por una vía desviada

Podemos observar que, en este caso, el sistema ASFA Digital (supervisión semicontinua) realiza la supervisión en dos escalones de velocidad y únicamente con arreglo a las indicaciones de la señalización lateral, mientras que ERTMS N1/N2 y LZB (supervisión puntual), al contener también información sobre el perfil estático de velocidad, son capaces de adecuarse a la velocidad del propio desvío, mejorando la operación y la seguridad. Esto se puede aplicar en cualquier otra circunstancia donde exista una restricción de velocidad.

Por su implantación y relevancia, en esta memoria se analizarán únicamente ERTMS/ETCS N1 y N2, ASFA Digital, y LZB.

5.1.1 Tipos de conducción

Sin perjuicio de otro tipo de definiciones que pudiesen elaborar otros agentes del sector, como por ejemplo los fabricantes, en el Reglamento de Circulación Ferroviaria se definen, atendiendo a la capacidad de automatización de la conducción que permiten los sistemas de protección, tres tipos: [6]

- **Conducción manual.** La que desarrolla el maquinista bajo su responsabilidad de forma íntegra con o sin ASFA.
- **Conducción asistida.** La que desarrolla el maquinista bajo la tutela de un sistema de seguridad (ETCS/ERTMS, LZB o EBICAB) que le protege de posibles errores en el cumplimiento de las órdenes que recibe. El sistema evita que se rebasen las velocidades máximas en cada momento, pero no gestiona las paradas comerciales. Los dispositivos de velocidad prefijada no tienen la consideración de asistencia a la conducción.
- **Conducción automática.** La que realiza el sistema sin intervención del maquinista, manteniendo la máxima velocidad permitida, y efectuando, de forma automática, las paradas comerciales programadas.

Los sistemas de conducción automática y asistida (llamados *automatismos de tracción y frenado* ATF o *automatic train operation* ATO) se apoyan en la información recibida del sistema de protección, adecuando la gestión de la tracción y el frenado del vehículo a las velocidades que estos imponen. Por tanto, la automatización de la conducción reside en la capacidad del sistema de protección para supervisar en todo momento las velocidades máximas del tren tanto por señalización e infraestructura como las paradas comerciales.

De realizar únicamente la relativa a la señalización y la infraestructura, hablaríamos de una conducción *asistida* porque en la aproximación a los puntos de parada comerciales la responsabilidad es del maquinista, que tendría que tomar los mandos. Es decir, la conducción asistida es automática durante el trayecto, pero manual de cara al punto de parada comercial.

Actualmente, en el ámbito RFIG, únicamente podemos hablar de conducción automática en la línea C5 de Cercanías de Madrid, entre Móstoles y Fuenlabrada, y de conducción asistida en aquellas líneas con ERTMS/ETCS en las que circula material con ATF/ATO.

Cabe destacar en este aspecto que, si bien los sistemas de supervisión continua que permiten tanto la conducción asistida como la automática redundan en un nivel de seguridad mayor, cuando alguno de estos sistemas se encuentra en operación degradada, las disfuncionalidades de los automatismos pueden provocar el efecto contrario, por acostumbrarse los maquinistas a las condiciones de explotación con supervisión total.

5.1.2 ASFA Digital

5.1.2.1 Descripción

El sistema ASFA Digital (Anuncio de Señales y Frenado Automático) es un sistema de **ayuda** a la conducción que anuncia en cabina las condiciones más relevantes de la señalización lateral. [8]

Se trata del sistema de protección hegemónico en la RFIG. Se encuentra instalado en la práctica totalidad de la red, como sistema principal o de respaldo en aquellas en las que se utilicen ERTMS/ETCS o LZB como sistema principal.

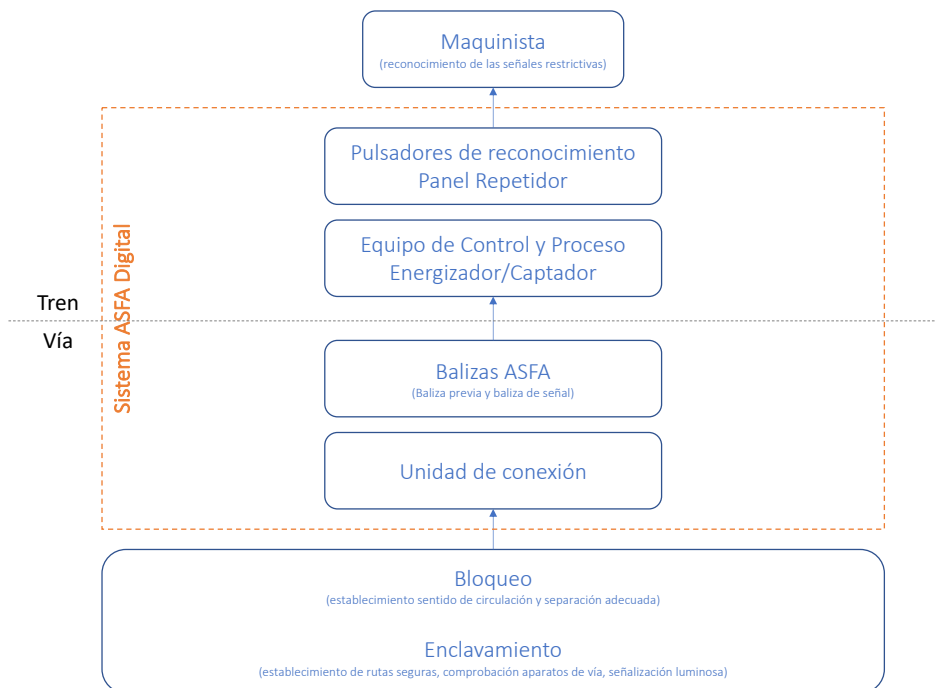


Figura 7. ASFA Digital, diagrama de bloques

Entre el sistema de señalización y las balizas existe una interfaz denominada unidad de conexión que detecta la indicación que el enclavamiento impone a las señales laterales. Las balizas asociadas a cada señal *de focos* transmiten al equipo ASFA embarcado información relativa a la indicación que presenta y están, generalmente, situadas a unos 300 metros (baliza previa) y a unos 5 metros (baliza de señal) de ella.

Existen, también, una serie de balizas que no van conectadas a una unidad de conexión:

- Balizas fijas. Asociadas a Limitaciones de Velocidad por Infraestructura (que supongan una reducción significativa de la velocidad máxima) y cambios de señalización (de una línea).
- Balizas controladas por un equipo no asociado a una señal *de focos*. Este es el caso de las balizas asociadas a la protección de los Pasos a Nivel.

El Sistema ASFA embarcado procesa la información procedente de las balizas y muestra en cabina una serie de indicaciones al maquinista, que deberá confirmar al equipo a través de unos pulsadores en el pupitre de conducción, para alertarlo y facilitarle la realización de las acciones requeridas. Este reconocimiento por parte del maquinista genera lo que podemos llamar una *recta* de frenado. Cuando el Sistema detecta que no se están respetando los controles de velocidad establecidos, actúa sobre el freno de emergencia del tren, llevándolo a la parada:

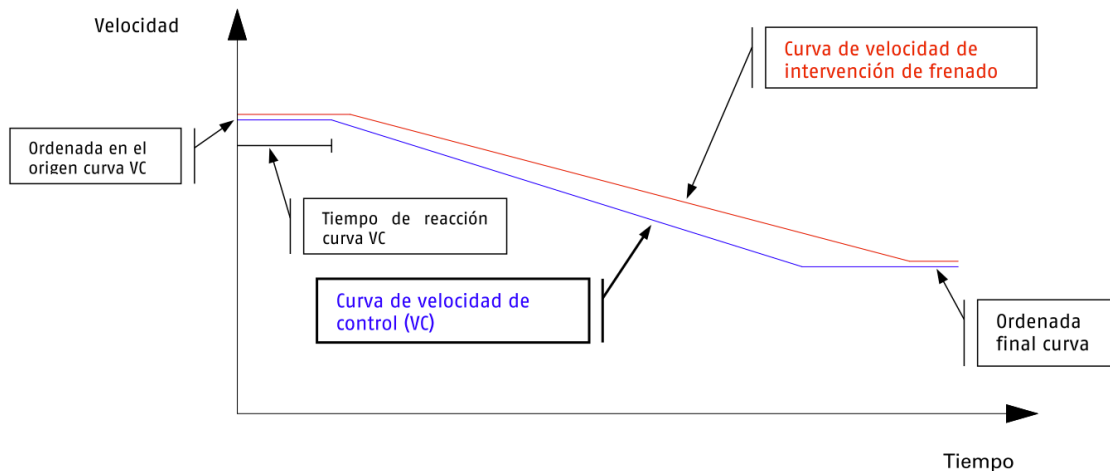


Figura 8. ASFA Digital, velocidad de control y de intervención de freno

El sistema ASFA ofrece una serie de funcionalidades de protección contra sobrevelocidad, incluyendo los siguientes controles: [8]

- Control de velocidad máxima del tren, siendo esta la mínima entre la máxima del vehículo y el tipo de tren seleccionado.
- Control de velocidad durante la aproximación a una señal de parada.
- Control de velocidad durante la aproximación a un desvío.
- Control de velocidad durante la aproximación a un paso a nivel, con o sin protección.
- Control de velocidad relativa a infraestructura cuando existen reducciones significativas.
- Control de modo en zonas de cambio de señalización (AV \Leftrightarrow CONV)

Estos controles son aproximados y orientativos para el maquinista, en pocas ocasiones se ajustan a la velocidad máxima real, ya que este sistema carece de las siguientes funcionalidades:

- No tiene en cuenta datos sobre el tren más allá de su tipo (velocidad máxima). A igualdad de tipo, realiza las mismas restricciones independientemente de la longitud del tren, la capacidad de frenado o el tipo de frenos.
- No tiene en cuenta datos sobre la infraestructura más allá de cuando se produce un cambio significativo de velocidad, para el que aplica un control estándar. No supervisa la velocidad máxima por infraestructura, ni tiene en cuenta el gradiente de esta, en el cálculo de las curvas de frenado.

Esto hace que su **precisión** no sea alta, generando ineficiencias a la hora de aprovechar las velocidades máximas permitidas en cada momento por imponer controles inferiores, o, cuando los controles son superiores, riesgos para la seguridad. Es por ello que es considerado un sistema de supervisión discreta o semicontinua ya que, pese a estar *continuamente supervisando* una velocidad máxima, esta no se ajusta habitualmente a la óptima.

5.1.3 ERTMS/ETCS, generalidades y elementos comunes

El Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario (ERTMS, por sus siglas en inglés), que integra al Sistema Europeo de Control de trenes (ETCS, por sus siglas en inglés), tiene como objetivo, en su concepción inicial, establecer un estándar que permita un funcionamiento homogéneo de los sistemas de protección de trenes de la Unión Europea mediante la interoperabilidad técnica de los mismos.

En la Red Ferroviaria de Interés General, ERTMS/ETCS es el sistema principal con el que se diseñan y construyen las líneas de alta velocidad (a excepción de Madrid-Sevilla, con LZB). En líneas convencionales no está tan presente, pero se espera que su implantación crezca con el tiempo, especialmente en líneas con alta densidad de tráfico como las cercanías de grandes núcleos urbanos.

Dependiendo del equipamiento existente tanto en la vía como en el tren, ERTMS/ETCS puede configurarse en cinco niveles de operación, tres propios de ERTMS/ETCS (1, 2 y 3) y dos que permiten al equipo circular por vías no equipadas (0 y STM):

0. Pensado para circular sobre vías no equipadas con ERTMS/ETCS siendo la supervisión de las velocidades máximas responsabilidad del maquinista y, si existe, de otro sistema de protección. El equipo embarcado se encuentra en una situación de espera para, en un momento dado, transitar a un nivel superior cuando la vía lo permita.
 1. Es el primer nivel de supervisión de ERTMS/ETCS, se basa en la transmisión de información vía-tren a través de información puntual (eurobalizas). La señalización se transmite fundamentalmente a través de la pantalla DMI (interfaz con el maquinista), salvo en las inmediaciones de una señal en indicación de parada.
 2. Es el segundo nivel de supervisión de ERTMS/ETCS, se basa en la transmisión bidireccional de información vía-tren de forma continua (GSM-R), de manera que el equipo embarcado tiene una información instantánea de cualquier cambio en el estado de la vía. La señalización se transmite a través de la pantalla DMI y la señalización lateral podría ser prescindible.
 3. Es el tercer y máximo nivel de supervisión de ERTMS/ETCS, es una evolución del nivel 2, que lo amplía al recibir cada tren información continua de la posición e integridad de cada tren, generando un cantón móvil independiente de los sistemas de detección (típicamente circuitos de vía) y señalización necesarios en otros niveles.
- STM. Es un nivel creado para que los vehículos equipados con equipo ERTMS/ETCS de a bordo sean capaces de circular por vías donde haya instalado otro sistema de protección (como LZB), pudiendo el equipo procesar la información de este sistema, llamado *sistema nacional*, y mostrarla a través del DMI.

Siendo la circulación con niveles 0 y STM con arreglo a las prescripciones de otros sistemas de protección, y estando el nivel 3 todavía en desarrollo, serán los **niveles 1 y 2** los analizados en esta memoria a todos los efectos, obviando el resto.

ERTMS/ETCS se trata de un sistema de protección que ofrece los siguientes controles:

- Contra sobrevelocidad.
- Contra rebase indebido de un punto de parada (no contando a estos efectos, la parada comercial).
- Contra marcha atrás.

- Contra paradas prolongadas.
- De paso a nivel.

El sistema incorpora, para el cálculo de los controles de velocidad y la elaboración de curvas de frenado más precisas, información relativa a la infraestructura y a las características técnicas del vehículo, tales como:

- Longitud del tren
- Velocidad máxima del tren
- Porcentaje de frenado disponible y tipo de frenos
- Perfil estático de velocidad o SSP
- Perfil de gradientes de la vía o GP

Con la información anterior (imprescindible) y la recibida del enclavamiento, el ordenador de a bordo del equipo embarcado (EVC) construye una Autoridad de Movimiento (en adelante MA, sus siglas en inglés), y que es la base de circulación al amparo de ERTMS/ETCS. Esta MA contiene la información de la distancia hasta la que el tren está autorizado a moverse, en un tiempo y con las máximas restricciones de velocidad en cada punto de dicha distancia. El equipo supervisa la velocidad que debe respetar en cada momento, aplicando una corrección a través de los frenos del tren en caso de que esta se sobrepase. En la aproximación al punto final de la MA (EOA), el equipo calcula una curva de frenado que impida sobrepasarlo:

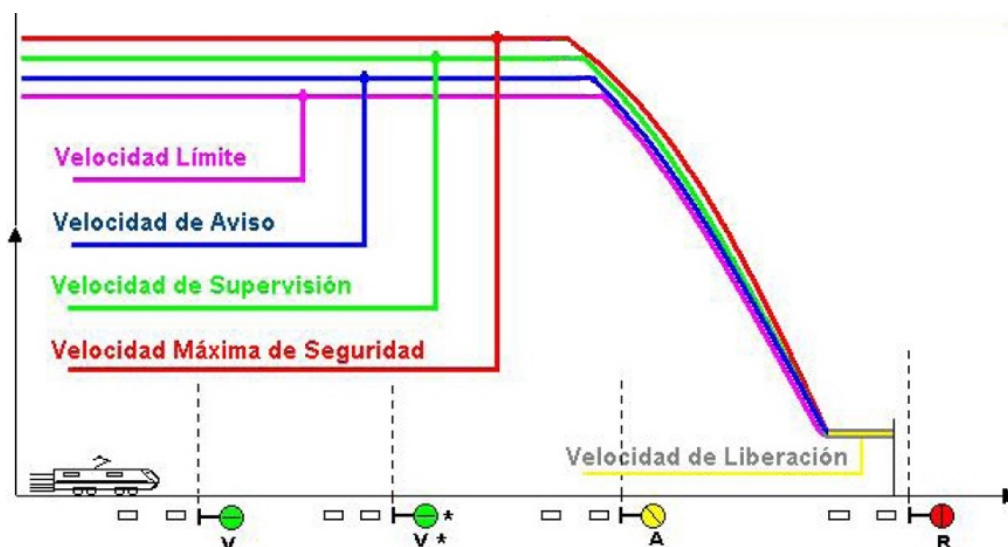


Ilustración 1. MA y curvas de frenado en ERTMS [9]

Dentro de cada nivel, ERTMS/ETCS implementa los llamados **modos de operación**, que se definen para gestionar las diferentes circunstancias operativas (circulación normal, maniobras, marcha a la vista, espera de introducción de datos...) en las que se puede encontrar un tren. No es objeto de esta memoria profundizar en ellos, pero es preceptivo describir algunos de ellos para su mejor comprensión:

- **Modo Full Supervision (FS).** Es el modo de operación diseñado para la circulación con ERTMS/ETCS con plena funcionalidad. La supervisión de velocidad es total y, para que el equipo se encuentre en este modo, es imprescindible disponer de una MA válida.
- **Modo Staff Responsible (SR).** Es el modo utilizado para la circulación del tren durante el tiempo en el que no se dispone de una MA válida. Está diseñado para la adquisición de información por parte de la vía.

- **Modo Trip (TR).** Es el modo utilizado para llevar al tren a una situación segura, a través de su detención irrevocable mediante la aplicación del freno de emergencia, cuando el sistema interpreta que se ha rebasado un punto de parada.

Lo visto hasta este momento puede considerarse común a los niveles 1 y 2 -y en un futuro, al 3-. En los dos siguientes apartados se procede a describir brevemente la arquitectura y funcionalidades particulares de los niveles 1 y 2.

5.1.3.1 ERTMS/ETCS Nivel 1, particularidades

Se trata de un sistema que hereda la filosofía de funcionamiento de muchos sistemas ATP puntuales instalados en Europa, cuyo ejemplo más cercano sería el EBICAB.

En Nivel 1 la transmisión de información se realiza de manera puntual, a través de grupos de eurobalizas. Las balizas, de igual manera que en ASFA Digital, son elementos pasivos que pueden ser de información fija, relativa a la infraestructura, o controlada por el LEU (Unidad de Control Electrónico) que es quien las provee de la información relativa a la señalización. La implicación de este tipo de transmisión es que posibles cambios en la señalización no serán recibidos hasta que el tren pase por estos puntos.

Estas balizas están enlazadas y, por tanto, cualquier error detectado por el sistema debido a la no recepción de la baliza esperada, la recepción de una información incoherente o diferente a la esperada.

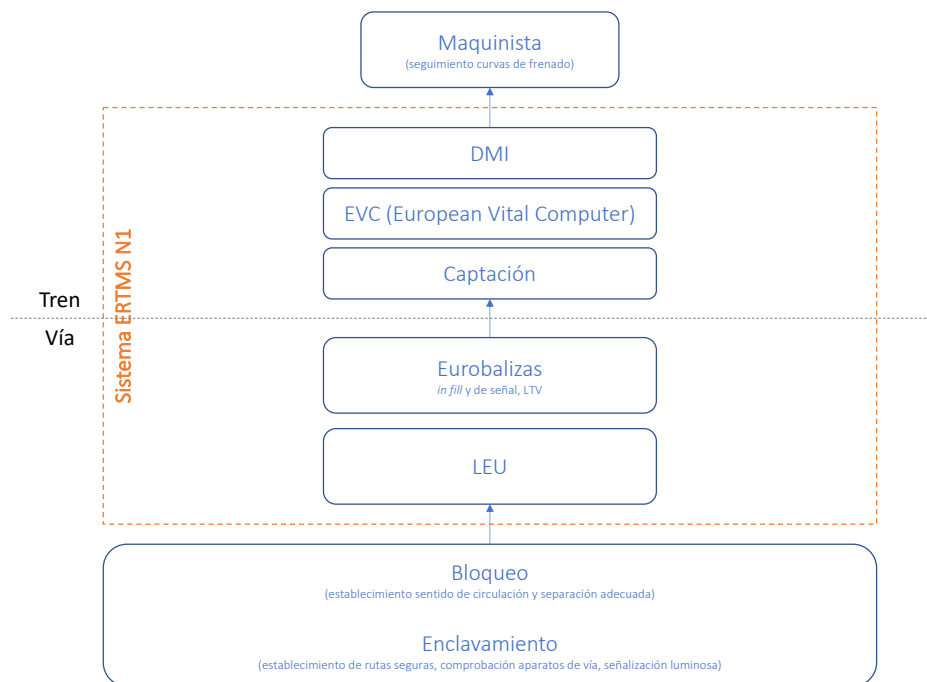


Ilustración 2. ERTMS, Diagrama de bloques

La señalización en ERTMS/ETCS N1 es básicamente en cabina, salvo en la aproximación a señales que ordenen parada.

La MA se genera de acuerdo con la señalización existente, de señal a señal. Siendo necesario por tanto, que existan señales y circuitos de vía para detectar el tren y su integridad.

Estas señales poseen un grupo de balizas *in fill* que anticipan su estado.

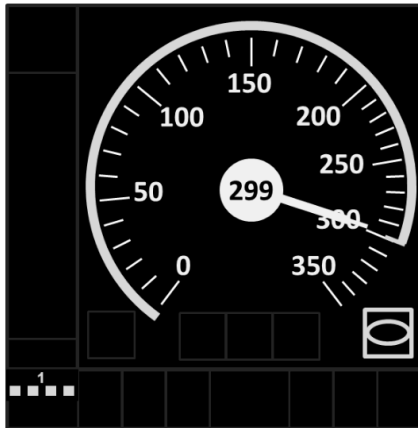


Figura 9. DMI de ERTMS/ETCS [10]

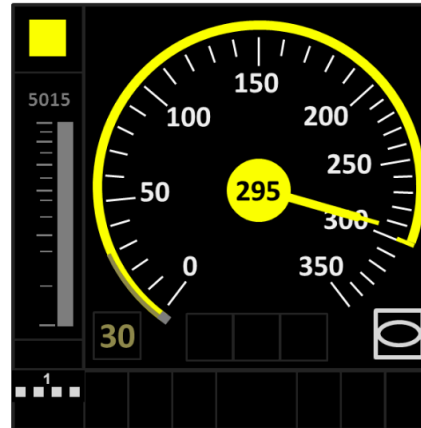


Figura 10. DMI de ERTMS/ETCS [10]

Sobre estas líneas se ilustran dos estados de un DMI de ERTMS/ETCS. Podemos observar que ambos se encuentran circulando en nivel 1 y en modo FS:

- Ilustración izquierda: la velocidad permitida es de 300 km/h (siendo 299 la velocidad real del vehículo).
- Ilustración derecha: situación de curva de frenado por aproximación al final de la MA, típicamente una señal en parada. De la imagen se extrae:
 - La velocidad permitida es de 300 km/h
 - La curva de frenado tiene como objetivo la velocidad de 0 km/h (fin del arco de color amarillo), que deberá alcanzar dentro de 5.015 metros.
 - La velocidad de liberación es de 30 km/h. Esta velocidad es un pequeño margen que concede el equipo para que el tren pueda acercarse a las balizas de la señal una vez esta haya cambiado de indicación (de parada a permitir el paso)

5.1.3.1.1 ERTMS/ETCS Nivel 1 con Eurolazo o Euroloop

Cabe mencionar, pese a su nula implantación en la RFIG, una posibilidad que ofrece el nivel 1 para enviar información *in fill* o anticipada del estado de la señalización. Cuando el tren ya ha franqueado las balizas colocadas al efecto, se encuentra en un *punto muerto* de recepción de información, de manera que posibles cambios en la señalización no serán recibidos por el equipo embarcado hasta el paso por las próximas balizas.

Para paliar esta situación existen dos soluciones similares, el Euroloop o Eurolazo, y el Euroradio o Radio In Fill [11]:

- **Euroloop/Euroradio:** Equipo basado en un cable radiante que se coloca cerca de la señal y que transmite de manera continua el estado de la misma.
- **Euroradio/Radio Infill:** Basado en la misma tecnología que la arquitectura de nivel 2 que genera la información del RBC. Se ordena la conexión vía radio con el equipo Euroradio cuando el tren está a una cierta distancia de la señal y se ordena la desconexión una vez franqueada.

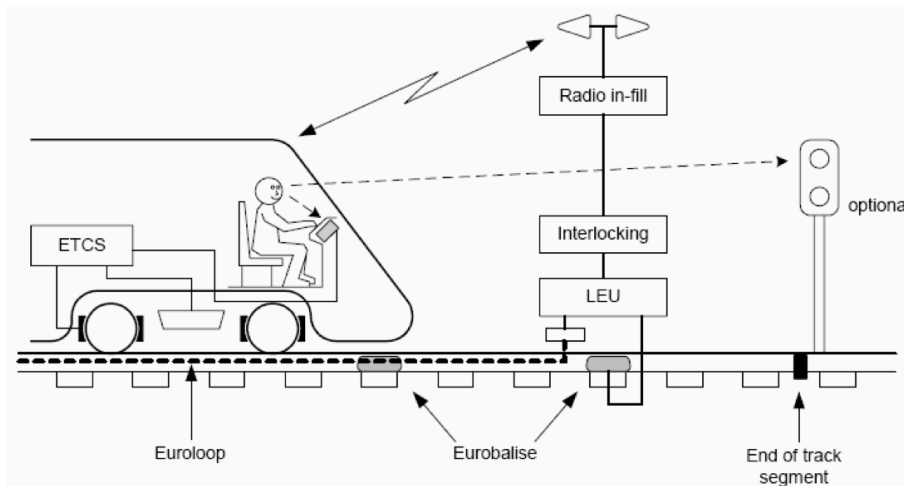


Figura 11. ERTMS/ETCS, Radio In Fill y Euroloop [12]

Se puede razonar que, gracias a la implantación de alguna de estas tecnologías, la **velocidad de liberación** previamente mencionada carecería de utilidad. Esto es aplicable también al ERTMS/ETCS nivel 2.

5.1.3.2 ERTMS/ETCS Nivel 2, particularidades

En nivel 2 el envío de información es continuo, recibiendo el tren de manera instantánea cualquier eventual cambio en el estado de la vía, sin necesidad de pasar por balizas. Esta transmisión es, además, bidireccional ya que el equipo embarcado puede ponerse en comunicación con la vía.

Para la transmisión de información se usa el estándar GSM-R, a través del cual, el centro de radio bloqueo (RBC) en calidad de interfaz con el enclavamiento, envía la información necesaria para construir la MA. Por su parte, el EVC del equipo embarcado transmite al RBC su identificación y localización en la vía. Este reporte de la posición se consigue gracias a la instalación en la vía de balizas fijas cada 1000-1500 metros que indican al tren el punto exacto en el que se encuentra.

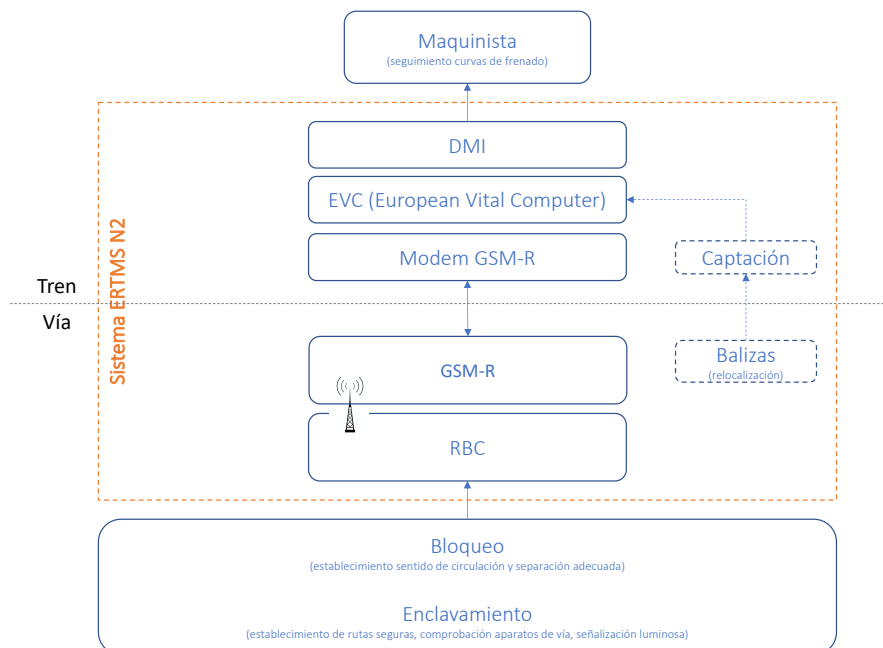


Figura 12. ERTMS, diagrama de bloques

La MA en nivel 2 ya no se construye de señal a señal, sino que su distancia se calcula hasta el último circuito de vía ocupado. Esto es posible gracias a la transmisión continua de información que va actualizando en tiempo real las variaciones del enclavamiento (es decir, la liberación de circuitos de vía por delante del tren). Por tanto, el tipo de explotación que se realiza en nivel 2 es íntegramente de *Señalización en Cabina* o *Cab Signalling*, lo que hace que las señales laterales puedan ser prescindibles, aunque no así los circuitos de vía, necesarios para la detección del tren y su integridad.

Como se ha comentado previamente, en ERTMS/ETCS N2 también se utilizan balizas, pero su finalidad es la relocalización del tren y no la transmisión de información relativa al enclavamiento.



Figura 13. DMI en ERTMS N2 [9]

Sobre estas líneas, podemos ver un DMI del que extraemos la siguiente información:

- Nos encontramos dentro de una curva de frenado, ya que la velocidad máxima de la MA cambia en 1320 metros
- La velocidad límite es de 158 km/h
- La velocidad objetivo es de 40 km/h
- Se circula en nivel 2 y en modo FS

5.1.4 LZB (Linienförmige Zugbeeinflussung)

LZB es un sistema basado en el LZB 80, utilizado en los ferrocarriles alemanes, que se caracteriza por la señalización en cabina y la supervisión continua de la marcha de los trenes. En la RFIG se encuentra instalado desde abril de 1992 en la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla y Madrid-Toledo y desde 1997 en la línea C5 de las Cercanías de Madrid. Se puede considerar, pese a su escasa implantación en la RFIG, un sistema maduro y consolidado.

Tiene, pese a la diferente arquitectura, unas funcionalidades similares a las expuestas en el ERTMS/ETCS N2. La transmisión de información entre vía y tren es continua y bidireccional, de manera que la información que tiene el tren se actualiza instantáneamente.

Para el movimiento seguro de los trenes, el sistema LZB se basa en las **magnitudes guía de conducción**. Estas magnitudes son mostradas al maquinista a través del denominado AICC (Aparato Indicador en Cabina de Conducción), similar al DMI del ERTMS/ETCS, y son calculadas teniendo en cuenta la información del enclavamiento y los datos del tren (longitud, tipo de frenos, velocidad máxima y porcentaje de frenado). Estas magnitudes son:

- **Velocidad límite:** velocidad máxima permitida en cada momento.
- **Distancia meta:** indica la distancia entre el lugar en el que se encuentra el tren y el punto donde se debe producir el cambio (reducción o aumento) de velocidad.
- **Velocidad meta:** indica la velocidad límite a la que se debe circular a partir de la distancia meta.
- **Velocidad real:** velocidad instantánea del tren.

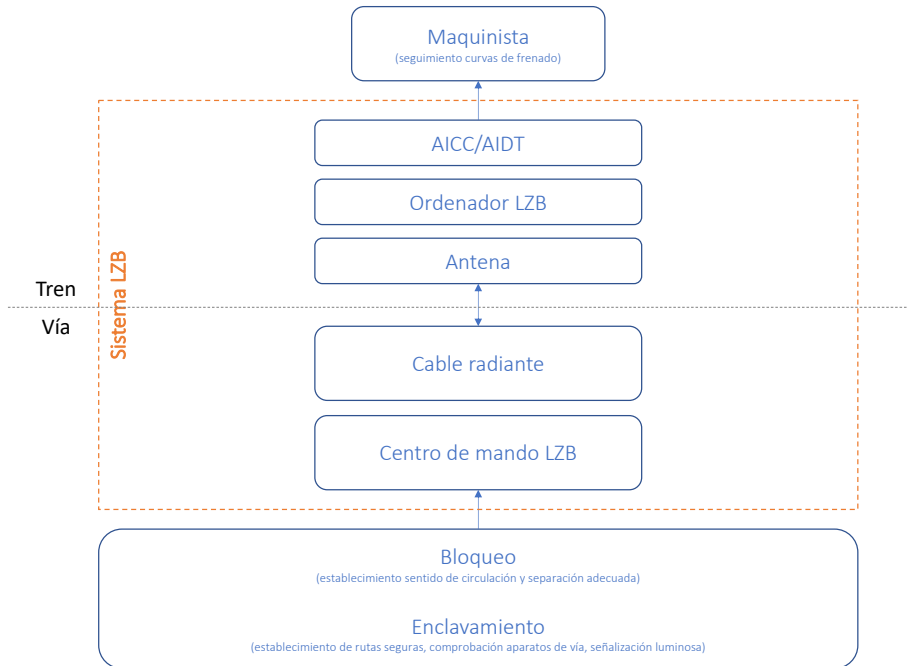


Figura 14. LZB, diagrama de bloques

LZB puede implementar, además de las restricciones de velocidad relativas al enclavamiento y la infraestructura, un **punto de parada comercial** esto es muy interesante desde el punto de vista de la presente memoria, como veremos más adelante.

5.2 Implicaciones en el tiempo de parada

Previamente se presentó el concepto de **precisión** de un sistema de protección. En el presente capítulo se desarrollará de manera práctica, aplicándolo a los tres tiempos en los cuales segmentamos el estudio del tiempo de parada. Podemos dividir los sistemas estudiados en tres escalones, en función de su adecuación a la velocidad óptima en cada momento del proceso:

Tabla 4. Sistemas de protección, prestaciones

	ASFA Digital	ERTMS N1	ERTMS N2	LZB
Transmisión continua	No	No	Sí	Sí
Supervisión continua	No	Sí	Sí	Sí
Perfil estático velocidad	No	Sí	Sí	Sí
Posibilidad ATO	No	No	No	Sí
Supervisión punto parada comercial	No	No	No	Sí

5.2.1 Deceleración

El tiempo de deceleración de los trenes en su aproximación al punto de parada, entendida como el tiempo que transcurre desde el inicio de la frenada hasta que la velocidad es cero, mejora cuanto

más preciso es el sistema de protección, de manera que las curvas de frenado serán más adecuadas a la velocidad óptima en cada punto. Estas mejoras serán más relevantes cuanto mayor sean las restricciones de velocidad que impone la señalización, ya que es en el diseño de dichas curvas en el cual se marca la diferencia.

En esta parte del proceso cabe plantear las siguientes cuestiones:

a) ¿El sistema supervisa el punto de parada comercial?

- Si lo supervisa, la curva de frenado calculada por el sistema terminará en el punto exacto del andén, actuando sobre los frenos en caso de que el maquinista la supere. Esta característica permite también la implementación de la conducción automática según la definición previamente expuesta.
- Si no lo supervisa, la curva de frenado atenderá únicamente a la señalización, terminando esta en un punto de parada asociado a una señal o pantalla, dejando al factor humano la responsabilidad de frenar en punto preciso, al permitir el sistema una $v > 0$ en el punto de parada comercial. Esto puede tener consecuencias negativas para los tiempos de parada, bien por error humano, sobrepasando el punto de parada con las complicaciones que ello pudiera tener para la visibilidad de las operaciones, bien por una aproximación más prudente a dicho punto que redunde en una menor velocidad de entrada en la estación.

b) ¿El sistema supervisa con precisión las velocidades máximas con arreglo a características del vehículo, señalización e infraestructura?

- Si lo supervisa, las curvas de frenado serán, por un lado, más seguras y, por otro, aprovecharán mejor las prestaciones del vehículo y la infraestructura, proporcionando una mejor información al maquinista en el proceso de frenado.
- Si no lo supervisa, las curvas de frenado serán únicamente las relativas a la señalización y a la velocidad máxima del vehículo, provocando en determinados casos un margen de velocidad desfavorable para la seguridad y, en otros, desfavorable a la operación.

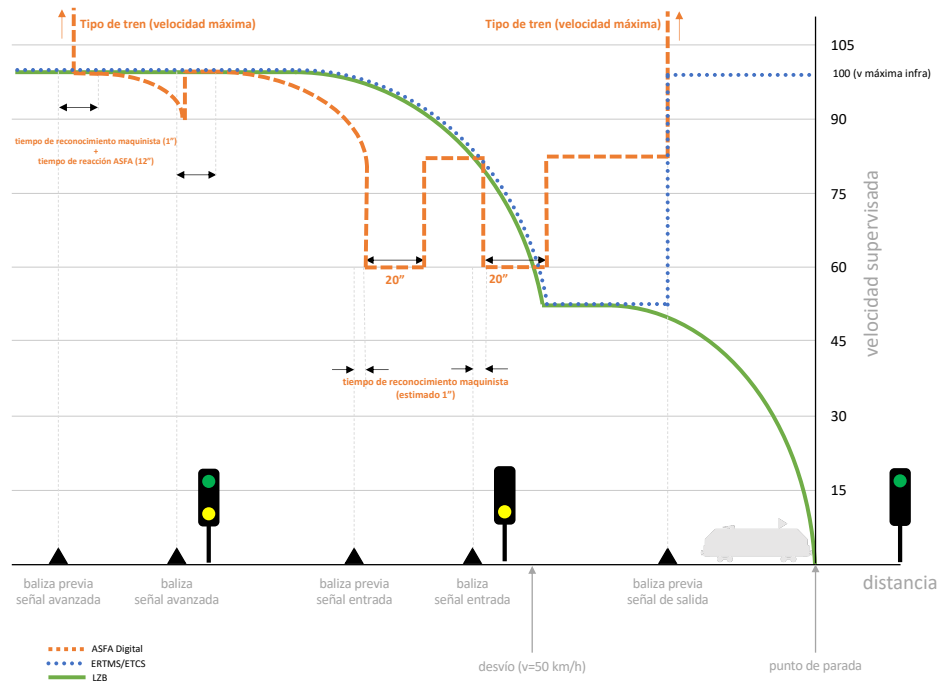


Figura 15. Supervisiones de velocidad de cara al punto de parada, entrada a vía desviada

Sobre estas líneas podemos comprobar visualmente las diferencias entre los controles de velocidad que imponen los sistemas de protección, con y sin supervisión continua, y con y sin supervisión del punto de parada comercial.

A efectos de la siguiente memoria, se analizarán algunas situaciones relevantes en este aspecto, si bien cabe una investigación más a fondo dada la gran variedad de líneas y estaciones que existen en la RFIG.

5.2.1.1 Supervisión en función del itinerario de entrada en la estación

A continuación, se presenta una comparativa entre sistemas de protección durante la entrada a la estación de cara a la parada comercial. Para ello se han escogido los siguientes valores, tomando como punto inicial de referencia la baliza previa de la señal avanzada de la estación, utilizando las ecuaciones del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y sin tener en cuenta posibles gradientes.

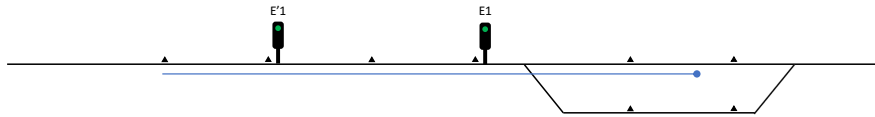


Figura 16. Itinerario de entrada a vía directa y señalización

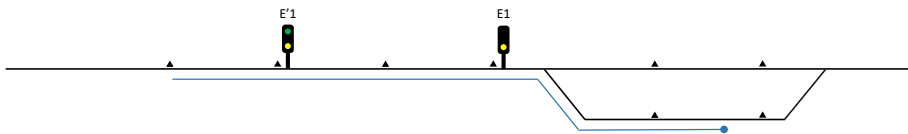


Figura 17. Itinerario de entrada a vía desviada y señalización

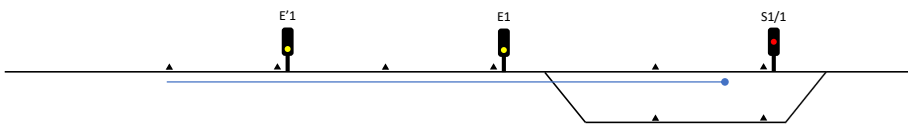
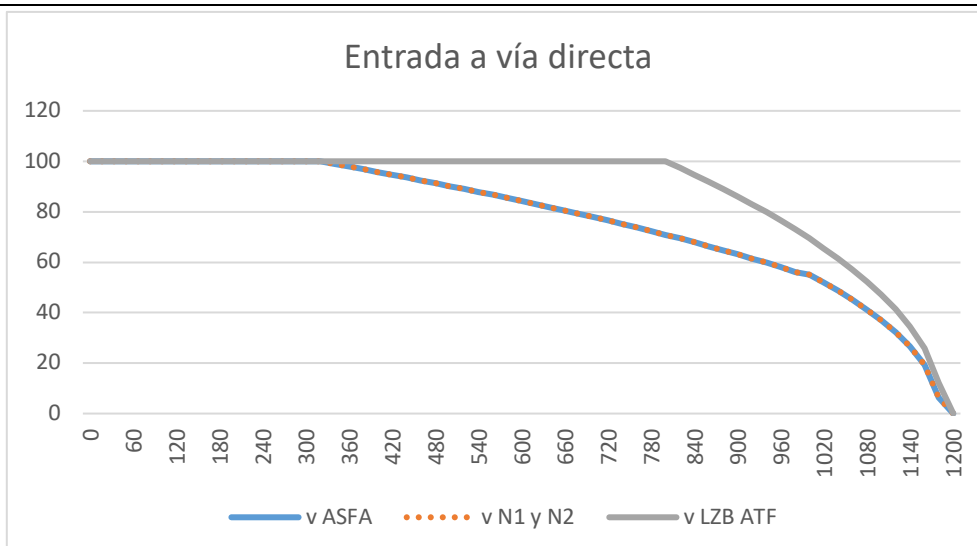


Figura 18. Entrada a vía directa en sucesión de trenes y señalización

5.2.1.1.1 Ámbito Cercanías: Entradas a vía directa y a vía desviada

Puntos de control: Línea de Cercanías.



1. BP S/A	2. B S/A	3. BP S/E	4. B S/E	5. Agujas	6. Andén	7. Pto Parada
0	300	500	800	900	1000	1200

Valores estimados

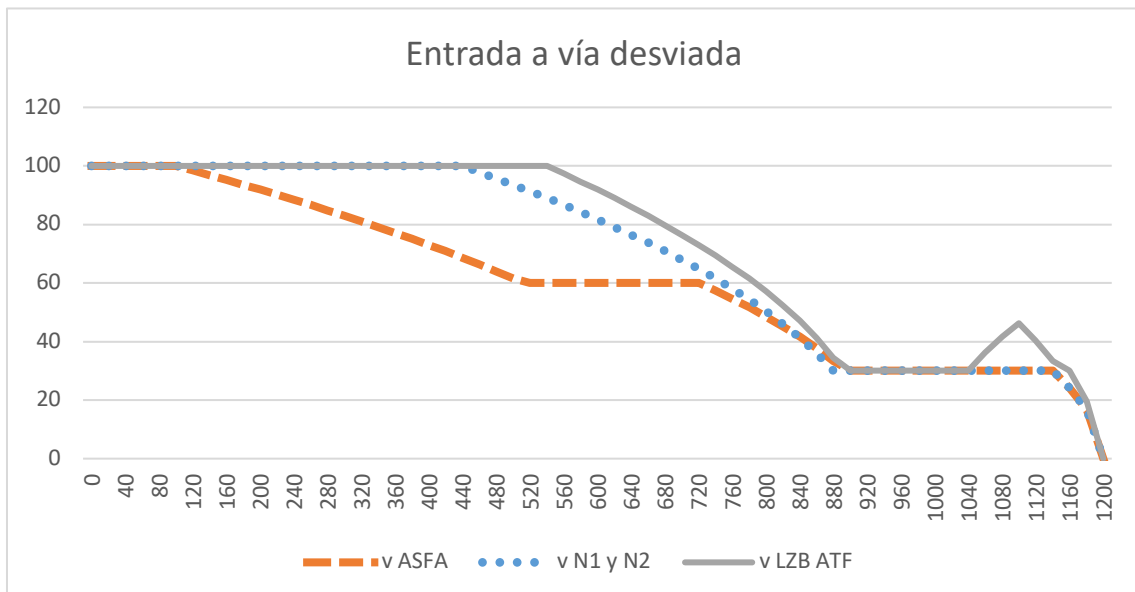
Velocidad máxima infraestructura	100 km/h
Velocidad máxima vehículo	120 km/h
Velocidad permitida por agujas a desviada	50 km/h
Velocidad en punta de andén conducción manual	55 km/h
Deceleración conducción manual [13]	0,4 m/s ²
Deceleración conducción asistida	0,8 m/s ²
Deceleración conducción automática [13][14]	1 m/s ²

Podemos observar un comportamiento más eficiente en la frenada con la conducción automática, sin embargo, no se traduce en un gran ahorro de tiempos. Esto puede ser por las referencias que toman los maquinistas, para no pasar de una determinada velocidad por *punta de andén*. Además, se presupone un similar comportamiento en la conducción manual y la asistida, ya que no habiendo restricciones por la señalización lateral y no estando definido por los sistemas, el punto de parada comercial, la aproximación al punto de parada es íntegramente dependiente del maquinista. Igualmente, se espera que el error aumente con la distancia:

Tabla 5. Comparativa de tiempos, entrada a vía directa

	Tiempo desde baliza previa S/Avanzada	Diferencia
LZB con ATF	56,97117562	
ASFA	61,28633856	+ 4,315162946
ERTMS N1 y N2	61,28633856	+ 4,315162946

Sin embargo, las diferencias de tiempo se hacen más patentes cuando entran en juego las restricciones por las señales. En una entrada a vía desviada como la de la figura, las frenadas posibles con la conducción asistida y la automática son más adecuadas a la realidad, mientras que las realizadas en conducción manual y supervisadas por ASFA son menos eficientes, tanto por operativa como por seguridad:



Podemos observar cómo en un itinerario corto a vía desviada (cuanta más distancia, más se elevarían los tiempos) puede haber una diferencia de hasta casi 10” entre la conducción manual y la automática. Con la asistida, vemos cómo ERTMS/ETCS genera unas curvas seguras y acordes

a la realidad en la deceleración y el paso por desvío que permiten una frenada más eficiente por parte del maquinista, que ya no debe *intuir* los puntos de inicio de frenada y, sobre todo, no está limitado por los controles que efectúa el ASFA:

Tabla 6. Comparativa tiempos entrada a vía desviada

	Tiempo desde baliza previa S/Avanzada	Diferencia
LZB con ATF	75,88"	
ERTMS N1 y N2	79,86"	+ 3,98"
ASFA	85,61"	+ 9,74"

Una situación a caballo entre ambas, una entrada a vía directa en sucesión de trenes, arroja igualmente grandes ganancias:

Tabla 7. Comparativa tiempos, entrada a vía directa en sucesión de trenes

	Tiempo desde baliza previa S/Avanzada	Diferencia
LZB con ATF	56,97"	
ERTMS N1 y N2	61,28"	+ 4,31"
ASFA	66,74"	+ 9,77"

5.2.1.2 **Ámbito líneas tipo 200, entrada a vía desviada**

Si bien en las líneas de Alta Velocidad la tendencia es a circular siempre con sistemas de supervisión continua, existen una serie de líneas, como por ejemplo el Corredor Mediterráneo o el Eje Atlántico de Alta Velocidad, donde se circula en muchas ocasiones con ASFA Digital.

En estas líneas, dado que están pensadas para la circulación mixta de vehículos de alta velocidad, media distancia, cercanías y mercancías, deben tener un criterio de instalación de balizas de vías convencionales y, por tanto, circular con el ASFA Digital en modo CONV, *sufriendo* los controles que este realiza, especialmente en la entrada a vía desviada o bifurcaciones.

Por limitaciones de tiempo no se ha realizado el estudio relativo a este tipo de líneas. Sin embargo se estiman unos incrementos del tiempo de viaje, cuando se compara la circulación con ASFA Digital versus una hipotética circulación con un sistema de supervisión continua, casi un minuto en estacionamientos en vía desviada que puede subir a dos minutos en bifurcaciones [13]

Convendría una investigación más detallada en este ámbito.

5.2.2 **Parada**

Durante el tiempo de operaciones de subida y bajada de viajeros, existe una única variable a tener en cuenta y que podría ser perjudicial para el tiempo de parada en determinadas estaciones: se trata, en el entorno **ERTMS/ETCS Nivel 1 sin Euroloop/Euroradio**, de la temporización de la Autoridad de Movimiento (MA).

Un tren no dispone indefinidamente de la Autoridad de Movimiento tras recibirla, sino que esta se encuentra dividida en una o varias secciones de una longitud determinada y a las que se le puede asignar un tiempo de validez (variable $T_{SECTIONTIMER}$). En caso de que expire dicho tiempo sin que el tren haya alcanzado un punto determinado de la sección, la MA puede ser revocada o recortada a un punto más cercano al tren, al interpretar el sistema que el tramo de vía por delante podría ser asignado a otro tren.

Si bien estos temporizadores suelen estar adaptados a la explotación, siendo mayores en caso de existir secciones en las cuales la velocidad deba ser reducida, si las paradas se prolongan más tiempo de lo habitual pueden agotarse. La reacción del equipo embarcado a la expiración de dichos *timers* puede manifestarse en el equipo embarcado de dos maneras:

- a) Transitando a Modo Trip, es decir, aplicando el frenado máximo de emergencia y revocando la Autoridad de Movimiento.
- b) Recortando la Autoridad de Movimiento, generando un EOA en la cabeza del tren o sus proximidades, de manera que no es posible avanzar sin rebasarlo.
- c) Recortando la Autoridad de Movimiento, generando un EOA en la Señal de Salida, de manera que la velocidad máxima al reanudar la marcha será el valor de esta.

En los casos a) y b), la solución pasa por que el maquinista realice en el equipo DMI las operaciones correspondientes al rebase de EOA (*Override*). Para ello, está previsto **un procedimiento reglamentario** previo mediante el cual el Responsable de Circulación del CTC notifica, a través de la radiotelefonía del tren, la autorización a realizar dichas operaciones mediante los siguientes telefonemas [6]:

- a) «Autorizo al Maquinista de tren numero de tren a reanudar la marcha con condiciones de circulación hasta señal siguiente, pantalla, etc..»
- b) «Autorizo al Maquinista de tren numero de tren para rebasar el EOA de señal, pantalla, km, etc. al que está asociado dicho EOA con condiciones de circulación»

Esta notificación debe realizarse a tren parado y el maquinista debe registrarla en su Libro de Telefonemas, pudiendo alargarse este proceso más tiempo que el necesario para las operaciones de subida y bajada de viajeros y generando retrasos *en cascada* a trenes posteriores. Podemos estimar una duración de la conversación de unos 60-90 segundos, sin contar el tiempo de un posible retraso por ocupación de la línea telefónica del CTC.

¿Cómo paliar esta situación?

Una velocidad de liberación mayor implica una distancia más segura (mayor) a los puntos supervisados por el sistema como peligrosos. Esto dependerá de las diferentes configuraciones de las estaciones y, por tanto, debe ser tenido en cuenta durante la fase de proyecto. Cuando en este punto no es posible incidir, existen dos posibles soluciones siempre dentro del entorno ERTMS/ETCS N1:

- a) Instalación de más de un punto de información *in fill*, es decir, más grupos de balizas. Los resultados en el aumento de la capacidad parecen óptimos cuando se instalan 3 grupos de balizas [13]. Sin embargo, para el tema que nos ocupa y al partir de la velocidad = 0, quizás sea más interesante la solución del siguiente punto.
- b) Instalación de Euroloop o Euroradio, de manera que la transmisión de la información entre las eurobalizas *in fill* y las de pie de señal sea continua y desaparezca el cometido de los temporizadores. Esta solución no se encuentra implementada en España.
- c) En caso de no ser posible instalar lo, una estrategia que incumbiría a los Administradores e Infraestructura en tanto que gestores del tráfico, existe una estrategia que consistiría en recibir siempre a los trenes con la señal de salida en parada en las estaciones con parada comercial, de manera que la MA no esté concedida más allá de la misma y, por tanto, un tiempo excesivo en las operaciones de subida y bajada de viajeros penalice la temporización. Ejemplo: estación de Segovia Guiomar.

5.2.3 Aceleración

El proceso de aceleración desde $v=0$ hasta la recuperación de la marcha normal, de manera análoga al de deceleración visto anteriormente, mejora cuanto más preciso es el sistema de protección en uso. En este caso, la indicación de la Señal de Salida durante la entrada del tren en

el andén condicionará, en el caso de encontrarse esta en una indicación restrictiva, el tiempo que tardará este en recuperar la velocidad máxima. Debemos plantear dos cuestiones:

a) ¿El sistema transmite la información de manera continua o puntual?

- Si es de manera continua, los cambios relativos a la señalización serán recibidos por el equipo embarcado prácticamente al momento, de manera que un tren que hubiese entrado en el andén con la señal de salida en una indicación restrictiva podría reanudar la marcha normal atendiendo al nuevo aspecto de la señal. Son sistemas de transmisión continua LZB y ERTMS/ETCS N2 y, para el caso que nos ocupa, ERTMS/ETCS N1 equipado con Euroloop o Euroradio entre las balizas *in fill* y las balizas de señal de la señal de salida.
- Si es de manera puntual, los cambios relativos a la señalización y, por tanto, la desaparición de las posibles restricciones, no serán detectados por el equipo hasta que el tren pase por encima de las balizas al pie de esta señal, siempre y cuando el punto de parada comercial esté situado más allá de la(s) baliza(s) previas o *in fill*. como suele ser habitual. Esto toma especial importancia cuando la última información recibida es la indicación de la señal de salida en parada, penalizando sobremanera la reanudación de la marcha. Este caso aplica a ASFA Digital y ERTMS/ETCS N1 sin Euroloop o Euroradio, no utilizado en la RFIG española a fecha de la presente memoria.

b) ¿El sistema supervisa con precisión las velocidades máximas con arreglo a características del vehículo, señalización e infraestructura?

- Si lo supervisa, la velocidad permitida en el proceso de aceleración será, por un lado, más segura y, por otro, aprovechará mejor las prestaciones del vehículo y la infraestructura, proporcionando una mejor información al maquinista en la aceleración. Esta característica permite también la implementación de la conducción automática y el aprovechamiento de la conducción asistida.
- Si no lo supervisa, la velocidad permitida será únicamente la relativa a la señalización y a la velocidad máxima del vehículo, provocando en determinados casos un margen de velocidad desfavorable para la seguridad y, en otros, desfavorable a la operación.

5.2.3.1 Situaciones limitantes en el arranque

A la hora de establecer factores limitantes en la recuperación de la marcha normal del tren, podemos encontrar 3 factores determinantes:

- a) En vehículos y líneas que permitan una velocidad máxima superior a 200 km/h, el ASFA digital se convierte en factor limitante al ser esta su velocidad máxima.
- b) En salidas desde vía desviada, de manera análoga a los itinerarios de entrada explicados en el apartado anterior, ASFA Digital, habiendo encontrado una secuencia de señales de entrada y salida de Anuncio de Parada + Anuncio de Parada (amarillo + amarillo) tendría una limitación tras pasar por la señal de salida tal que:

ASFA Digital modo CONV: 60 km/h durante 20", después 80 km/h

ASFA Digital modo AV: 100 km/h

Esto limitará el paso por desvíos que permitan una velocidad mayor a la supervisada, y comprometerá la seguridad en aquellos cuya velocidad sea menor.

- c) Cuando se haya entrado en la vía de estacionamiento con la señal de salida en indicación de parada y el sistema de protección sea de transmisión puntual (ASFA Digital y ERTMS/ETCS N1), estando el punto de parada más allá de las balizas previas de dicha señal (típicamente).

De estos tres apartados, nos centraremos en el c).

5.2.3.1.1 ERTMS/ETCS N1: Velocidad de liberación

En ERTMS/ETCS N1, aparece el concepto de **velocidad de liberación**, una información contenida dentro de la Autoridad de Movimiento (MA), que es el límite de velocidad permitido en la aproximación a un EOA (punto final de la MA) asociado a una señal en indicación de parada. Su propósito es permitir al tren moverse hacia las eurobalizas de la señal a una velocidad suficientemente reducida para no rebasarlas indebidamente, y suficientemente operativa para poder refrescar la información cuando su indicación haya cambiado desde parada a otra que permita el paso, obteniendo así una nueva Autoridad de Movimiento (MA). En caso de superar esta velocidad, el equipo aplicará el frenado máximo de emergencia.

La Velocidad de Liberación que se impone es enviada por la infraestructura, siendo por defecto en España de 15 km/h (valor nacional) aunque el equipo puede calcular una velocidad superior (típicamente no mayor de 30 km/h) en algunas señales. Esta se determinaría en función de la distancia y gradiente del EOA al punto a proteger (*Supervised Location*, por ejemplo, un piquete o una distancia de deslizamiento) teniendo en cuenta la normativa de frenado en vigor y de los requerimientos mínimos de frenado exigidos al material rodante en la línea (o tramo de línea).

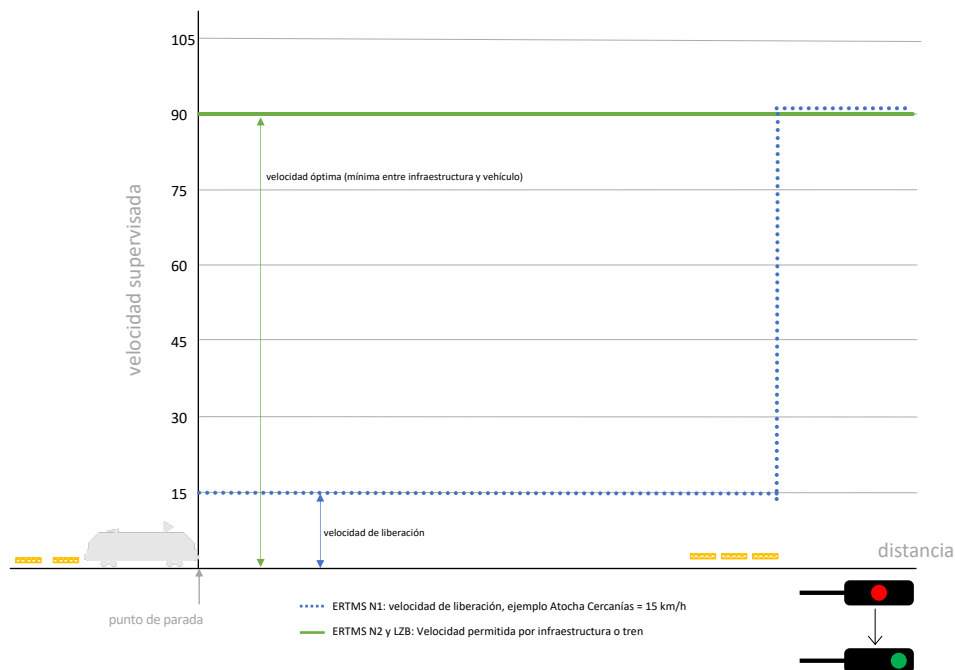


Figura 19. ERTMS N1, control velocidad de liberación

Con Euroloop/Euroradio se paliaría esta limitación actuando, *de facto*, como si entre las balizas *in fill* y las de señal existiese un *mini LZB* o *mini N2*. Otro punto de información *in fill* (grupo de balizas) sería una solución intermedia, menos óptima pero probablemente más fácil de implantar.

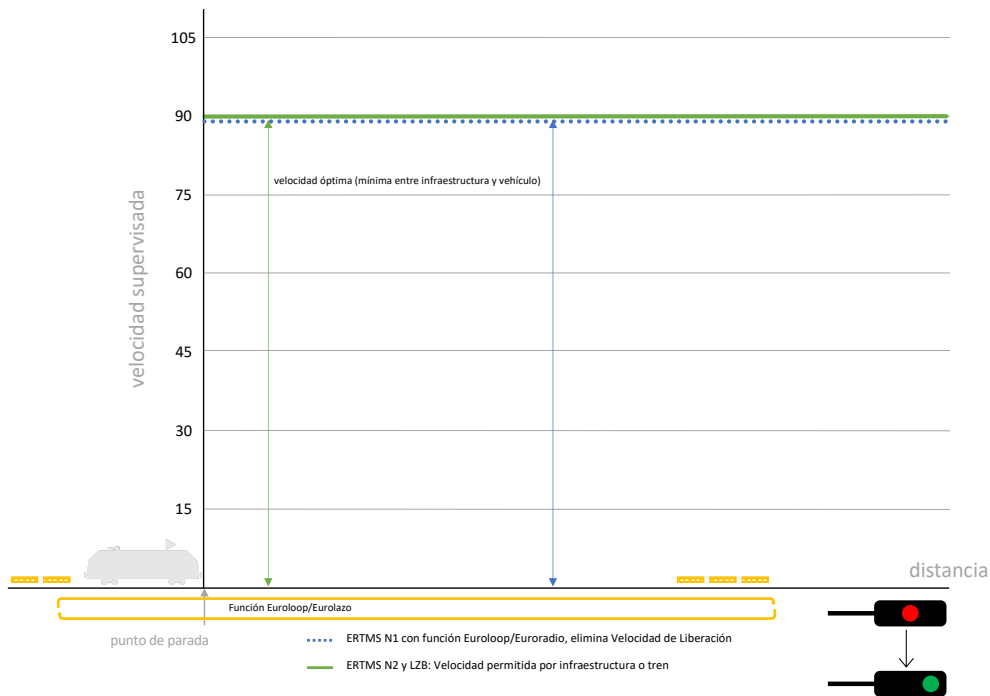


Figura 20. ERTMS con función Euroloop/Euroradio

5.2.3.1.2 ASFA Digital: aproximación a una señal en parada y zona límite de parada

En ASFA Digital, para una situación análoga a la anteriormente comentada, tenemos un control de velocidad durante **la aproximación a una señal en parada** o un control de **zona límite de parada** que permite realizar la misma función. Se activa al paso por la baliza previa o (las balizas previas, respectivamente) de una señal en parada y se mantiene hasta que el equipo recibe una nueva indicación en la baliza de señal:

- Control durante la aproximación a una señal en parada: Cuando existe una única baliza previa, se activa al recibir el equipo la frecuencia L7, estableciendo un control de 30 km/h para trenes de Tipo > 100, y de 25 km/h para trenes de tipo ≤ 100 , que durará hasta el paso por la baliza de señal, que liberará el control al tipo de tren (velocidad máxima) si está en vía libre, o a los controles de doble anuncio de parada previamente explicados.

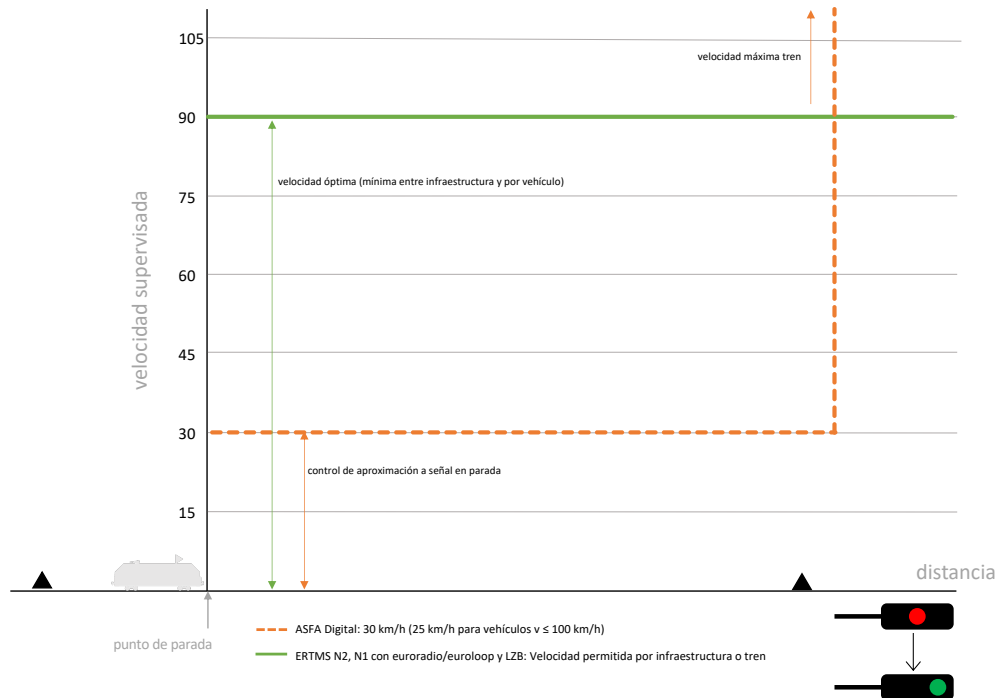


Figura 21. ASFA Digital, control L7, aproximación a señal en parada

- Control de zona límite de parada: Cuando existen dos balizas previas, con una separación máxima de 80 m entre ellas, al recibir el equipo la frecuencia L7 en ambas (que indica que la señal de salida se encuentra en indicación de parada -rojo-), el equipo impone una velocidad de 15 km/h al paso por la segunda de ellas hasta el paso por la baliza de la señal de salida, que liberará el control al tipo de tren (velocidad máxima) en caso de estar en vía libre o, en caso de anuncio de parada, al control explicado previamente.

Cabe destacar que esta funcionalidad, pese a ser más restrictiva y limitante, es más moderna y es esperable que se instale progresivamente en las líneas con ASFA, especialmente en aquellas donde existe un riesgo elevado de rebase indebido de señales en parada, como las líneas de Cercanías. En estas líneas se produce una conducción rutinaria y repetitiva, *parar-abrir puertas-cerrar puertas-arrancar* que, unido a la gran aceleración de estos vehículos, puede, en situaciones puntuales, desembocar en el fallo humano, al reanudar la marcha con la señal de salida en indicación de parada. Dentro del entorno ASFA Digital es difícil paliar esta situación.

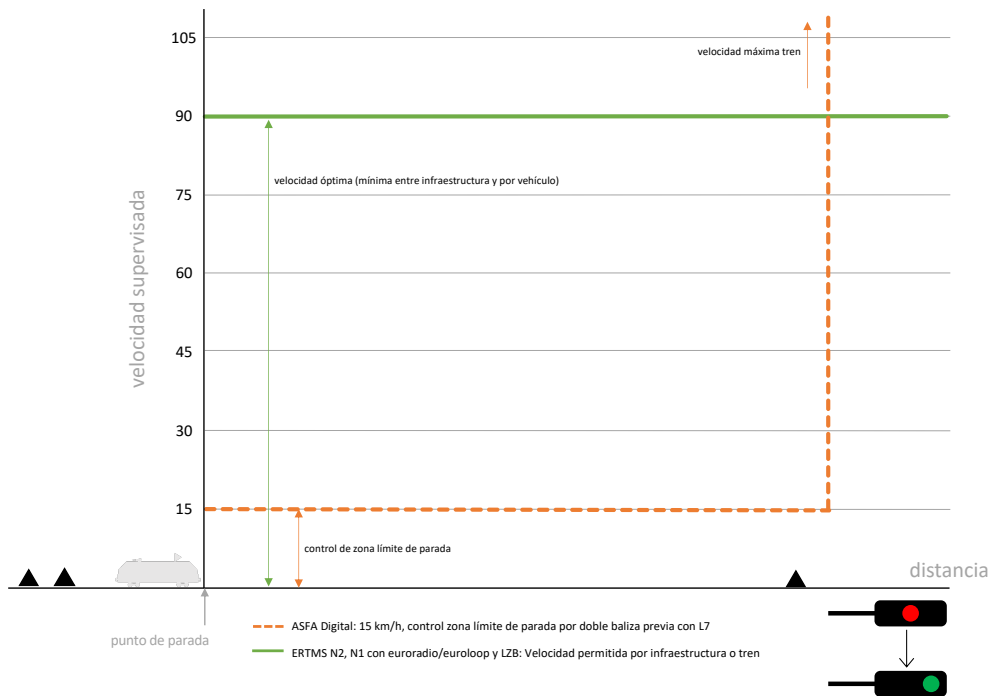


Figura 22. Control ASFA Digital con doble L7, control de zona límite de parada

Las estrategias posibles podrían ser la colocación del punto de parada previo a estas balizas, lo que obligaría a un escaso aprovechamiento de la longitud del andén (ya que quedarían en torno a 300-400 metros desperdiciados) o diseñar el punto de parada exactamente entre ambas balizas previas, de manera que al reanudar la marcha la distancia recorrida con esta limitación sea mínima:

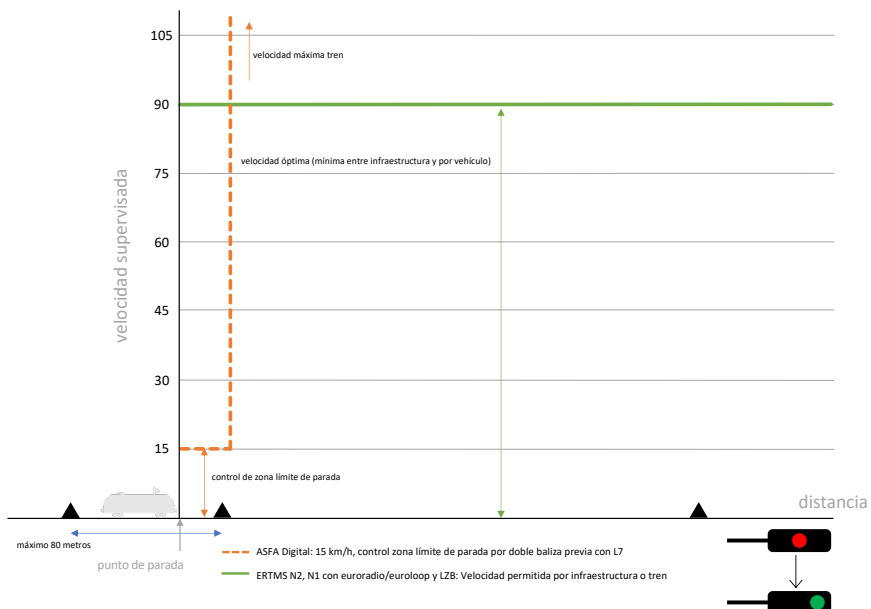


Figura 23. ASFA Digital, control de zona límite de parada entre la doble baliza

Esto aprovecharía unas decenas de metros más el andén que la solución anterior, pero exigiría un diseño del punto de parada de una forma muy concreta y una frenada por parte del maquinista

muy precisa, ya que en caso de rebasar la segunda de las balizas la velocidad de control seguiría siendo de 15 km/h.

5.2.4 Señalización lateral: Itinerarios de salida

Con respecto a las señales laterales, cabe mencionar también la normativa respecto a los itinerarios de salida, que puede llegar a ser limitante en determinadas situaciones. El Reglamento de Circulación Ferroviaria establece en su artículo 3.1.2.3 condiciones de reanudación de la marcha en los itinerarios de salida: [6]

1. *Tras iniciar la marcha desde una vía desviada (bien en origen o después de una parada prescrita), o tras pasar por una estación por vía desviada, o tras haber encontrado la señal de entrada en indicación de anuncio de parada, el Maquinista no excederá la velocidad de 30 km/h al paso por las agujas situadas a continuación de la señal de salida, salvo en los casos en que exista señal indicadora de posición de agujas que ordene otra velocidad.*
2. *En trayectos de BAB, un tren directo que haya encontrado la señal de entrada en anuncio de parada o esté estacionado, el Maquinista no excederá la velocidad de 30 km/h al paso por las agujas situadas a continuación de la señal de salida, salvo en los casos en que exista señal indicadora de posición de agujas que ordene otra velocidad.*

Esta norma responde al principio de la señalización según el cual las órdenes de las señales no tienen valor indefinido. En el sistema ERTMS/ETCS se manifiestan a través de los temporizadores, pero circulando con la señalización lateral el criterio es haber efectuado parada o haber circulado a una velocidad anormalmente reducida.

Por ello, es importante que en líneas donde se vaya a circular al amparo de un sistema de protección de supervisión discreta (como ASFA Digital) y, por tanto, con las velocidades que impone la señalización lateral (y no la señalización en cabina) es importante que las agujas de salida estén siempre equipadas con indicadoras de posición de agujas que recuerden la velocidad de paso que soportan o, de lo contrario, la velocidad de paso por ellas estará limitada a 30 km/h:

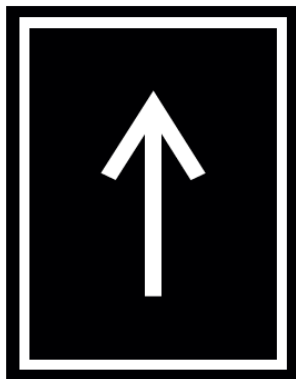


Figura 24. Indicadora de posición de agujas a vía directa [6]



Figura 25. Indicadora de posición de agujas a vía desviada y velocidad de paso [6]

5.2.5 Comparativa entre situaciones en el arranque

Las siguientes gráficas ilustran una serie de situaciones en el arranque, comparando los tiempos con cada sistema de protección utilizado. Se reproduce una situación en el entorno de Cercanías, donde hemos visto que los tiempos de parada tienen gran importancia.

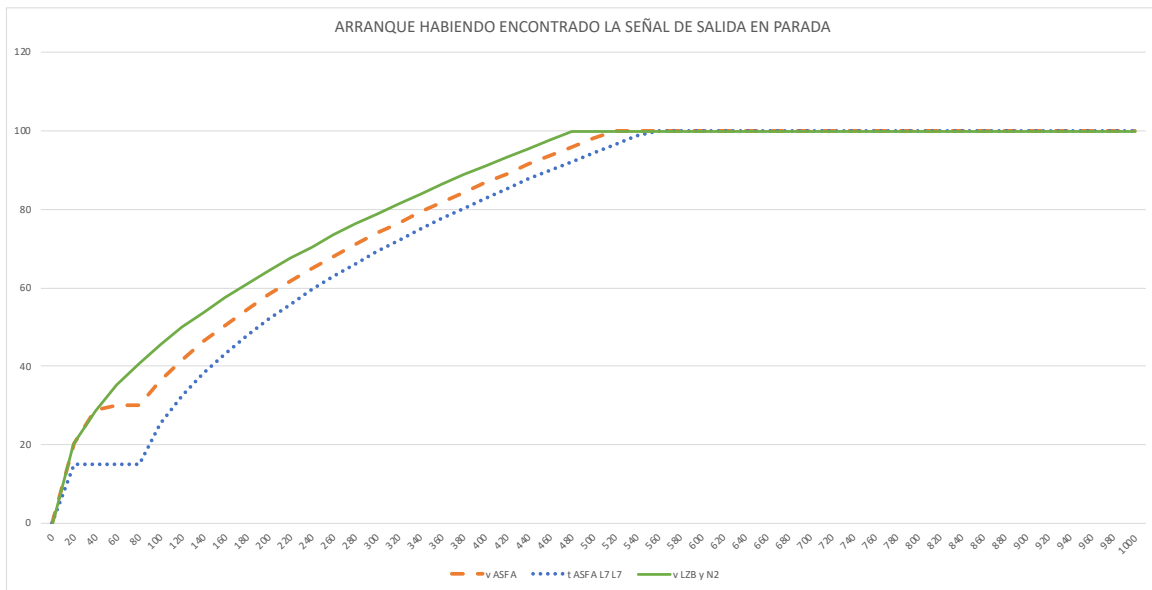


Figura 26. Arranque, habiendo encontrado S/S en parada (80 m entre p. parada y S/S)

Tabla 8. Comparativa tiempos en el arranque

	ASFA	ASFA L7 - L7	N1 con v-lib	LZB, N2 y N1 euroloop
Tiempo en recuperar 100 km/h	38,99"	51,29"	51,29"	35,35"
Tiempo en recorrer 1 km	56,27"	67,13"	67,13"	53,35"

Como podemos observar, la limitación en el arranque que supone la de la velocidad de liberación o el control de doble baliza previa ASFA, genera grandes diferencias a la hora de recuperar la marcha normal. Estas diferencias se acrecientan cuanto mayor es la distancia entre el punto de parada y la señal de salida. Alejando el punto de parada, de 80 m. a 100 m. observamos:

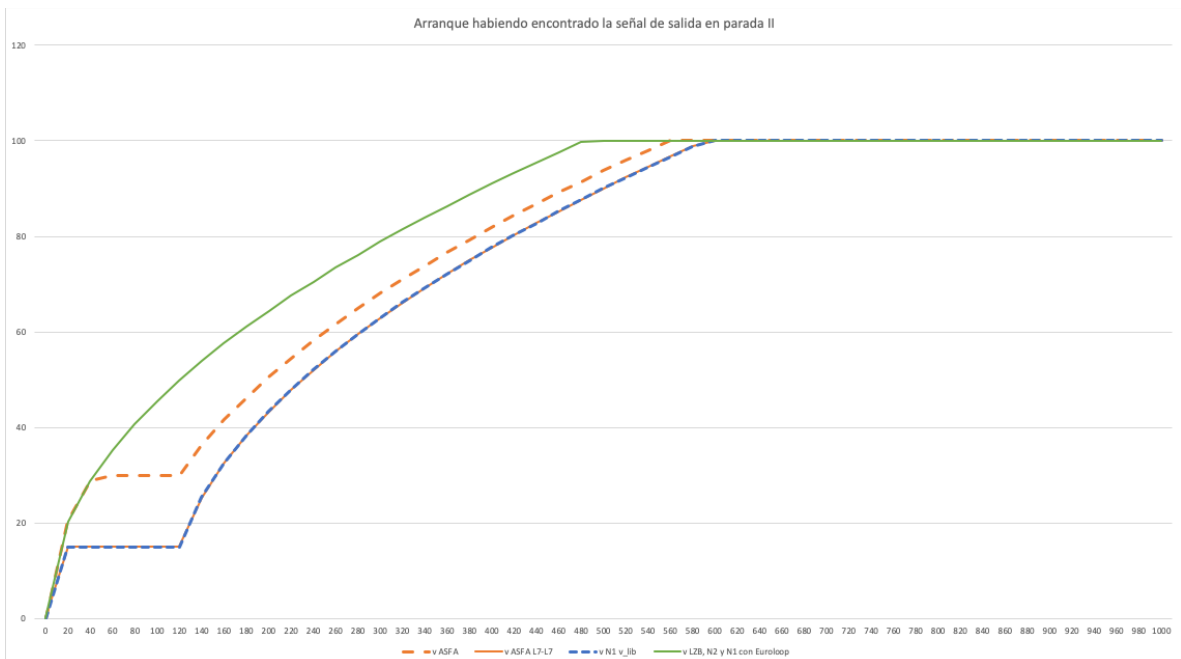


Figura 27. Tabla 9. Arranque desde punto de parada con S/S en parada, 100 m entre p.parada y señal

Tabla 9. Arranque desde punto de parada con S/S en parada, 100 m entre p.parada y señal

	ASFA	ASFA L7 - L7	N1 con v-lib	LZB, N2 y N1 euroloop
Tiempo en recuperar 100 km/h	43,79''	59,44''	59,44''	35,35''
Tiempo en recorrer 1 km	59,63''	75,29''	75,29''	53,35

Comprobamos cómo, a más distancia recorrida sin renovar la información de la señal de salida que ha cambiado su información, más tiempo perdido en el arranque.

Siguiendo con dos situaciones más restrictivas, podemos concluir que *cuanto peor se ponen las cosas*, más importante se revela que la supervisión de la velocidad y la transmisión de la información sean continuas. Se presentan ahora una situación de **arranque en sucesión**, es decir, habiendo entrado a vía directa con el cantón inmediato ocupado, situación muy típica en cuellos de botella de líneas, especialmente en Cercanías:

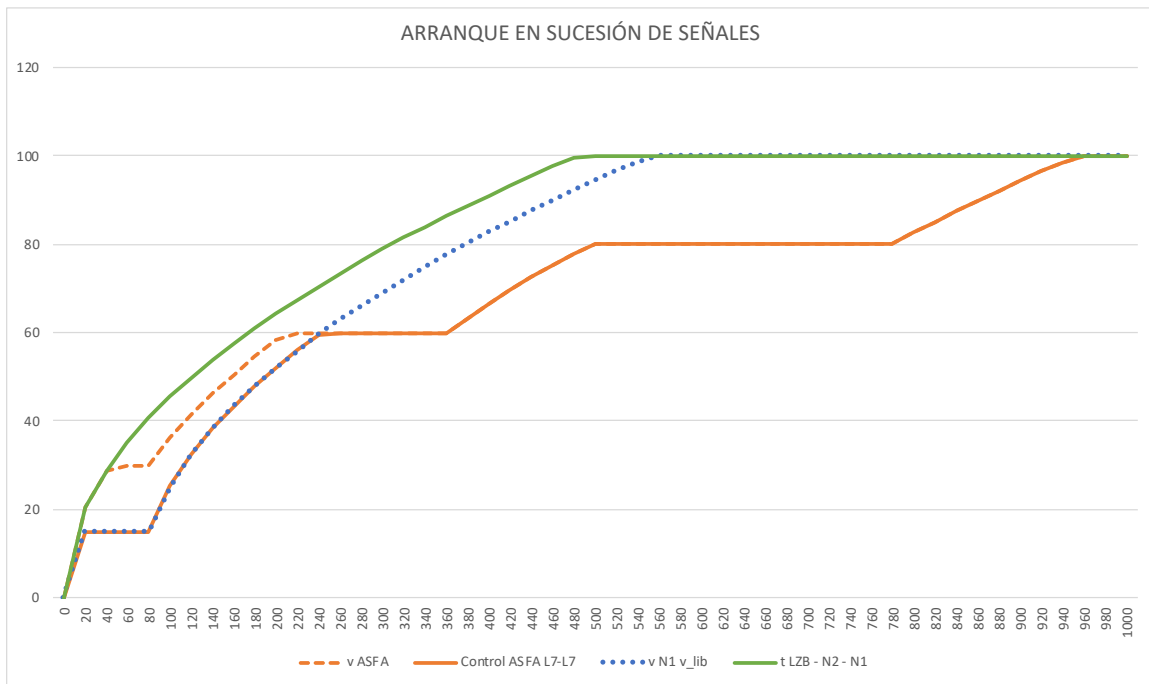


Figura 28. Arranque en sucesión de señales

Tabla 10. Comparativa de tiempos, arranque en sucesión de señales

	ASFA	ASFA L7 - L7	N1 con v-lib	LZB, N2 y N1 euroloop
Tiempo en recuperar 100 km/h	60,75''	67,37''	47,61''	35,35''
Tiempo en recorrer 1 km	69,19''	68,81''	67,13''	53,35

Si bien cabe realizar un análisis más exhaustivo, proponiendo este razonamiento a otros servicios y pudiendo modificar distancias, podemos concluir que las diferencias entre sistemas se hacen más palpables cuando la señalización impone restricciones de velocidad, ya que:

- En sistemas de protección de supervisión continua, las velocidades se cumplen a la perfección, con mejores aceleraciones y deceleraciones en caso de poseer automatismos de tracción y frenado (ATO/ATF) o, en su defecto, una mejor información al maquinista que le permite acercarse a esos automatismos.
- En sistemas de transmisión puntual, la distancia entre un punto *in fill* y la señal, determina y penaliza el arranque cuanto mayor sea.

6 MATERIAL RODANTE

Otro punto clave de la eficiencia en el tiempo de parada reside en el diseño del material rodante. Determinados factores constructivos tienen una importancia capital a la hora de que el proceso de subida y bajada de viajeros sea más o menos fluido (anchura de puertas, altura de piso, etc...).

En el presente capítulo analizaremos algunos de los más importantes.

6.1 Implicaciones en el tiempo de parada

6.1.1 Deceleración

En el proceso de deceleración, el diseño del tren debe ajustarse a unos parámetros determinados requeridos para su puesta en servicio, de manera que los mínimos en cuanto a capacidad de frenado están cubiertos. Sin embargo, en la conducción manual, trenes con grandes deceleraciones de servicio generan más confianza y permiten velocidades mayores en la aproximación a puntos de parada o reducciones de velocidad.

Más allá de la propia capacidad del tren, dos variables son

- Contar con un módulo ATF (Automatismo de Tracción y Frenado) o ATO (*Automatic Train Protection*) que sea capaz de leer las velocidades máximas impuestas por los sistemas de protección de supervisión continua (ERTMS/ETCS N1 y N2 y LZB). Esto debe ser exigible en los pliegos de condiciones de contrataciones de futuros trenes. El hecho de supervisar o no el punto de parada comercial depende, como hemos visto anteriormente, de la información que es capaz de enviar el subsistema de vía. Hoy en día en la RFIG solo el LZB de la línea C5 de Cercanías lo realiza. Entre los trenes que tienen instalado este módulo:
 - Serie 446 (cercanías)
 - Serie 103, Serie 730/130 (alta velocidad)
- Una pequeña característica, mínima ya que la pericia del maquinista es, en general, suficiente para paliarla, es la que poseen algunos trenes en sus metros finales. Muchos vehículos cuentan con un único manipulador de freno, con el que se gestiona electrónica y conjuntamente la demanda de freno eléctrico y neumático, en lugar de las tradicionales configuraciones de un mando para el freno eléctrico y otro para el neumático (que también puede gestionar el eléctrico).

En los metros finales, y a baja velocidad (por debajo de 3 km/h, generalmente), el freno electrodinámico desaparece y se produce un pequeño lapso (1-2'') en el que el tren parece estar fuera del control hasta que el esfuerzo de frenado neumático se produce, frenando finalmente el tren. En ocasiones esto puede generar pequeñas imprecisiones de frenado de cara al punto de parada, que pueden penalizar la visibilidad, no llegando a sobrepasarlo, pero, por ejemplo, haciendo que el maquinista deba levantarse del asiento o incorporarse para la correcta visualización. Conviene tener este factor en cuenta ya que, dentro de un mismo fabricante y para un mismo servicio, se ha mejorado mucho en la evolución de una primera serie a la siguiente, para empeorarlo ligeramente en la tercera y más moderna.

6.1.2 Parada

En el momento de la subida y bajada de viajeros el diseño del tren es clave. Muchos son los factores que influyen en este momento, y deben ser diseñados intentando minimizar estos tiempos, adaptando su arquitectura y prestaciones a cada servicio a realizar. Debemos considerar:

6.1.2.1 Puertas

Como no podría ser de otra forma, el lugar donde ocurre de manera material la subida y la bajada de viajeros es uno de los puntos más estudiados a la hora de optimizar los tiempos de subida y bajada. Debemos tener en cuenta:

- **Número de puertas por plaza.** Teniendo en cuenta que un número mayor de puertas supone, evidentemente una mejor evacuación y flujo de entrada, el hecho de que haya más puertas implica también un menor número de plazas.
- **Anchura de puerta.** Se estima que la anchura mínima debe ser de 1,4 m [15] en torno a los 1,7 u 1,8 metros puede ser la óptima [5], teniendo en cuenta que a partir de cierto valor sea interesante una nueva puerta. Si bien para el desalojo y acceso, *cuanto más ancha mejor*, hay que tener en cuenta que un mayor recorrido de la puerta genera más tiempo de parada en global.
- **Tiempos de desbloqueo y de cierre de la puerta:** Importante optimizarlo lo más posible, se dan casos que series más modernas tardan más en cerrar puertas que series más antiguas [4]
- **Orden de cierre de puertas:** En los vehículos, siendo esta característica más relevante en los de Cercanías, tras ejecutar el maquinista la orden de cierre de puertas, esta puede ser a) anulada, interrumpiendo el proceso b) anulada pero efectiva una vez se ha completado el cierre de puertas. Como en el punto anterior, vehículos más modernos son más ineficientes en este aspecto ya que, el hecho de no poder interrumpir la orden de cierre de puertas implica posibles atrapamientos de personas, o nuevos procesos de apertura en caso de esperar por viajeros de última hora, y con ello una extensión de los tiempos de parada.

6.1.2.2 Arquitectura y diseño

Con respecto al diseño del tren, nos centraremos en dos puntos que considero capitales:

- **Altura y distancia entre el coche y el andén:** Conocido como *gap* vertical u horizontal, parece clara la evidencia con respecto a que este debe ser el mínimo posible [1] [5] [15] [2]. En definitiva, parece claro que en el futuro deberemos cambiar el *subir y bajar* del tren por el concepto *entrar y salir*. Con respecto a este diseño, siempre será más sencillo cumplir estos requerimientos con vehículos articulados, de caja ancha y piso bajo tipo TALGO.



Figura 29. Necesidad de piso bajo. Fuente: 3/24

- **Interior diáfano:** Si bien en determinadas ocasiones la facilidad de movimiento interior podría hacer que en determinadas salidas del tren muchos viajeros se concentrasen en una puerta determinada, cercana a una hipotética salida del andén, parece clara la tendencia

en los vehículos metropolitanos, suburbanos o de cercanías hacia interiores diáfanos que permitan una mejor distribución de los viajeros.

- En línea con el punto anterior, **la superficie disponible en la zona de espera previa a la bajada**, debe equilibrarse, intentando que sea lo mayor posible sin penalizar el número de plazas [15]
- **Señalética interior:** En servicios con plazas numeradas, debería existir una señalética clara que permita, de un solo vistazo, a cada viajero que entra en el tren visualizar dónde está situado su asiento. El hecho de que esta información no esté clara, genera tapones en el acceso a estos trenes, aumentando el tiempo de parada.

6.1.3 Aceleración

En este aspecto, una mayor aceleración implicará una recuperación más temprana de la velocidad comercial, sin embargo, como hemos visto en un capítulo anterior, es la señalización la que impone más limitaciones, dadas unas mínimas prestaciones del vehículo.

7 INFRAESTRUCTURA

En este capítulo se aborda el tema desde el punto de vista de la infraestructura. Se enumerarán una serie de problemáticas y factores que influyen en los tiempos de parada detectadas en el estudio de la misma.

Dado que las infraestructuras son una parte muy costosa del sistema ferroviario, no se debe extraer con la valoración realizada, acerca de la conveniencia o no de los diseños mencionados (o similares), que su implementación sea sencilla o barata. Se parte simplemente de su estudio y valoración, pero siempre entendiendo lo complejo de la obra civil, especialmente operando con recursos limitados.

7.1.1 Deceleración

En la deceleración podemos distinguir dos entornos en los cuales la infraestructura puede tener un impacto en el tiempo perdido en cada parada:

1. El diseño de la estación, entendido como la distribución del conjunto de vías. En ello hay dos factores clave, la velocidad de paso por vía desviada (es decir, la velocidad soportada por los desvíos cuando están en su posición invertida) y ligado a ello, el diseño de la estación con o sin vías centrales carentes de andén.
2. La claridad del punto de parada, circulando con sistemas de protección sin ATO, es decir, que no leen el punto de parada y que, por tanto, dejan al maquinista la responsabilidad de que la parada sea en el punto exacto. Esto, como ya vimos en el capítulo X dedicado a la señalización, puede generar amplios márgenes de error entre la velocidad supervisada y la necesaria para la operación, cero en este caso.

7.1.1.1 Diseño de la estación: Vías centrales y velocidad de paso por vía desviada

Ya se ha hablado previamente acerca de las diferencias que en ocasiones existen entre las velocidades óptimas para la explotación y las velocidades supervisadas por algunos sistemas de protección del tren. En el caso de la planificación de una infraestructura, la velocidad permitida al paso por los desvíos instalados, cuando estos se encuentran en posición de vía desviada, puede tener cierta influencia en los tiempos perdidos durante el proceso de parada.

Podemos establecer *a grosso modo* una relación directamente proporcional entre velocidad admitida por el desvío y su precio, ya que velocidades más amplias implican desvíos con más motores y radios de curva más elevados y por tanto más espacio. Debemos tener en cuenta en su instalación, por tanto, si su velocidad óptima podrá ser totalmente aprovechada. Esto tiene especial relevancia cuando circulamos con sistemas de protección de supervisión discreta. Como vimos previamente, el control de velocidad de paso por desvío se hace en escalones, de manera que, durante 20 segundos tras pasar por las balizas de la señal que los protege se establece un control de velocidad fijo:

Tabla 11. ASFA Digital, controles de paso por desvío.

Modo ASFA Digital	Control de paso por desvío	
	CONV	AV
Control normal	60	100
Control con función aumento	90	160
Velocidad óptima desvío	60 o \geq 90	100 o \geq 160

Como podemos observar, para velocidades menores de 60, o entre 60 y 90 se generan ineficiencias ya que la velocidad admitida no sería del todo aprovechada (en líneas de alta velocidad, menores que 100 y entre 100 y 160).

En algunas estaciones, típicamente en líneas de alta velocidad o de nueva construcción, podemos encontrar una configuración en la cual se dejan **las vías centrales sin andén**, de manera que los trenes sin parada en la estación puedan circular a una velocidad alta sin suponer un riesgo para

los viajeros que pudieran encontrarse en el andén. Esta característica, que en un primer momento puede considerarse una medida positiva, genera ineficiencia en determinadas situaciones:

- Cuando, en dichas estaciones, el número esperado de trenes con parada comercial en ella es inferior al real, provocando una ralentización en el flujo al tener que pasar todos o casi todos los trenes por vía desviada. Ejemplos: Estaciones de Vilagarcía de Arousa y Pontevedra, en el Eje Atlántico.
- Cuando, en dichas estaciones, los desvíos seleccionados son de una velocidad manifiestamente inferior a la de la línea, penalizando la marcha del tren cuando efectúa parada en ellas. Ejemplo: Camp de Tarragona, con una velocidad de paso por vía desviada de 50 km/h, siendo por vía directa de 300 km/h.

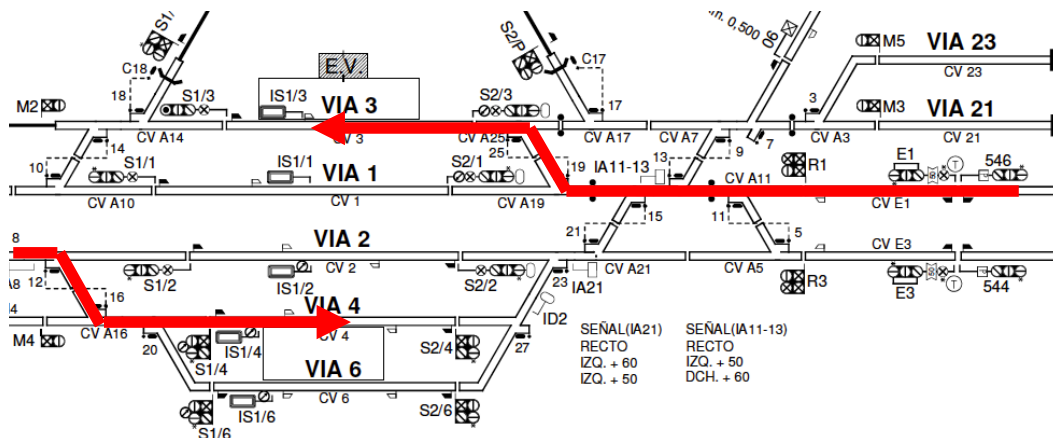


Figura 30. Estación con vías centrales (1 y 2) sin andén, Vilagarcía de Arousa

Estas decisiones deben tomarse con mucho cuidado, ya que condicionan la explotación por décadas. Deben tomarse las siguientes precauciones:

- Estudio sobre el porcentaje de trenes que efectuarán parada comercial en esa estación. Si este es muy elevado o directamente el total, no se deberían instalar estas vías centrales sin andén. Se debe tener en cuenta, también, si el potencial crecimiento urbanístico alrededor de la estación podría justificar más trenes con parada en esa estación en el futuro.
- Inversión en desvíos que permitan una alta velocidad de paso por vía desviada, en caso de que se escoja este diseño. Como mínimo debería escogerse una velocidad de 60 km/h. Ejemplos acertados son Pontevedra o Guadalajara (100 km/h) y desacertados Camp de Tarragona o Vilagarcía de Arousa (50 km/h).
- Estudio sobre la velocidad de paso de los trenes directos. En algunas estaciones, como la mencionada Vilagarcía de Arousa o Puertollano, están diseñadas con estas vías centrales, pero se encuentran en un tramo de la línea cuya velocidad de paso es muy baja, 80 km/h [16] y 70 km/h [17], respectivamente.

7.1.1.2 Diseño de la estación, claridad del punto de parada.

Otro de los puntos a tener en cuenta es la claridad en el punto de parada comercial, es decir, el punto exacto donde el maquinista debe situar la cabeza del tren de manera que no se vea penalizada ni la accesibilidad de viajeros ni la realización de las operaciones del tren. Las consecuencias de sobrepasar o no alcanzar el punto de parada pueden ser:

- Que algún vehículo del tren pueda quedar, por exceso o defecto, fuera de andén (poco probable).
- Que los elementos de visualización de las operaciones del tren (monitores, espejos, retrovisores) sean sobrepasados. Esto, en estaciones donde el cierre de puertas compete íntegramente al maquinista, como en los núcleos de Cercanías, puede generar retrasos

debido a la mala o nula visibilidad, haciendo que el maquinista deba levantarse del asiento o incluso bajar al andén para tener la certeza de efectuar el cierre con garantías.

- En estaciones donde se deban realizar carga y descarga de elementos de *catering*, puede impedir que los vehículos de carga y descarga accedan a la puerta del coche cafetería, debido a su coincidencia con escaleras, columnas, etc.
- Cuando deban subir o bajar personas con movilidad reducida, las rampas auxiliares pueden ser molestadas por escaleras, columnas, etc.

Esto, que podría parecer un tema menor, es de gran importancia a la hora de optimizar los tiempos de deceleración de cara a la parada. Estos puntos de parada son correctamente seguidos por los maquinistas, sin embargo, un punto de parada impreciso o crítico puede generar frenadas más conservadora. En un sondeo realizado a 141 maquinistas de Renfe [Ver Anexo II], estos afirman:

- Un 78% está de acuerdo o muy de acuerdo con la afirmación según la cual un punto de parada impreciso (mal marcado) en el andén le hace ser más conservador en la frenada, moderando la velocidad de entrada en el mismo.
- Un porcentaje mayor, 88%, está de acuerdo o muy de acuerdo en que los puntos de parada críticos, es decir, que el hecho de sobrepasarlos implique una penalización importante de algunas de las operaciones previamente mencionadas, producen la misma precaución en las frenadas.
- Un porcentaje no despreciable, 45%, considera que, en general, las marcas de andén no son claras y que en la instalación de los elementos que las señalan no se tiene en cuenta al maquinista. Pese a ser minoría, indica que existe un porcentaje alto

Con respecto a las consecuencias de sobrepasar estos puntos de parada, cuando están relacionados con la visibilidad desde cabina de la subida y bajada de viajeros:

- Un 88% de los maquinistas está de acuerdo o muy de acuerdo en que una mala visibilidad desde la cabina de conducción de las operaciones de subida y bajada de viajeros, hace que se pierda más tiempo durante la parada. Esto puede ser aplicable también a otras operaciones de carga y descarga.

Dada la variedad de vehículos, con diferentes configuraciones de puertas y longitudes, así como la disparidad de longitudes y formas de andén existentes, es extremadamente difícil estandarizar puntos de parada. En cualquier servicio comercial, Cercanías, Media Distancia o AVE, nos podemos encontrar con que el mismo maquinista puede conducir vehículos de series diferentes, en composición sencilla o doble, invertidos o no, y estacionarse en andenes con diferentes tipos de marcas, de colores diferentes, con indicación o no del tipo de tren para el que están pensados, unas veces situadas a nivel de andén, otras en la entrevía, otras en postes verticales. En ocasiones, los puntos de parada dependen del boca a boca de los propios maquinistas y son elementos ajenos a la operación, un reloj, una columna...

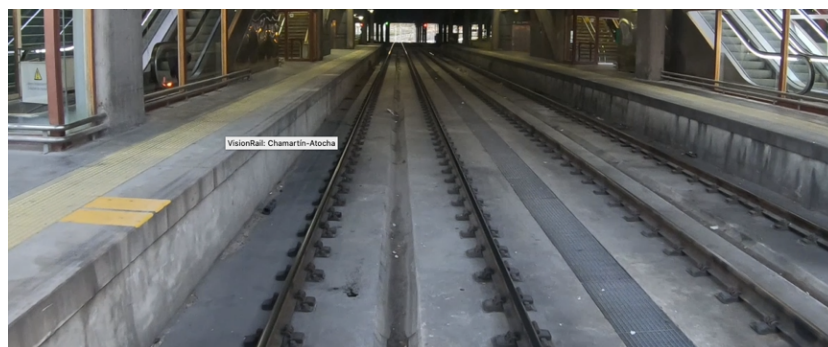


Figura 31. Marca de andén poco visible y sin información

Al no ser la RFIG una infraestructura dedicada a la operación y viceversa, es difícil estandarizar los puntos de parada por la diversidad que nos encontramos, a diferencia de lo que sucede en otras administraciones, como por ejemplo explotaciones de metros y ferrocarriles autonómicos donde las referencias son fijas e inequívocas, además de estar respaldado el fallo humano con sistemas de conducción ATO que identifican el punto de parada.

Más allá de la fase de diseño de las estaciones y en las que idealmente se podrían planificar grandes andenes en recta, y más allá de la casi imposible homogeneización del material en la RFIG, dentro de una gran empresa como Renfe e incluyendo a los futuros operadores privados, buenas prácticas en este sentido podrían ser:

- Marcas de parada que identifiquen de manera inequívoca y estandarizada el vehículo para el que están pensadas y si su composición es en sencillo o doble.



Figura 32. Marca de andén para S/121

[Fuente](#)



Figura 33. Marca de andén para S/447

[Fuente](#)

- Marcas de parada verticales, colocadas en el andén o la entrevía, pero bien visibles para el maquinista a distancia.

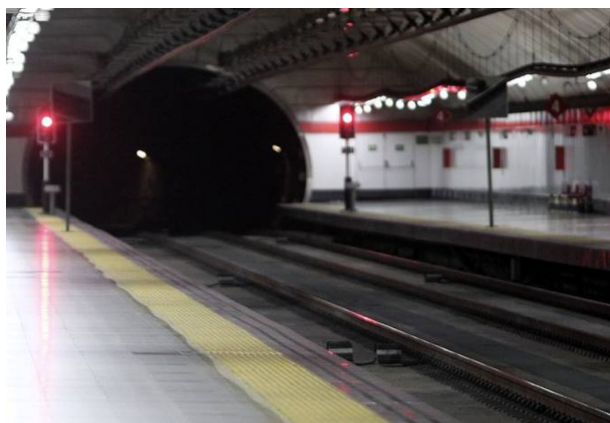


Figura 34. Punto de parada crítico (espejo) sin marcas visibles

7.1.2 Parada

En la subida y bajada de viajeros, la infraestructura tiene también un papel importante. La forma de los andenes debe permitir un flujo de viajeros ágil, así como evitar acumulaciones en puntos determinados. En este punto, podemos establecer dos puntos de vista:

1. Constructivo. Factores de la planificación y el diseño que optimizan el tiempo de parada.
2. Operativo. Una vez dados los parámetros constructivos, existen estrategias que pueden resultar positivas.

7.1.2.1 Andén, punto de vista constructivo

Si bien es muy sencillo proponer buenas prácticas en este aspecto, la construcción de una estación está fuertemente restringida en cuanto a ubicación, escasez de recursos o complejidad. Desde un punto de vista puramente teórico, se pretende establecer una serie de medidas positivas que repercuten en una optimización del tiempo de parada:

- Los accesos al andén deberían ser múltiples, al menos dos, y equilibrados en toda su longitud, de manera que el flujo de pasajeros se oriente hacia un acceso al tren por el mayor número de puertas posibles, dejando las mínimas sin utilizar.
- El punto de parada, y con él los eventuales elementos para facilitar al maquinista la visibilidad desde la cabina del tren, debe definirse, en la medida de lo posible, teniendo en cuenta estos accesos.
- Conjugando los dos puntos anteriores, los elementos del andén para uso de los viajeros, como bancos, marquesinas o máquinas expendedoras deben distribuirse en puntos estratégicos, lejanos a los accesos, para una mejor distribución. Bajo estas líneas, se puede ver un ejemplo real de un punto de parada realmente discordante con el acceso y el punto de espera, especialmente en verano o días de lluvia:



Figura 35. Estación de Sitges. Marquesina situada a 60 (o 150) metros de la cola del tren

- En determinadas estaciones, puede plantearse la instalación de un doble andén, de manera que el tren abra las puertas de ambos lados y se utilice un andén para la subida y otro para la bajada. Para ello se hace necesario un gran flujo de viajeros, ya que de lo contrario el hecho de esta doble apertura puede generar ciertos retrasos en su cierre que no compensan por debajo de cierto umbral de viajeros, pudiendo incluso obtener mayores tiempos de subida y bajada [4]. Como posibles puntos donde sería interesante estudiar su instalación:
 - Estaciones pasantes con gran afluencia de viajeros: Avenida de América (Metro de Madrid), Marienplatz (S-Bahn, Munich)
 - Estaciones término, con rotaciones cortas: Aeroport T2 (Rodalies de Catalunya) o Plaça Catalunya (FGC).
 - Estaciones donde los viajeros porten habitualmente equipajes pesados: (Aeroport T2, Rodalies)



Figura 36. Estación de Marienplatz, Munich



Figura 37. Estación de P. Catalunya FGC, Barcelona

- Por último, la anchura y la altura del andén son dos factores importantísimos [5] [15]. La altura del andén debe ser estandarizada a lo largo de una línea e incluso de una red, de manera que los fabricantes puedan adaptar sus vehículos para disminuir los gaps verticales y horizontales. Con respecto a la anchura, el espacio a ambos lados de la puerta debe ser lo suficientemente holgado para facilitar la salida de los viajeros del tren.

7.1.2.2 Andén, punto de vista operativo

En cuanto a los criterios operativos, entendido como las posibles estrategias una vez se han construido los andenes, las medidas a tomar deben ir igualmente enfocadas a la distribución regular del flujo de viajeros, así como a permitir la visibilidad del maquinista, o del supervisor comercial en su caso, de la finalización de las operaciones del tren. Podemos establecer varias problemáticas:

- Acumulación de viajeros en el andén por una mala información o puntos de información situados en lugares donde su visualización obstaculiza el paso. Las marcas en los andenes se revelan como una buena solución [2]
- Mala visibilidad, desde el punto de parada, de las puertas del tren, desde el punto de vista del maquinista. En muchas ocasiones se trata de un simple espejo convexo, que si bien proporciona una buena visibilidad, esta está sujeta a la parada del tren en un punto muy preciso, ya que de ser sobrepasado, el espejo no sería funcional, obligando al maquinista a incorporarse o levantarse del asiento. De manera análoga, los monitores (pantallas) situados en el andén son, muchas veces, confusos, proveyendo al maquinista de información limitada o confusa en un momento clave para la seguridad. Según la encuesta mencionada antes, más de un 50% del personal encuestado no cree que se tenga en cuenta la perspectiva del maquinista en la instalación de estos elementos.
- Diversos estudios sugieren que personal en el andén puede servir de ayuda [2], en determinadas estaciones podría ser valorable su contratación.
- Otra solución puede ser la instalación de bancos de andén plegables.
- Sobre la instalación de puertas de andén, tienen dos puntos de vista con respecto al tema de estudio:
 - Pueden servir como referencia para los viajeros, que no se acumularían en puntos críticos, y los maquinistas entrarían con más confianza y por tanto velocidad en el andén, al no tener el miedo de que alguien pudiese caer o saltar a la vía.
 - Los estudios, sin embargo, van en dirección contraria, estableciendo que el tiempo de parada aumenta [18] [19], llegando a establecer incluso aumentos de 12" [20]

7.1.3 Aceleración

Con respecto a este punto, aplica el mismo razonamiento que en la deceleración.

8 CONCLUSIONES Y APORTACIONES

En la presente memoria se ha intentado abordar el estudio de los factores influyentes en los tiempos de parada de una manera integral, dividiendo los capítulos en los tres grandes grupos implicados: señalización, infraestructura y material rodante, y se ha establecido para su estudio una segmentación del tiempo en tres periodos, el tiempo que se pierde en la deceleración, el tiempo que se pierde cuando la velocidad es cero y el tiempo que se pierde cuando se acelera hasta la marcha normal.

Se ha aportado una serie de referencias bibliográficas y cierta experiencia personal para proveer al trabajo de pequeñas *palancas* que puedan mover la profundización en cada uno de los campos estudiados. La experiencia en la profesión de maquinista y los conocimientos adquiridos en el máster dan una perspectiva polifacética que, si bien es poco profunda, puede, por su amplitud, abrir la puerta a expertos en uno de los campos pero legos en cualquiera de los otros.

8.1 Señalización

Las conclusiones de lo estudiado son claras, se han probado las limitaciones que supone, por un lado, la falta de supervisión continua y, por otro y en un escalón inferior, la falta de transmisión continua. Por evidente que parezca, conviene establecer que cuanto más información y en tiempo real, mejor. Podemos establecer que:

- La conducción automática es más eficiente. Ante la falta de este automatismo, si el maquinista se guía por un sistema de supervisión continua, su conducción es más eficiente que cuando es supervisado por el sistema ASFA Digital.
- La transmisión continua, esto es, en tiempo real, de la información del enclavamiento y sus cambios, genera grandes beneficios especialmente en una situación en la que la última información recibida por el equipo de protección es la de una señal en parada.
- La supervisión continua, esto es, aquella que tiene en cuenta las velocidades máximas en cada punto del recorrido del tren, genera grandes beneficios con respecto a la semicontinua, especialmente en aproximaciones y pasos por vía desviada.
- Llama la atención cómo, desde 1997 se opera con plenas garantías un sistema de conducción automática, LZB con ATF, en la línea C5 de Cercanías mientras que, hoy en día, el teórico sistema de presente y futuro próximo, el ERTMS Nivel 2, no logra instalarse al 100% en la RFIG, muchas veces siendo no interoperable consigo mismo.
- Sería interesante estudiar e implantar la posibilidad de que el sistema ERTMS pueda definir un punto de parada comercial, de la misma manera que lo puede hacer LZB.

8.2 Material rodante

Las características de los vehículos se revelan más importantes en el tiempo en el que el tren está detenido. Parece haber bastante evidencia con respecto a los siguientes puntos:

- Piso bajo que reduzca la altura del andén con respecto al suelo de la sala de viajeros. La distancia horizontal también tiene una influencia notable. Conviene que estos dos valores sean lo más reducidos posible.
- Interior diáfano. Anchura de puertas entre 1,4 y 1,8 metros típicamente, se establece un valor dentro de este rango como el necesario para que simultáneamente pueda producirse la subida y la baja de un viajero.

Además, como aportación derivada de la experiencia como maquinista, resultaría interesante que los trenes, especialmente aquellos en explotaciones en los que el cierre de puertas dependa íntegramente del maquinista, cuenten con la posibilidad de deshacer la orden de cierre de puertas sin necesidad que estas completen su recorrido para que se puedan volver a abrir. Con esta posibilidad, con la que cuentan por ejemplo vehículos antiguos como las series 447 y 446 de CAF,

se evitarían las pérdidas de tiempo que generan eventuales accionamientos prematuros por parte del maquinista o malas prácticas por parte de los viajeros que intenten subir una vez se ha iniciado el proceso, quedando atrapados.

8.3 Infraestructura

Con respecto a la infraestructura, el estudio y las posibles medidas a tomar están muy enfocadas a la fase de planificación de una estación o de una línea, de todas maneras se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La claridad en el punto de parada tiene un impacto muy positivo en la confianza con la que el maquinista se aproxima a él provocando, cuando este no está bien marcado o es crítico, una frenada más conservadora y, por tanto, mayores tiempos en el proceso de deceleración. Igualmente, cuando desde este punto de parada los elementos de visualización, como espejos o monitores, no proporcionan una información clara, el maquinista tarda más en cerrar las puertas, aumentando el tiempo que el tren permanece parado en la estación.
- En el diseño de la disposición de vías de una estación, deben escogerse, por un lado, y en la medida de lo posible, desvíos de altas velocidades de paso en posición invertida, especialmente cuando en esta estación se hayan diseñado las vías centrales sin andén. Con respecto a estas vías centrales sin andén, deben de tener un diseño adecuado a la explotación que va a tener esa estación y no deben colocarse cuando las velocidades de paso por la misma que establece la velocidad máxima de ese tramo no lo justifiquen.
- En la decisión de dicha velocidad de paso por vía desviada, debe tenerse en cuenta el sistema de protección que se utilizará. Hemos visto que, por ejemplo, con el sistema ASFA Digital en modo CONV, no merece la pena que estos permitan más de 90 km/h en posición invertida, ya que el sistema no permitirá su aprovechamiento.
- Puede valorarse la instalación de vías con doble andén, uno de subida y otro de bajada, cuando así lo justifique el volumen de viajeros. Sin embargo, puede ser contraproducente hacerlo cuando este es bajo.
- Por último, el diseño del andén (accesos, marquesinas, puntos de información...) y su señalética debe orientarse siempre a la distribución homogénea de los viajeros en el mismo.

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. García Álvarez, A. Cillero Hernández, M. P. Martín Cañizares, F. Puente Domínguez, and R. Ramos Melero, “Metodología para la evaluación de las prestaciones y eficiencia de los trenes de viajeros,” p. 401, 2008.
- [2] D. Hyun, D. Ko, and S. E. Robinson, “Reducing Dwell Time: London Underground Central Line,” p. 238, 2016, [Online]. Available: <http://www.wpi.edu/Academics/Projects>.
- [3] I. González Franco, *Metodología para la estimación de la combinación de velocidades máximas que permiten alcanzar el tiempo de viaje comercialmente requerido en una infraestructura ferroviaria*. 2017.
- [4] Renfe and Fundación de los Ferrocarriles Españoles, “Análisis de tiempos de parada,” 2018.
- [5] S. Seriani and T. Fujiyama, “Exploring the Effect of Train Design Features on the Boarding and Alighting Time by Laboratory Experiments,” *Collect. Dyn.*, vol. 4, Dec. 2019, doi: 10.17815/cd.2019.22.
- [6] Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, *Reglamento de Circulación Ferroviaria*. Spain: Ministerio de Fomento, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, 2018.
- [7] Parlamento Europeo, “Directiva 2008/57/CE sobre la interoperabilidad del sistema ferroviario dentro de la Comunidad,” p. 45, 2008.
- [8] ADIF, “Especificación técnica ET 03.365.008.6 Asfa digital embarcado,” 2019.
- [9] ADIF, “Manual de Circulación 24, Sistema Europeo de circulación de Trenes,” vol. 24, 2005.
- [10] Grupo Renfe, “Libro de normas del maquinista,” 2020.
- [11] S. Valero, *El sistema de señalización europea ERTMS*. ICAI, 2015.
- [12] J. J. Wang, H. S. Wang, B. G. Cai, W. ShangGuan, J. Wang, and H. Zhang, “European train control system speed-distance mode curve analysis and simulation,” *Proc. - 2011 4th IEEE Int. Symp. Microwave, Antenna, Propag. EMC Technol. Wirel. Commun. MAPE 2011*, no. 2009, pp. 679–682, 2011, doi: 10.1109/MAPE.2011.6156176.
- [13] J. Estrada, *Planificación y programación del transporte*. Madrid: ICAI, 2015.
- [14] Renfe, “Manual de conducción BCA, línea C5 cercaníaspdf.” Renfe, UN: de Cercanías, 1997.
- [15] R. Thoreau, C. Holloway, G. Bansal, K. Gharatya, T. R. Roan, and N. Tyler, “Train design features affecting boarding and alighting of passengers,” *J. Adv. Transp.*, vol. 50, no. 8, pp. 2077–2088, 2016, doi: 10.1002/atr.1446.
- [16] ADIF, “Cuadro de Velocidades Máximas GRUPO 1,” 2016.
- [17] ADIF, “Cuadro de Velocidades Máximas Grupo 3,” 2016.
- [18] S. Seriani, R. Fernandez, N. Luangboriboon, T. Fujiyama, and M. Haghani, “Exploring the Effect of Boarding and Alighting Ratio on Passengers’ Behaviour at Metro Stations by Laboratory Experiments,” *J. Adv. Transp.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/6530897.
- [19] K. Kottenhoff, “Evaluation of passenger train concepts – Practical Methods for Measuring Travellers’ preferences in Relation to Costs,” 1999, [Online]. Available:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=B8DF0A5B9B20E92417967BE437CADD27?doi=10.1.1.532.4306&rep=rep1&type=pdf>.

- [20] O. Lindfeldt, “The impact of platform screen doors on rail capacity,” *Int. J. Transp. Dev. Integr.*, vol. 1, no. 3, pp. 601–610, 2017, doi: 10.2495/TDI-V1-N3-601-610.

10 ANEXOS

Aquí poner resultados de encuestas a viajeros frecuentes, maquinista, supervisor

10.1 Anexo I: Gráficas comparativa de sistemas de protección.

10.1.1 Entrada a vía directa

	x	Control ASFA	Control N1 y N2	Control LZB con ATF	v ASFA	v N1 y N2	v LZB ATF	t ASFA	t N1 y N2	t LZB	
BPS/A	0	120	100	100	100	100	100	0	0	0	
	20	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	40	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	60	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	80	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	100	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	120	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	140	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	160	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	180	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	200	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	220	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	240	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	260	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	280	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
300	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72		
B S/A	320	120	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72	
	340	120	100	100	98,95776877	98,95776877	100	0,723771687	0,723771687	0,72	
	360	120	100	100	97,90444321	97,90444321	100	0,731476084	0,731476084	0,72	
	380	120	100	100	96,8396613	96,8396613	100	0,739431884	0,739431884	0,72	
	400	120	100	100	95,76304089	95,76304089	100	0,747653062	0,747653062	0,72	
	420	120	100	100	94,67417811	94,67417811	100	0,756154709	0,756154709	0,72	
	440	120	100	100	93,57284558	93,57284558	100	0,764953146	0,764953146	0,72	
	460	120	100	100	92,45799046	92,45799046	100	0,774066052	0,774066052	0,72	
	480	120	100	100	91,32973229	91,32973229	100	0,783512619	0,783512619	0,72	
	500	120	100	100	90,18736053	90,18736053	100	0,793313719	0,793313719	0,72	
	520	120	100	100	89,03033191	89,03033191	100	0,8034921	0,8034921	0,72	
	540	120	100	100	87,85806736	87,85806736	100	0,814072605	0,814072605	0,72	
	560	120	100	100	86,66994866	86,66994866	100	0,825082433	0,825082433	0,72	
	580	120	100	100	85,4653146	85,4653146	100	0,836551426	0,836551426	0,72	
	600	120	100	100	84,24345672	84,24345672	100	0,848512419	0,848512419	0,72	
620	120	100	100	83,00361438	83,00361438	100	0,861001625	0,861001625	0,72		
640	120	100	100	81,74496926	81,74496926	100	0,874059108	0,874059108	0,72		
660	120	100	100	80,46663905	80,46663905	100	0,887729315	0,887729315	0,72		
680	120	100	100	79,16767017	79,16767017	100	0,902061723	0,902061723	0,72		
700	120	100	100	77,84702949	77,84702949	100	0,917111585	0,917111585	0,72		
720	120	100	100	76,50359469	76,50359469	100	0,932940834	0,932940834	0,72		
740	120	100	100	75,13614311	75,13614311	100	0,949619157	0,949619157	0,72		
760	120	100	100	73,74333868	73,74333868	100	0,96722529	0,96722529	0,72		
780	120	100	100	72,32371672	72,32371672	100	0,985848586	0,985848586	0,72		
800	120	100	100	70,87566578	70,87566578	100	1,005590928	1,005590928	0,72		
820	120	100	100	69,39740629	69,39740629	97,37350769	1,02656909	1,02656909	0,729581197		
840	120	100	100	67,88694888	67,88694888	94,67417811	1,04891765	1,04891765	0,749813774		
860	120	100	100	66,34214347	66,34214347	91,89559293	1,072792644	1,072792644	0,771829215		
880	120	100	100	64,76048178	64,76048178	89,03033191	1,098376175	1,098376175	0,795905839		
900	120	100	100	63,13921127	63,13921127	86,06973917	1,125882295	1,125882295	0,822386873		
920	120	100	100	61,47519825	61,47519825	83,00361438	1,155564598	1,155564598	0,851701133		
940	120	100	100	59,76487263	59,76487263	79,81979704	1,187726128	1,187726128	0,884393704		
960	120	100	100	58,00413778	58,00413778	76,50359469	1,222732523	1,222732523	0,921167321		
980	120	100	100	56,188255	56,188255	73,03697694	1,26102971	1,26102971	0,962949375		
1000	120	100	100	55	55	69,39740629	1,303168034	1,303168034	1,010991846		
1020	120	100	100	51,89628118	51,89628118	65,55608286	1,249402062	1,249402062	1,067034286		
1040	120	100	100	48,59473222	48,59473222	61,47519825	1,275039353	1,275039353	1,133579058		
1060	120	100	100	45,0518812	45,0518812	57,10341496	1,347100184	1,347100184	1,214384248		
1080	120	100	100	41,2055361	41,2055361	52,36792912	1,432963955	1,432963955	1,315412734		
1100	120	100	100	36,96106059	36,96106059	47,15930449	1,537695756	1,537695756	1,446840174		
1120	120	100	100	32,16121888	32,16121888	41,2989104	1,669421699	1,669421699	1,627887248		
1140	120	100	100	26,50599932	26,50599932	34,45576875	1,842215192	1,842215192	1,900872568		
1160	120	100	100	19,25596012	19,25596012	25,8611678	2,08326463	2,08326463	2,387389152		
1180	120	100	100	12,26376777	6,246278892	6,246278892	12,26376777	2,45452379	2,45452379	3,77705563	
Punto de parada	1200	120	100	0	0	0	0	3,146718405	3,146718405	3,8	
								Tiempo desde avanzada	61,28633856	61,28633856	56,97117562

10.1.2 Entrada a vía desviada

BP S/A	x	Control ASFA	Control N1 y N2	Control LZB con ATF	v ASFA	v N1 y N2	v LZB ATF	t ASFA	t N1 y N2	t LZB
	0	120	100	100	100	100	100	0	0	0
	20	105	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72
	40	105	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72
	60	105	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72
	80	105	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72
	100	105	100	100	100	100	100	0,72	0,72	0,72
	120	105	100	100	98,43251495	100	100	0,72	0,72	0,72
	140	103,092134	100	100	96,8396613	100	100	0,73465614	0,72	0,72
	160	100,9730857	100	100	95,22016593	100	100	0,743497024	0,72	0,72
	180	98,89812941	100	100	93,57264558	100	100	0,75614235	0,72	0,72
	200	96,77871667	100	100	91,89559293	100	100	0,76945564	0,72	0,72
	220	94,61183858	100	100	90,18736053	100	100	0,783497856	0,72	0,72
	240	92,39415566	100	100	88,4461418	100	100	0,798338033	0,72	0,72
	260	90,1291742	100	100	86,66994866	100	100	0,814054729	0,72	0,72
	280	87,7908791	100	100	84,85658489	100	100	0,83073771	0,72	0,72
	300	85,39625285	100	100	83,00361438	100	100	0,848490428	0,72	0,72
	320	82,93250268	100	100	81,10832263	100	100	0,867432106	0,72	0,72
	340	80,3932833	100	100	79,16767017	100	100	0,884809436	0,727623886	0,72
	360	80	100	100	77,17823527	100	100	0,917111585	0,727623886	0,72
	380	80	100	100	75,1361431	100	100	0,941169169	0,727623886	0,72
	400	80	100	100	73,03697694	100	100	0,9622529	0,727623886	0,72
	420	80	100	100	70,87566578	100	100	0,995572958	0,727623886	0,72
	440	80	100	100	68,64214347	97,90444321	100	1,060653634	0,727623886	0,72
	460	80	100	100	63,95498417	95,76304089	100	1,098376175	0,743542473	0,72
	480	80	100	100	61,47519825	93,57264558	100	1,140431778	0,760553928	0,72
	500	60	100	100	60	91,32973229	100	1,187726128	0,778789336	0,72
	520	60	100	100	60	89,0303191	100	1,239402909	0,798425192	0,72
	540	60	100	100	60	86,66994866	100	1,295577519	0,819517519	0,72
	560	60	97,3730769	97,3730769	60	84,2435672	94,67417811	1,2	0,842531922	0,749813774
	580	60	94,67417811	94,67417811	60	81,74496926	91,89559293	1,2	0,867530386	0,771829215
	600	60	89,0303191	89,0303191	60	79,16767017	80,0303191	1,2	0,894809519	0,795058839
	620	60	86,06973917	86,06973917	60	76,50359469	86,06973917	1,2	0,925026209	0,822386873
	640	60	83,00361438	83,00361438	60	73,74333868	83,00361438	1,2	0,958422224	0,85170133
	660	60	79,81979704	79,81979704	60	70,87566578	79,81979704	1,2	0,995719757	0,88493704
	680	60	76,50359469	76,50359469	60	67,8869488	76,50359469	1,2	1,03774337	0,92167321
	700	60	73,03697694	73,03697694	60	64,76048178	73,03697694	1,2	1,085584409	0,962949975
	720	60	69,39740629	69,39740629	57,3404551	61,47519825	69,39740629	1,2	1,140713447	1,00950187
	740	60	65,55608286	65,55608286	54,5703216	58,00413778	65,55608286	1,2	1,20529329	1,06704286
	760	60	61,47519825	61,47519825	51,6418435	54,31169303	61,47519825	1,2	1,282098872	1,13579058
	780	60	57,10341496	57,10341496	48,5369962	50,34918073	57,10341496	1,2	1,37882328	1,214384208
	800	60	52,36792912	52,36792912	45,21946484	46,04693258	52,36792912	1,517567901	1,493836163	1,315412734
	820	60	47,15503049	47,15503049	41,53044377	41,2089104	47,15503049	1,53417891637	1,548613813	1,446640174
	840	60	41,2989104	41,2989104	37,71890575	35,92881852	41,2989104	1,784218295	1,864615236	1,627887248
	860	60	34,45576875	34,45576875	33,34186557	30	34,45576875	1,983990999	1,983990999	1,90087268
	880	60	30	30	30	30	30	2,270799839	2,4	2,387389152
	900	60	30	30	30	30	30	2,4	2,4	2,4
	920	60	30	30	30	30	30	2,4	2,4	2,4
	940	60	30	30	30	30	30	2,4	2,4	2,4
	960	60	30	30	30	30	30	2,4	2,4	2,4
	980	60	30	30	30	30	30	2,4	2,4	2,4
	1000	60	30	30	30	30	30	2,4	2,4	2,4
	1020	60	30	30	30	30	30	2,4	2,4	2,4
	1040	60	30	30	30	30	30	2,4	2,4	2,4
	1060	60	36,25006783	36,25006783	30	36,25006783	36,25006783	2,4	2,4	2,907059801
	1080	60	41,53863628	41,53863628	30	41,53863628	41,53863628	2,4	2,4	2,933776621
	1100	80	46,30507532	46,30507532	30	46,30507532	46,30507532	2,4	2,4	1,885148967
	1120	80	40,32071428	40,32071428	30	40,32071428	40,32071428	2,4	2,4	1,66232251
	1140	80	33,2770191	33,2770191	30	33,2770191	33,2770191	30	2,12094839	2,502366944
	1160	80	30	30	24,2684981	24,2684981	30	2,12094839	2,212094839	2,502366944
	1180	80	19,53458472	19,53458472	16,67093279	16,67093279	19,53458472	2,636776845	2,636776845	2,907059801
	1200	80	0	0	0	0	0	3,481375962	3,481375962	3
Tiempo desde avanzada								85,61437071	79,86043541	75,87839149

10.1.3 Arranque

x	control ASFA	v ASFA	t ASFA	Control ASFA L1-L7	v ASFA L1-L7	t ASFA L1-L7	Control N1 v lib	v N1 v lib	t v lib N1	Control LZB - N2	v LZB v N2	t LZB - N2	N1 Euro800
0	0	0	0	15	15	7,071067812	15	15	7,071067812	100	20,3646753	7,071067812	0
20	30	20,3646753	7,071067812	15	15	7,071067812	15	15	7,071067812	100	20,3646753	7,071067812	0
40	30	28,8	2,928932188	15	15	4,8	15	15	4,8	100	28,8	2,928932188	0
60	30	2,47448714	15	15	15	4,8	15	15	4,8	100	33,7726521	2,47448714	0
80	30	1,4	15	15	15	4,8	15	15	4,8	100	40,728906	1,4	0
100	120	36,25006783	2,173287441	120	25,2928669	3,57849545	100	25,2928669	3,57849545	100	45,53675817	1,669251877	0
120	120	44,5863828	1,848415435	120	32,4724191	2,40886395	100	32,4724191	2,40886395	100	49,8839629	1,50919975	0
140	120	46,39079132	1,63881609	120	38,1296201	2,03847601	100	38,1296201	2,03847601	100	53,8798647	1,38778804	0
160	120	50,58537338	1,488214606	120	43,4038648	1,76182794	100	43,4038648	1,76182794	100	57,6	1,293713066	0
180	120	54,51072328	1,309913856	120	47,943717	1,576399487	100	47,943717	1,576399487	100	61,0402589	1,211203456	0
200	120	58,28927761	1,177725114	120	52,095381	1,439921283	100	52,095381	1,439921283	100	64,9875775	1,147476139	0
220	120	61,64879276	1,071205296	120	55,9288341	1,331059944	100	55,9288341	1,331059944	100	67,5419804	1,093399204	0
240	120	64,94428881	1,137223884	120	59,5120887	1,247299502	100	59,5120887	1,247299502	100	70,5634929	1,044818209	0
260	120	68,06232438	1,082629795	120	62,90850499	1,176186212	100	62,90850499	1,176186212	100	73,4281	1,00020214	0
280	120	71,04364855	1,035182005	120	66,12261338	1,116099857	100	66,12261338	1,116099857	100	76,1978776	0,962415943	0
300	120	73,94080161	0,993456624	120	69,1875114	1,064214444	100	69,1875114	1,064214444	100	78,7734828	0,928614165	0
320	120	76,65924602	0,956403606	120	72,1232997	1,01963999	100	72,1232997	1,01963999	100	81,4587018	0,898413172	0
340	120	79,31809377	0,923110227	120	74,94237786	0,979160381	100	74,94237786	0,979160381	100	83,9657079	0,870488227	0
360	120	81,89069881	0,893251148	120	77,60208939	0,940208623	100	77,60208939	0,940208623	100	86,4	0,846320536	0
380	120	84,38483276	0,866032622	120	80,28578971	0,911705139	100	80,28578971	0,911705139	100	88,7650164	0,820700515	0
400	120	86,80737796	0,841159791	120	82,82826005	0,882818175	100	82,82826005	0,882818175	100	91,0739661	0,800706887	0
420	120	89,18411254	0,81811037	120	85,29921744	0,85651071	100	85,29921744	0,85651071	100	93,23266061	0,78020889	0
440	120	91,46015526	0,79723504	120	87,692417	0,832493044	100	87,692417	0,832493044	100	95,5187936	0,76244412	0
460	120	93,69994664	0,77707934	120	90,02599625	0,81077057	100	90,02599625	0,81077057	100	97,6655176	0,745400212	0
480	120	95,807194	0,75854424	120	92,3005968	0,78978154	100	92,3005968	0,78978154	100	99,76612623	0,72936636	0
500	120	98,02611897	0,742389846	120	94,5047997	0,770795004	100	94,5047997	0,770795004	100	100	0,71432208	0
520	120	100	0,728298609	120	96,68839963	0,753099185	100	96,68839963	0,753099185	100	100	0,7	0
540	120	100	0,72	120	98,81072816	0,736574089	100	98,81072816	0,736574089	100	100	0,7	0</

Tiempo de parada en trenes de viajeros. Factores influyentes.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

10.1.4 Arranque II

	control ASFA	v ASFA	t ASFA	Control ASFA L7-L7	v ASFA L7-L7	t ASFA L7-L7 y N1	Control N1 v-ib	v N1 v-ib	0	L v-ib N1	Control L2B-N2	N2	L2B, N2 y N1 con Eurotop	L2B-N2-N1 Eurotop
0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	20,36467812	7,071067812	15	15	7,071067812	15	15	15	7,071067812	100	20,36467812	7,071067812	20,36467812
40	30	28,8	2,928932188	15	15	4,8	15	15	4,8	100	28,8	2,928932188	2,928932188	2,928932188
60	30	2,244488714	15	15	15	4,8	15	15	4,8	100	35,2726321	2,244488714	2,244488714	2,244488714
80	30	2,4	15	15	15	4,8	15	15	4,8	100	40,7293506	1,88486891	1,88486891	1,88486891
100	120	30	2,4	15	15	4,8	15	15	4,8	100	45,53878831	1,669252677	1,669252677	1,669252677
120	120	30	2,4	15	15	4,8	15	15	4,8	100	49,38036236	1,509119775	1,509119775	1,509119775
140	120	36,25906783	2,173287441	120	25,29286669	3,573849545	100	25,29286669	3,573849545	100	53,8788637	1,38777858	1,38777858	1,38777858
160	120	41,58653628	1,848815435	120	32,47214191	2,492866395	100	32,47214191	2,492866395	100	57,6	1,291713066	1,291713066	1,291713066
180	120	46,20507521	1,638391009	120	38,23962021	2,033847605	100	38,23962021	2,033847605	100	61,09402389	1,212029184	1,212029184	1,212029184
200	120	50,58537338	1,486214606	120	43,40386848	1,761827594	100	43,40386848	1,761827594	100	64,39875775	1,147476139	1,147476139	1,147476139
220	120	54,53072528	1,369913856	120	47,943717	1,576399487	100	47,943717	1,576399487	100	67,54188694	1,091399204	1,091399204	1,091399204
240	120	58,29072762	1,27277314	120	52,088385	1,439232383	100	52,088385	1,439232383	100	70,5483048	1,048183028	1,048183028	1,048183028
260	120	61,66879276	1,201220536	120	55,92888341	1,333105944	100	55,92888341	1,333105944	100	73,425881	1,00002014	1,00002014	1,00002014
280	120	64,84283981	1,137323394	120	59,5210887	1,247283502	100	59,5210887	1,247283502	100	76,19763776	0,962415543	0,962415543	0,962415543
300	120	68,02326378	1,08262975	120	63,20804991	1,176186211	100	63,20804991	1,176186211	100	78,87048481	0,928614765	0,928614765	0,928614765
320	120	71,04364855	1,035182005	120	66,12261338	1,11600857	100	66,12261338	1,11600857	100	81,45870139	0,898143372	0,898143372	0,898143372
340	120	73,90480383	0,993456624	120	69,18751144	1,064211444	100	69,18751144	1,064211444	100	83,96570729	0,874882217	0,874882217	0,874882217
360	120	76,62949002	0,956949006	120	72,12236997	1,019063899	100	72,12236997	1,019063899	100	86,4	0,845240236	0,845240236	0,845240236
380	120	79,31809377	0,921215027	120	74,94237786	0,979160381	100	74,94237786	0,979160381	100	88,76786154	0,822070513	0,822070513	0,822070513
400	120	81,88068881	0,889251148	120	77,66602851	0,948402863	100	77,66602851	0,948402863	100	91,07509661	0,800706687	0,800706687	0,800706687
420	120	84,34813776	0,860426232	120	80,28517971	0,911703139	100	80,28517971	0,911703139	100	93,32186666	0,780294812	0,780294812	0,780294812
440	120	86,80737296	0,841159791	120	82,82825005	0,882818175	100	82,82825005	0,882818175	100	95,51879396	0,762544412	0,762544412	0,762544412
460	120	89,14411824	0,821814337	120	85,29027444	0,861514373	100	85,29027444	0,861514373	100	97,66551761	0,746402012	0,746402012	0,746402012
480	120	91,46015236	0,79723504	120	87,692417	0,832430404	100	87,692417	0,832430404	100	99,76612652	0,729386236	0,729386236	0,729386236
500	120	93,69994664	0,77770334	120	90,02596251	0,81027057	100	90,02596251	0,81027057	100	100	0,714329028	0,714329028	0,714329028
520	120	95,8879484	0,759594424	120	92,30005688	0,78979154	100	92,30005688	0,78979154	100	100	0,7021372	0,7021372	0,7021372
540	120	98,02611897	0,742598846	120	94,52047397	0,770791004	100	94,52047397	0,770791004	100	100	0,72	0,72	0,72
560	120	100	0,72	120	96,68939963	0,753099185	100	96,68939963	0,753099185	100	100	0,72	0,72	0,72
580	120	100	0,72	120	98,81072816	0,736574209	100	98,81072816	0,736574209	100	100	0,72	0,72	0,72
600	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
620	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
640	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
660	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
680	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
700	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
720	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
740	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
760	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
780	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
800	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
820	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
840	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
860	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
880	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
900	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
920	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
940	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
960	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
980	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
1000	120	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	100	100	0,72	0,72	0,72
Tempo en recuperar 100 km/h			43,79436852			59,43544298				59,43544298				35,35339006
Tempo en recorrer 1 km			59,43544298			75,26103251				75,26103251				53,35339006

10.1.5 Arranque en sucesión de señales

hito	control ASFA	v ASFA	t ASFA	Control ASFA L7-L7	v ASFA L7-L7	t ASFA L7-L7	Control N1 v-ib	v N1 v-ib	0	L v-ib N1	Control L2B-N2	N2	v L2B y N2	0	L2B-N2-N1
Punto de parada	0	30	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	20,36467812	7,071067812	15	15	7,071067812	15	15	15	7,071067812	100	20,36467812	7,071067812	20,36467812	20,36467812
40	30	28,8	2,928932188	15	15	4,8	15	15	4,8	100	28,8	2,928932188	2,928932188	2,928932188	2,928932188
60	30	2,244488714	15	15	15	4,8	15	15	4,8	100	35,2726321	2,244488714	2,244488714	2,244488714	2,244488714
80	30	2,4	15	15	15	4,8	15	15	4,8	100	40,7293506	1,88486891	1,88486891	1,88486891	1,88486891
100	60	36,25906783	2,173287441	60	25,29286669	3,573849545	100	25,29286669	3,573849545	100	45,53878831	1,669252677	1,669252677	1,669252677	1,669252677
120	60	41,58653628	1,848815435	60	32,47214191	2,492866395	100	32,47214191	2,492866395	100	49,8806326	1,509119775	1,509119775	1,509119775	1,509119775
140	60	46,20507521	1,638391009	60	38,23962021	2,033847605	100	38,23962021	2,033847605	100	52,87966371	1,38777858	1,38777858	1,38777858	1,38777858
160	60	50,58537338	1,486214606	60	43,40386848	1,761827594	100	43,40386848	1,761827594	100	57,6	1,291713066	1,291713066	1,291713066	1,291713066
180	60	54,53072528	1,369913856	60	47,943717	1,576399487	100	47,943717	1,576399487	100	61,09402389	1,212029184	1,212029184	1,212029184	1,212029184
200	60	58,29072762	1,27277314	60	52,088385	1,439232383	100	52,088385	1,439232383	100	64,39875775				

5. En general la distribución de los viajeros en el andén es uniforme y facilita las operaciones de subida y bajada de viajeros.
6. En general, los viajeros dejan salir antes de entrar.
7. Los controles de velocidad asociados a las señales en parada (L7 o doble L7 en ASFA, velocidad de liberación en ERTMS) limitan innecesariamente la velocidad de salida del tren
8. Ver a los viajeros de última hora desde la cabina de conducción, me hace esperarlos y retrasar la orden de cierre de puertas.

Respuestas: 142

Indica, del 1 al 5, tu grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones:

