



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio comparativo del impacto de la señalización en la
capacidad de una línea ferroviaria

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Sistemas Inteligentes de Transporte

AUTOR/A: de Paco Escámez, Adrián

Tutor/a: Argente Cuesta, Sebastián José

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Resumen

Este estudio tiene como objetivo comparar el impacto que tienen los diferentes sistemas de señalización ferroviaria en la capacidad y explotación de una línea ferroviaria. Para ello, se llevará a cabo un análisis detallado de dos escenarios de señalización ferroviaria. En primer lugar, se incluye la introducción que establece el contexto y el propósito del estudio. A continuación, se detalla la infraestructura de referencia, los tiempos de viaje, la prognosis de tráfico y los horarios de los servicios ferroviarios. Más adelante, se analizan los dos escenarios de señalización. En cada escenario, se caracteriza la infraestructura de la línea ferroviaria y se calculan los intervalos mínimos entre circulaciones, se construye la malla de circulación base y la malla de máxima capacidad para evaluar el nivel de saturación. Los resultados obtenidos se presentan de manera detallada en el apartado correspondiente, donde se comparan los niveles de saturación en ambos escenarios. Finalmente, en la sección de Conclusiones, se resumen los hallazgos clave.

Summary

This study aims to compare the impact of different signaling systems on the capacity of a railway line. To achieve this, a detailed analysis of two signaling scenarios will be conducted. Firstly, an introduction is provided, establishing the context and purpose of the study. Following this, the reference infrastructure, travel times, traffic prognosis, and railway service schedules are detailed. Subsequently, the two signaling scenarios are analyzed. In each scenario, the infrastructure of the railway line is characterized, and the minimum intervals between train movements are calculated. Additionally, a base circulation grid and a maximum capacity grid are constructed to assess the level of saturation. The results obtained are presented in detail in the corresponding section, where the saturation levels in both scenarios are compared. Finally, in the Conclusions section, the key findings are summarized.

Índice

1. Introducción y objeto	8	7. Escenario inicial de señalización.....	25
1.1. Introducción.....	8	7.1. Infraestructura.....	25
1.2. Objeto del trabajo	8	7.2. Intervalos mínimos entre circulaciones	27
2. Metodología	8	7.3. Escenario de máxima capacidad.....	27
3. Infraestructura de referencia	9	7.3.1. Escenario de tráfico 1.....	27
3.1. Línea principal	9	7.3.2. Escenario de tráfico 2.....	30
3.2. Ramal.....	9	7.3.3. Niveles de ocupación	33
4. Prognosis de tráfico.....	11	8. Escenario de señalización mejorado	39
4.1. Escenario de tráfico 1.....	11	8.1. Infraestructura.....	39
4.2. Escenario de tráfico 2.....	11	8.2. Intervalos mínimos entre circulaciones	40
5. Marchas tipo. Tiempos de viaje	11	8.3. Escenario de máxima capacidad.....	41
5.1. Marchas tipo.....	11	8.3.1. Escenario de tráfico 1.....	41
5.1.1. Infraestructura	11	8.3.2. Escenario de tráfico 2.....	44
5.1.2. Material rodante	12	8.3.3. Niveles de ocupación	47
5.2. Tiempos de viaje.....	18	9. Comparativa entre escenarios de señalización.....	53
6. Escenario base.....	18	9.1. Escenario de tráfico 1	53
6.1. Intervalos mínimos en itinerarios concurrentes en un punto 18		9.2. Escenario de tráfico 2	55
6.2. Cuadro de marchas.....	19	10. Conclusiones	57
6.2.1. Escenario de tráfico 1.....	19	11. Bibliografía	58
6.2.2. Escenario de tráfico 2.....	22	Anexo 1: Intervalos mínimos entre circulaciones	59
		Anexo 2: Niveles de señalización ETCS	69

Índice de figuras

Figura 1: Infraestructura de referencia. Elaboración propia	10	Figura 16: Malla de circulación de máxima capacidad. Línea principal, escenario base de señalización, escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.....	28
Figura 2: Pendiente línea principal. Fuente: Elaboración propia	12	Figura 17: Malla de circulación de máxima capacidad. Ramal, escenario base de señalización, escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.....	29
Figura 3: Pendiente ramal. Fuente: Elaboración propia	12	Figura 18: Malla de circulación de máxima capacidad. Línea principal, escenario base de señalización, escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 4: Características de la serie 463. Fuente: DPL Simultren..	13	Figura 19: Malla de circulación de máxima capacidad. Ramal, escenario base de señalización, escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.....	32
Figura 5: Simulación A – F sentido ida. Fuente: Elaboración propia	14	Figura 20: Niveles de ocupación por secciones sentido ida. Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 6: Simulación A - F sentido vuelta. Fuente: Elaboración propia	15	Figura 21: Niveles de ocupación por secciones sentido vuelta. Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 7: Simulación B - C sentido ida. Fuente: Elaboración propia	16	Figura 22: Niveles de ocupación totales por secciones. Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 8: Simulación B - C sentido vuelta. Fuente: Elaboración propia	17	Figura 23: Representación gráfica de los niveles de las circulaciones programadas, adicionales y los niveles de saturación por secciones. Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 9: Tiempos de viaje línea principal. Fuente: Elaboración propia	18	Figura 24: Cupo de surcos en Estación B. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 10: Tiempos de viaje ramal. Fuente: Elaboración propia	18	Figura 25: Cupo de surcos en Estación E. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 11: Malla de circulación base línea principal escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia	20	Figura 26: Cupo de surcos en Estación C. Fuente: Elaboración propia.	36
Figura 12: Malla de circulación base ramal escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.....	21		
Figura 13: Malla de circulación base línea principal escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia	23		
Figura 14: Malla de circulación ramal escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.	24		
Figura 15: Esquema de infraestructura del escenario 1 de señalización. Fuente: Elaboración propia	26		

Figura 27: Niveles de ocupación por secciones sentido ida. Fuente: Elaboración propia.	36
Figura 28: Niveles de ocupación por secciones sentido vuelta. Fuente: Elaboración propia.....	36
Figura 29: Niveles de ocupación totales por secciones. Fuente: Elaboración propia.	36
Figura 30: Representación gráfica de los niveles de las circulaciones programadas, adicionales y los niveles de saturación por secciones. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 31: Cupo de surcos en Estación B. Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 32: Cupo de surcos en Estación E. Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 33: Cupo de surcos en Estación C. Fuente: Elaboración propia.	39
Figura 34: Comparación cantón fijo y cantón móvil. Fuente: Wikipedia	39
Figura 35: Infraestructura escenario de señalización mejorado. Fuente: Elaboración propia.....	40
Figura 36: Muestra de horarios Cercanías Madrid. Fuente: Renfe.	40
Figura 37: Muestra de horarios de la línea A de RER de París: Fuente: RER A Le Blog	41
Figura 38: Muestra de horarios de la Victoria line de Londres. Fuente: Transport for London.....	41
Figura 39: Malla de circulación de máxima capacidad. Línea principal, escenario de señalización mejorado, escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.....	42

Figura 40: Malla de circulación de máxima capacidad. Ramal, escenario de señalización mejorado, escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 41: Malla de circulación de máxima capacidad. Línea principal, escenario de señalización mejorado, escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 42: Malla de circulación de máxima capacidad. Ramal, escenario de señalización mejorado, escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 43: Niveles de ocupación por secciones sentido ida. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 44: Niveles de ocupación por secciones sentido vuelta. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 45: Niveles de ocupación totales por secciones. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 46: Representación gráfica de los niveles de las circulaciones programadas, adicionales y los niveles de saturación por secciones. Fuente: Elaboración propia.....	48
Figura 47: Cupo de surcos en Estación B. Fuente: Elaboración propia.	49
Figura 48: Cupo de surcos en Estación E. Fuente: Elaboración propia.	49
Figura 49: Cupo de surcos en Estación C. Fuente: Elaboración propia.	50
Figura 50: Niveles de ocupación por secciones sentido ida. Fuente: Elaboración propia.....	50
Figura 51: Niveles de ocupación por secciones sentido vuelta. Fuente: Elaboración propia.....	50

Figura 52: Niveles de ocupación totales por secciones. Fuente: Elaboración propia.	50	Figura 65: Comparativa niveles de ocupación por secciones sentido vuelta escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.	55
Figura 53: Representación gráfica de los niveles de las circulaciones programadas, adicionales y los niveles de saturación por secciones. Fuente: Elaboración propia.....	51	Figura 66: Comparativa niveles de ocupación por secciones totales escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.	55
Figura 54: Cupo de surcos en Estación B. Fuente: Elaboración propia.	52	Figura 67: Aumento de surcos sentido ida escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 55: Cupo de surcos en Estación E. Fuente: Elaboración propia.	52	Figura 68: Aumento de surcos sentido vuelta escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 56: Cupo de surcos en Estación C. Fuente: Elaboración propia.	53	Figura 69: Aumento total de surcos escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 57: Comparativa niveles de ocupación por secciones sentido ida escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.	53	Figura 70: Comparativa porcentaje de ocupación escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.	56
Figura 58: Comparativa niveles de ocupación por secciones sentido vuelta escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.....	53	Figura 71: Comparativa incremento de surcos por escenario de tráfico y sección de infraestructura. Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 59: Comparativa niveles de ocupación por secciones totales escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.	54		
Figura 60: Aumento de surcos sentido ida escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.....	54		
Figura 61: Aumento de surcos sentido vuelta escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.....	54		
Figura 62: Aumento total de surcos escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.	54		
Figura 63: Comparativa porcentaje de ocupación escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.	55		
Figura 64: Comparativa niveles de ocupación por secciones sentido ida escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.	55		

1. Introducción y objeto

1.1. Introducción

La capacidad de una línea ferroviaria, entendida como la cantidad máxima de trenes que pueden circular en un período de tiempo determinado, es un elemento clave para satisfacer la demanda de transporte. Esta capacidad depende de muchos factores, entre los que se incluyen la configuración de la infraestructura, el material rodante y la señalización. En particular, la señalización ferroviaria juega un papel crucial en la regulación y gestión del tráfico ferroviario, afectando directamente la eficiencia y seguridad de las operaciones.

En modelos de transporte como los trenes de cercanías, la capacidad es especialmente crítica debido a la necesidad de mantener una alta frecuencia de servicios para atender una demanda distribuida a lo largo del tiempo. Los pasajeros de cercanías requieren un servicio con elevada frecuencia y fiabilidad para sus desplazamientos diarios, lo que resalta la importancia de maximizar la capacidad de las líneas ferroviarias mediante sistemas de señalización modernos y eficientes.

1.2. Objeto del trabajo

Este trabajo tiene como objeto analizar el impacto que tiene la elección de un determinado modelo o tipo de señalización ferroviaria en la capacidad de una línea, concretamente en una línea con tráfico de cercanías. Para ello, se examinarán dos escenarios de señalización diferentes para una misma línea:

- Un escenario con un sistema de señalización tradicional, basado en la señalización lateral y cantonamiento fijo.

- Un escenario con un sistema de señalización avanzado con cantones móviles y sin señalización lateral.

Ambos sistemas serán definidos al detalle en los apartados correspondientes.

Además, se considerarán dos escenarios de tráfico distintos, pormenorizados en el apartado de pronóstico de tráfico, que consideren distinto número de circulaciones a la hora.

El estudio se enfocará exclusivamente en la capacidad de la línea en función de la señalización, excluyendo cualquier otra mejora en la infraestructura o en el material rodante. También se asumirá que existe suficiente material rodante y capacidad de estacionamiento para prestar los servicios ferroviarios previstos.

El objetivo principal es comparar los niveles de saturación en ambos escenarios y evaluar cómo la modernización de la señalización influye en la capacidad. Este análisis proporcionará una visión clara de los beneficios potenciales de actualizar los sistemas de señalización en términos de capacidad.

2. Metodología

Para calcular la capacidad ferroviaria en la infraestructura objeto de estudio se seguirán una serie de etapas que se detallan a continuación:

- Definir la infraestructura general
- Definir la tipología de tráfico y sus características
- Calcular las marchas tipo / tiempos de viaje

- Calcular los intervalos mínimos en intersecciones / cizallamientos
- Elaborar modelo de explotación base
- Definir la señalización de cada escenario
- Calcular intervalos mínimos entre circulaciones consecutivas de cada escenario
- Elaborar modelo de explotación de máxima capacidad de cada escenario
- Obtener número total de surcos (espacio reservado para la circulación de un tren) y porcentajes de ocupación de cada escenario
- Comparar los resultados obtenidos en cada escenario

3. Infraestructura de referencia

Para el desarrollo del trabajo se ha diseñado una línea ferroviaria ficticia genérica, similar a lo que pueda existir en cualquier núcleo de cercanías de España, y que incluya variedad en su configuración, con tramos tanto de vía única como de vía doble, así como cizallamientos y diversidad en la carga de tráfico por secciones.

3.1. Línea principal

La línea principal conecta la estación A con la estación F, comprendiendo una distancia total de 35 kilómetros y tres estaciones intermedias, B, D y E. Estas estaciones se encuentran ubicadas en los siguientes puntos kilométricos:

- Estación A: punto kilométrico 0, a 20 metros de altura
- Estación B: punto kilométrico 8.5, a 25 metros de altura
- Estación D: punto kilométrico 15, a 35 metros de altura
- Estación E: punto kilométrico 25, a 100 metros de altura

- Estación F: punto kilométrico 35, a 150 metros de altura

3.2. Ramal

Adicionalmente, se ha incluido un ramal de 6 kilómetros que se inicia en el punto kilométrico 9 de la línea principal y finaliza en la estación C, situada a 15 metros de altura.

A continuación, se incluye un esquema de la infraestructura de referencia.

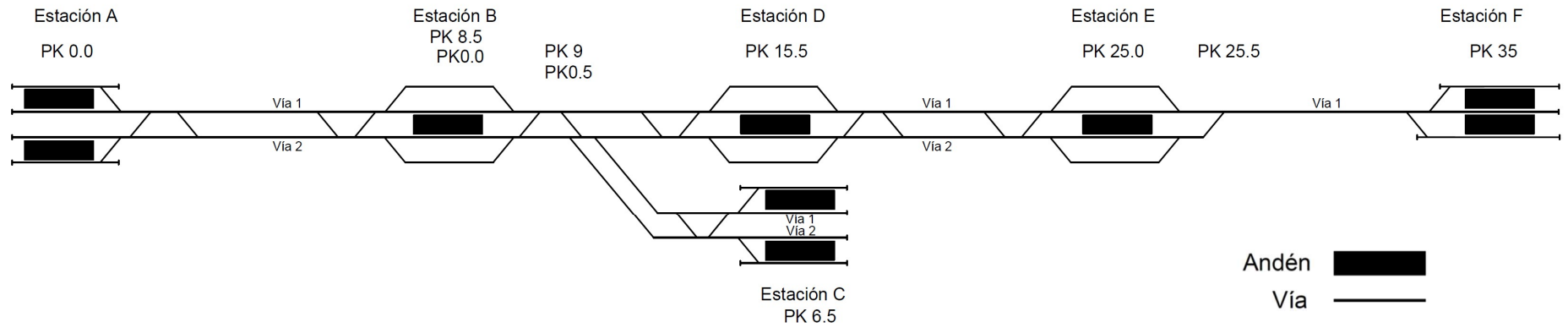


Figura 1: Infraestructura de referencia. Elaboración propia

Las características técnicas de la línea son las siguientes:

- Vía electrificada en su totalidad
- 31.5 km de vía doble (incluyendo ramal)
- 9.5 km de vía única
- Velocidad máxima de 120 km/h
- Velocidad de paso por vía desviada 50 km/h
- Rampa máxima 7 milésimas
- Sentido de circulación preferente por vía izquierda
- Sin pasos a nivel
- Dos vías de apartado por estación, una a cada lado de la/s vía/s general/es.
- Una bretelle (doble escape) en cada cabecera de estación para garantizar que, independientemente de la vía de origen, se pueda acceder a todas las vías.

4. Prognosis de tráfico

Para el desarrollo del análisis comparativo del impacto de la señalización ferroviaria en la capacidad de la línea indicada en el apartado anterior se han definido dos escenarios de tráfico.

En ambos escenarios se contemplan dos relaciones ferroviarias de cercanías, una entre A y F y la otra entre A y C.

Cabe destacar que todos los servicios cuentan con horarios cadenciados en su salida y efectúan parada comercial en todas las estaciones existentes en su trayecto.

A continuación, se detallan los escenarios considerados.

4.1. Escenario de tráfico 1

- 1 servicio por sentido a la hora en la relación entre A y F
- 1 servicio por sentido a la hora en la relación entre A y C

4.2. Escenario de tráfico 2

- 2 servicios por sentido a la hora en la relación entre A y F
- 2 servicios por sentido a la hora en la relación entre A y C

5. Marchas tipo. Tiempos de viaje

5.1. Marchas tipo

Para el desarrollo del modelo de explotación, necesario para el análisis del impacto de la señalización en la capacidad, en primer lugar, se deben calcular las marchas tipo que caracterizan los tráfico que circulan por la infraestructura objeto estudio. A partir de dichas marchas, se obtendrán los tiempos de viaje (marchas comerciales) para los diferentes tramos, los cuales servirán para la elaboración de la malla de circulación.

La determinación de las marchas tipo que caracterizarán los servicios ferroviarios se ha realizado a través de una aplicación específica de simulación ferroviaria (DPL Simultren). Para ello, se ha modelizado la infraestructura, caracterizado el material rodante y determinado las velocidades máximas de circulación.

5.1.1. Infraestructura

La infraestructura de referencia se ha detallado en el apartado 2 del presente documento.

Al tratarse de una línea ficticia genérica no se cuenta con alineaciones en planta, por lo que la única caracterización en este sentido es la limitación de velocidad máxima a 120 km/h por vía directa y 50 km/h por vía desviada.

En cuanto al alzado, se han considerado las estaciones a las alturas indicadas anteriormente, lo que resulta en las pendientes que se muestran en las siguientes imágenes.

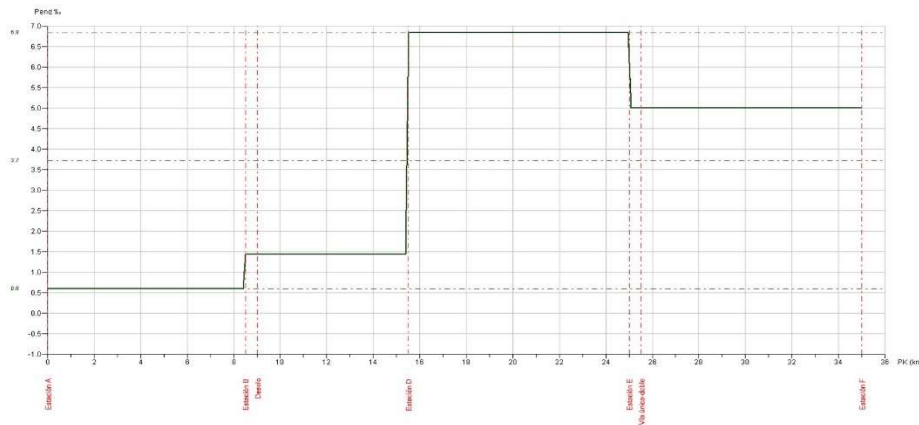


Figura 2: Pendiente línea principal. Fuente: Elaboración propia

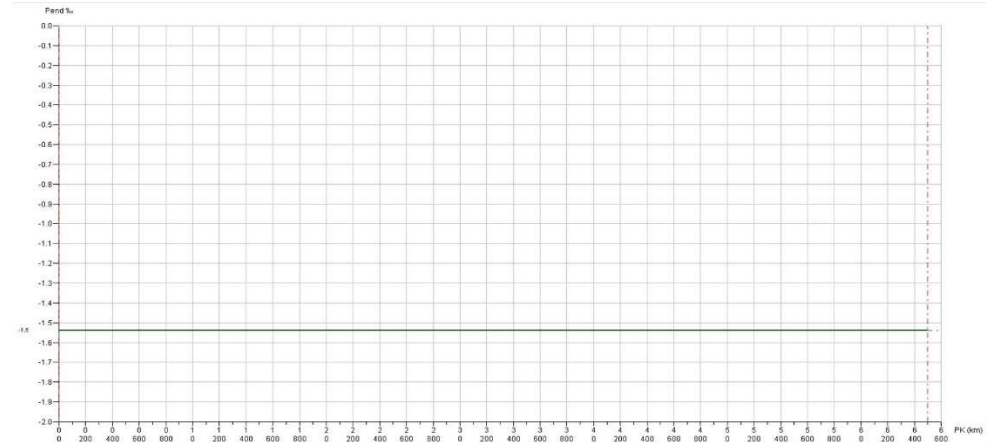


Figura 3: Pendiente ramal. Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Material rodante

Para el desarrollo del presente estudio se ha modelizado un tren tipo 120 A, similar a la serie 463 de Renfe, habitualmente utilizada para los servicios de Cercanías.

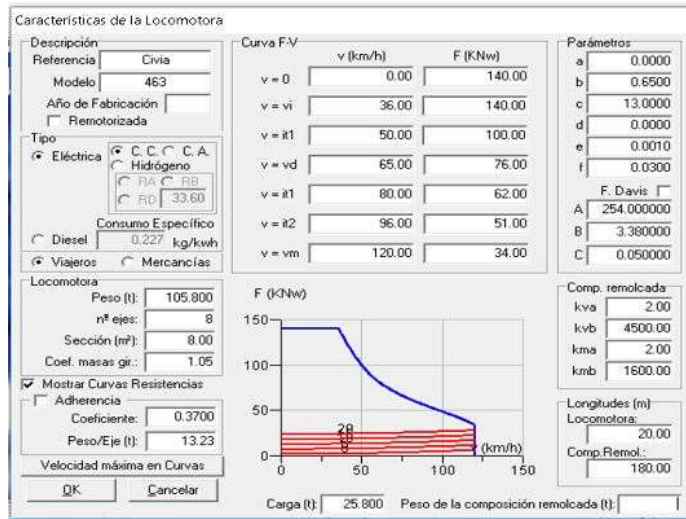


Figura 4: Características de la serie 463. Fuente: DPL Simultren

Además, se han considerado los siguientes parámetros:

- Aceleración: $0,6 \text{ m/s}^2$
- Deceleración de servicio: 1 m/s^2
- Deceleración máxima: $1,2 \text{ m/s}^2$
- Deceleración de urgencia: $1,3 \text{ m/s}^2$

Con todo esto, se han realizado las simulaciones, tanto en sentido de ida como en sentido de vuelta, entre A y F, para obtener los tiempos de viaje de la línea principal, y entre B y C, para obtener los tiempos de viaje del ramal. Las gráficas de velocidad se muestran a continuación.

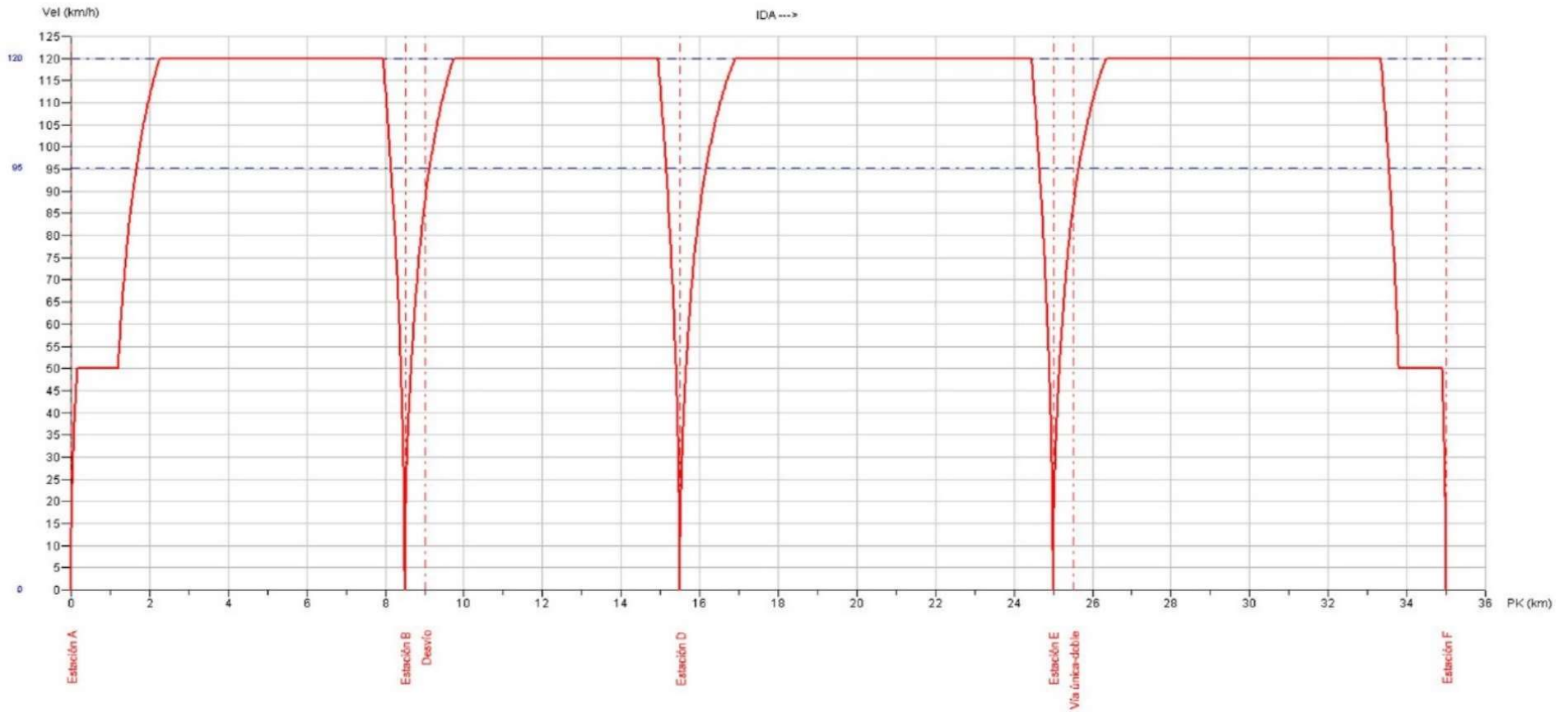


Figura 5: Simulación A – F sentido ida. Fuente: Elaboración propia

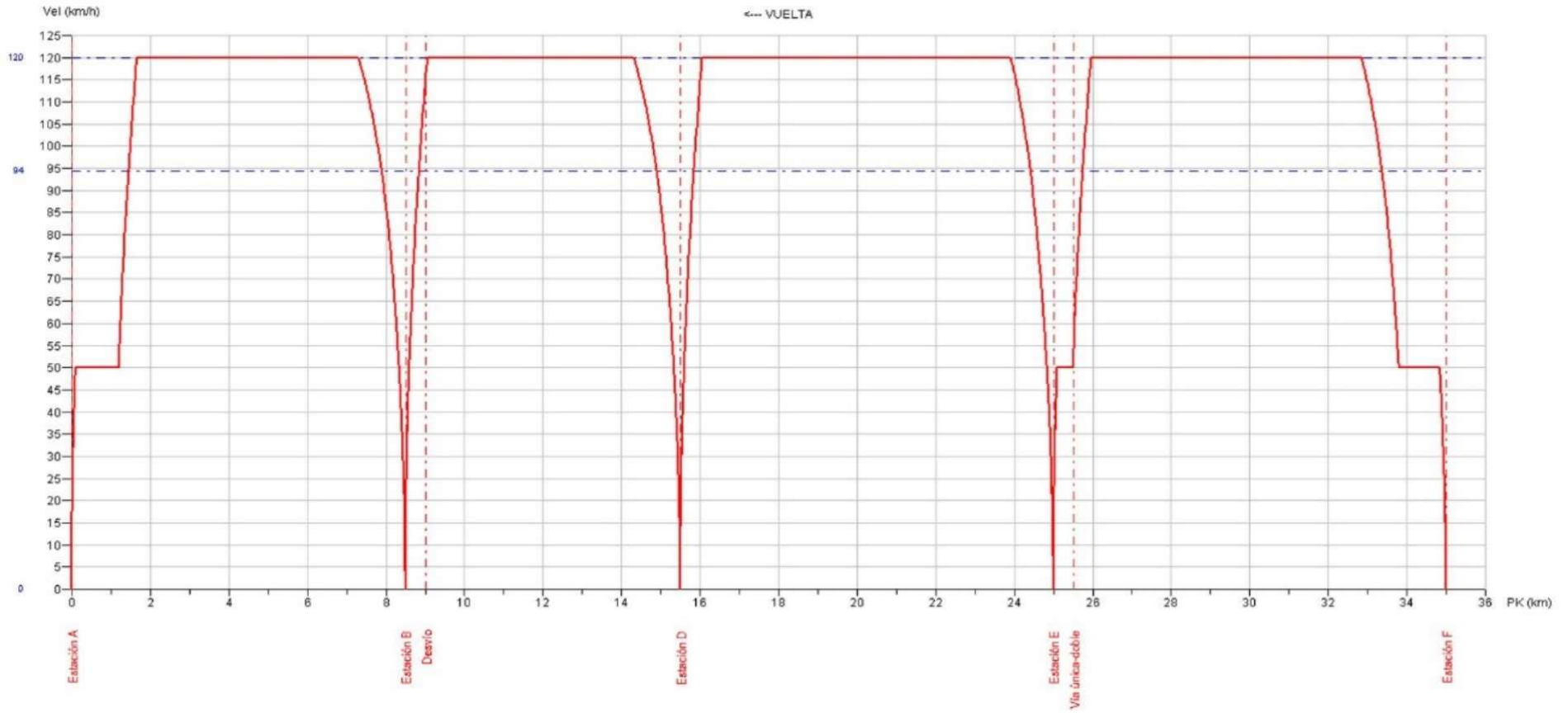


Figura 6: Simulación A - F sentido vuelta. Fuente: Elaboración propia

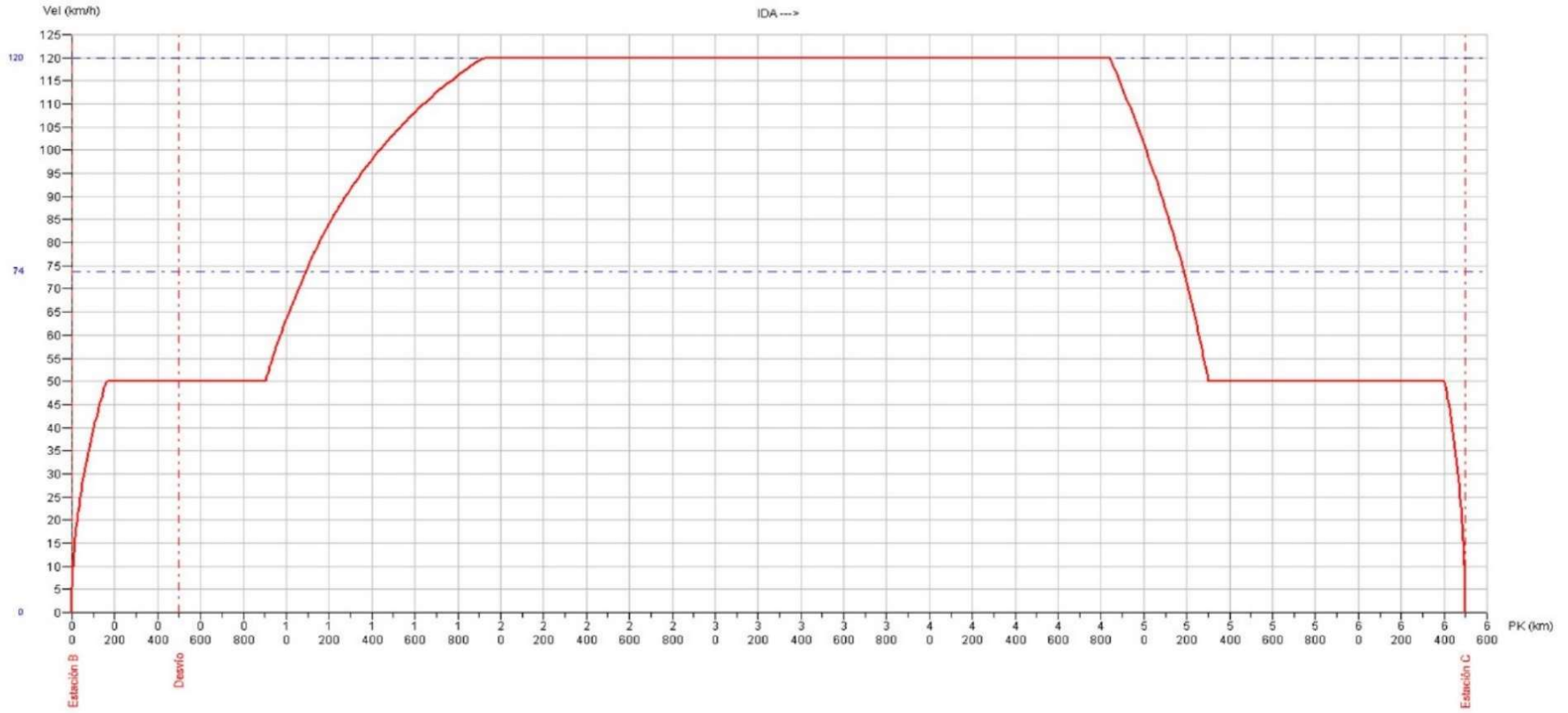


Figura 7: Simulación B - C sentido ida. Fuente: Elaboración propia

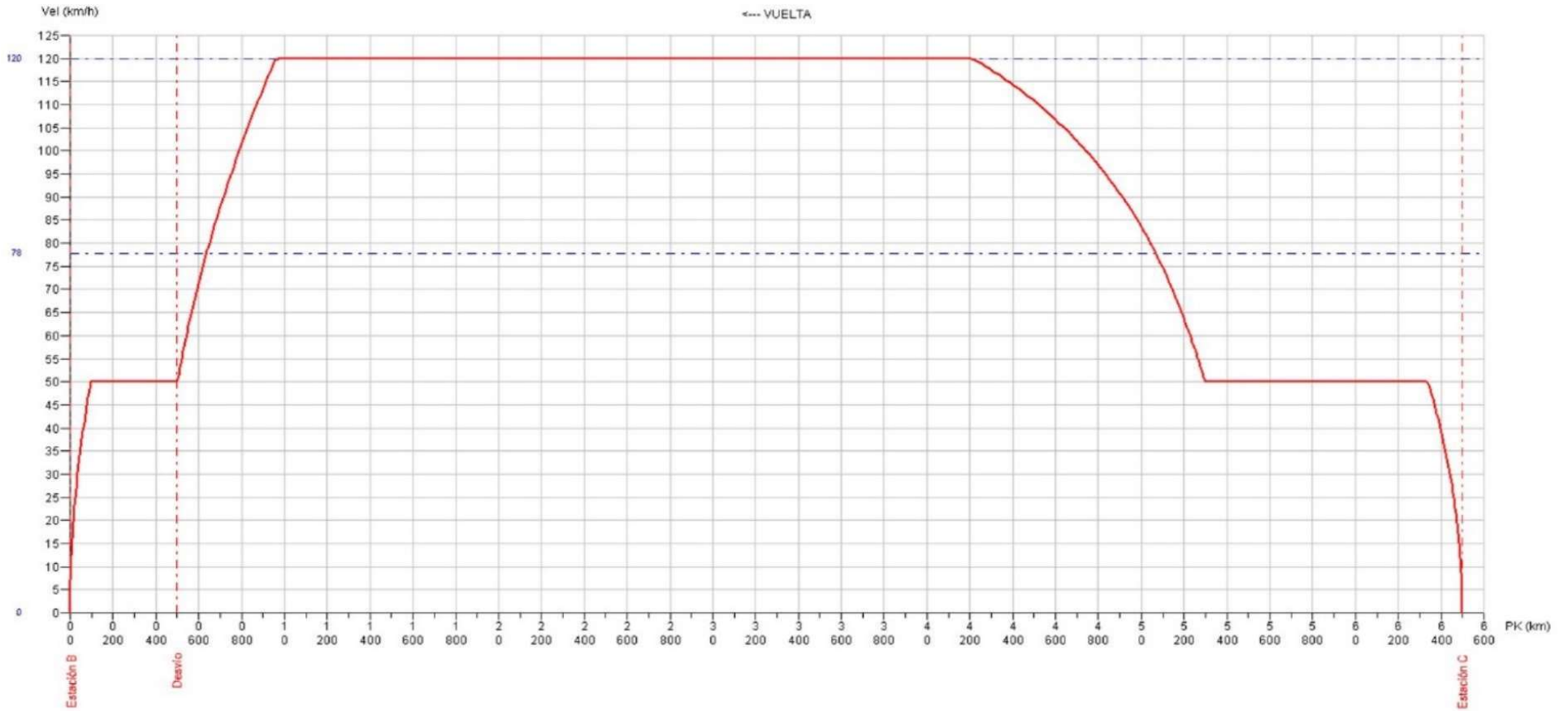


Figura 8: Simulación B - C sentido vuelta. Fuente: Elaboración propia

5.2. Tiempos de viaje

Una vez obtenidos los tiempos resultantes de la simulación, se han aplicado los márgenes de seguridad recogidos en la ficha 451_1 de la UIC “*Timetable recovery margins to guarantee timekeeping – Recovery margins*” para llegar a las marchas comerciales.

Los tiempos de viaje resultantes de la simulación, con la aplicación de los márgenes de seguridad, se recogen en las siguientes tablas.

s463	V _{máx} = 120 km/h	Tiempo simulación	Tiempo (seg)	Margen por tiempo	Margen por distancia	Tiempo total (seg)	Tiempo total	Tiempo concedido
Sentido ida	Estación A - Estación B	00:05:45	345	10	26	381	00:06:21	6
	Estación B - Desvío	00:00:41	41	1	2	44	00:00:44	1
	Desvío - Estación D	00:03:35	215	6	20	241	00:04:01	4
	Estación D - Estación E	00:05:33	333	10	29	372	00:06:12	6
	Estación E - Vía doble/única	00:00:41	41	1	2	44	00:00:44	1
	Vía doble/única - Estación F	00:05:51	351	11	29	391	00:06:31	7
	Estación A - Estación F	00:22:06	1326	39	108	1473	00:24:33	25
Sentido vuelta	Estación F - Vía doble/única	00:06:02	362	11	29	402	00:06:42	7
	Vía doble/única - Estación E	00:06:46	44	1	2	47	00:00:47	1
	Estación E - Estación D	00:12:16	330	10	29	369	00:06:09	6
	Estación D - Desvío	00:16:00	224	7	20	251	00:04:11	4
	Desvío - Estación B	00:16:32	32	1	2	35	00:00:35	1
	Estación B - Estación A	00:22:19	347	10	26	383	00:06:23	6
	Estación F - Estación A	00:22:19	1339	40	108	1487	00:24:47	25

Figura 9: Tiempos de viaje línea principal. Fuente: Elaboración propia

s463	V _{máx} = 120 km/h	Tiempo simulación	Tiempo (seg)	Margen por tiempo	Margen por distancia	Tiempo total (seg)	Tiempo total	Tiempo concedido
Sentido ida	Estación B - Desvío	00:00:48	48	1	2	51	00:00:51	1
	Desvío - Estación C	00:04:29	269	8	18	295	00:04:55	5
	Estación B - Estación C	00:05:17	317	9	20	346	00:05:46	6
Sentido vuelta	Estación C - Desvío	00:04:18	258	8	18	284	00:04:44	5
	Desvío - Estación B	00:05:00	42	1	2	45	00:00:45	1
	Estación C - Estación B	00:05:00	300	9	20	329	00:05:29	6

Figura 10: Tiempos de viaje ramal. Fuente: Elaboración propia

6. Escenario base

Este escenario es la base común a los dos escenarios de máxima capacidad que se analizarán más adelante. En él, únicamente se recogen las circulaciones programadas en los dos escenarios de tráfico recogidos anteriormente en el apartado correspondiente.

6.1. Intervalos mínimos en itinerarios concurrentes en un punto

En primer lugar, se muestran los intervalos mínimos en itinerarios concurrentes en un punto que serán comunes para los dos escenarios de señalización.

- Circulación de salida de la vía única en sentido A seguido de circulación de entrada en sentido F: 1 minuto y 28 segundos
- Circulación de entrada a la estación F seguido de circulación de salida de dicha estación: 1 minuto y 59 segundos
- Circulación de entrada al ramal seguida de circulación pasante por la línea principal hacia A: 1 minuto y 23 segundos.
- Circulación pasante por la línea principal hacia A seguida de entrada al ramal: 1 minuto y 25 segundos.

Cabe destacar que todos estos tiempos se han de redondear al minuto inmediatamente superior para introducirlos en la malla, por lo que quedan de la siguiente manera:

- Intervalo mínimo entre salida de la vía única y posterior entrada: 2 minutos.

- Intervalo mínimo entre entrada a F y salida de dicha estación: 2 minutos.
- Intervalo mínimo entre una entrada al ramal y una circulación pasante hacia A: 2 minutos.
- Intervalo mínimo entre una circulación pasante hacia A y una entrada al ramal: 2 minutos.

6.2. Cuadro de marchas

Una vez definidos los tráficos y los condicionantes a la circulación, se han desarrollado los cuadros de marchas correspondientes a cada uno de los escenarios de tráfico a analizar.

6.2.1. Escenario de tráfico 1

En este escenario hay una circulación por sentido a la hora en cada una de las dos relaciones ferroviarias existentes.

Las salidas de A con destino a F serán a las horas en punto, siendo la primera a las 6:00 y la última a las 23:00. Las salidas de F con destino a A seguirán el mismo patrón y horarios.

Por otra parte, las salidas de A con destino a C serán a las y 30 minutos, siendo la primera a las 6:30 y la última a las 23:30. Las salidas de C con destino a A seguirán el mismo patrón y horarios.

A continuación, se muestran las mallas de circulación tanto de la línea principal como del ramal.

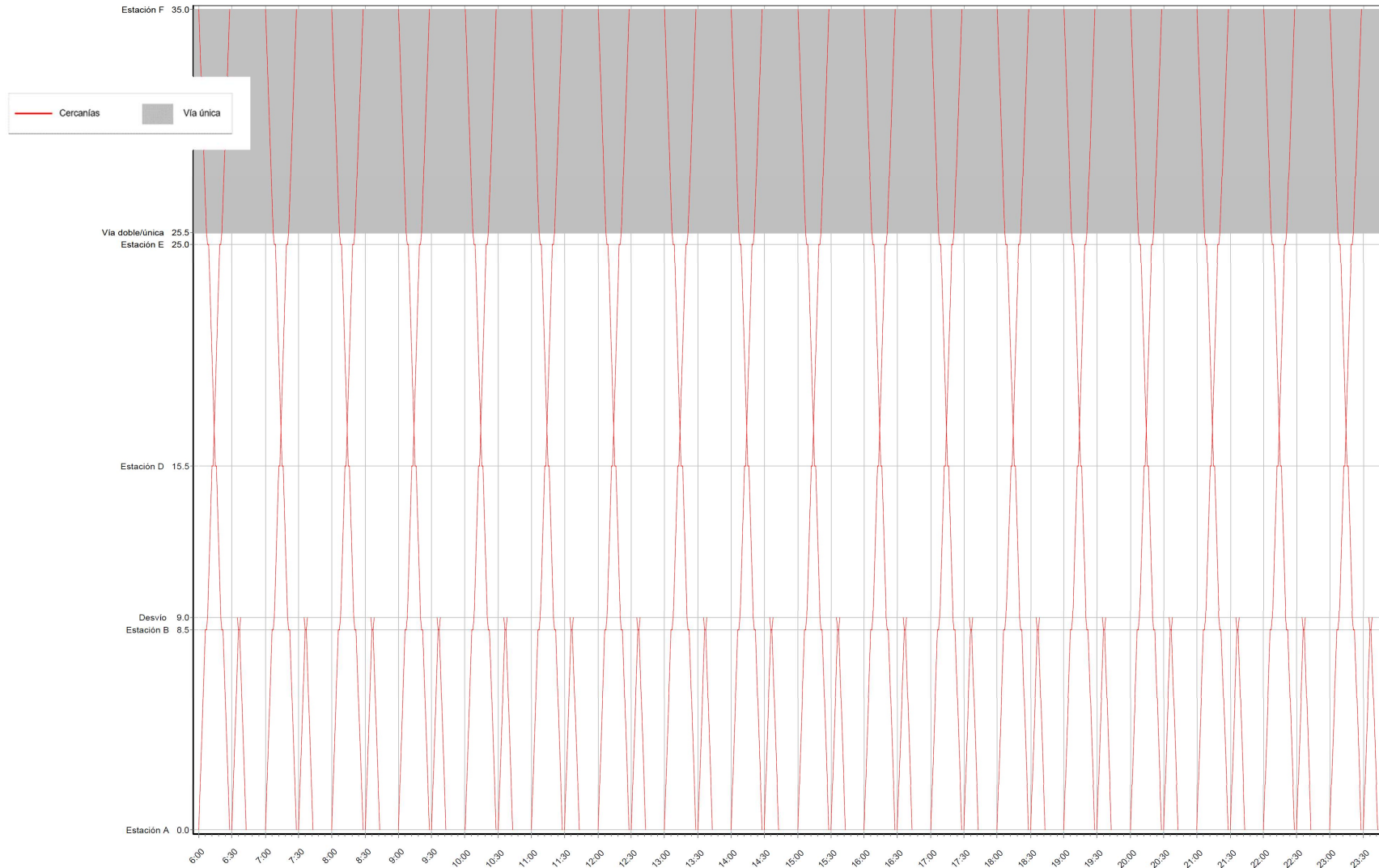


Figura 11: Malla de circulación base línea principal escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia

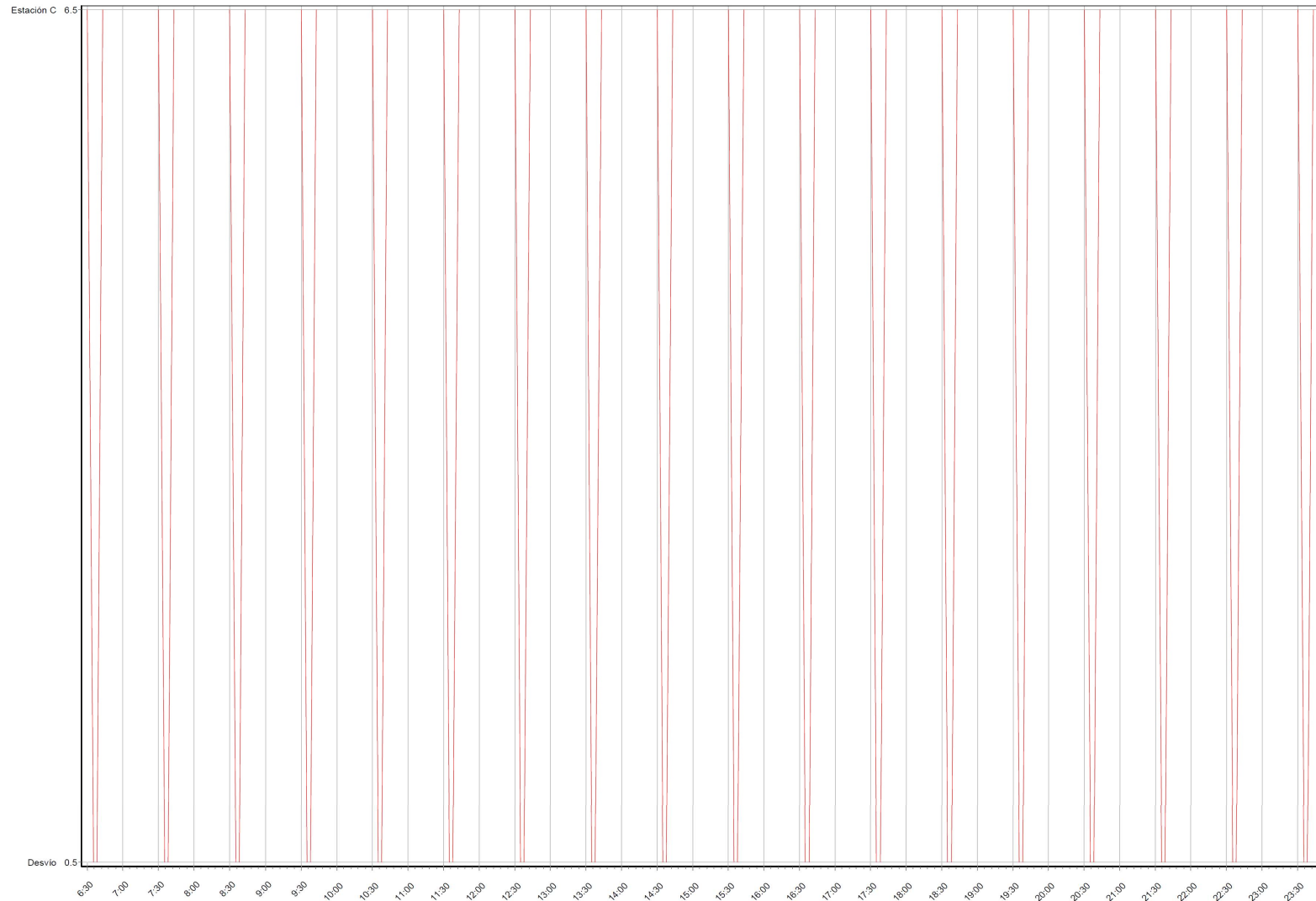


Figura 12: Malla de circulación base ramal escenario de tráficos 1. Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Escenario de tráfico 2

En este escenario hay dos circulaciones por sentido a la hora en cada una de las dos relaciones ferroviarias existentes.

Las salidas de A con destino a F serán a las horas en punto y a las y 30 minutos, siendo la primera a las 6:00 y la última a las 23:30. Las salidas de F con destino a A seguirán el mismo patrón y horarios.

Por otra parte, las salidas de A con destino a C serán a las y 15 minutos y a las y 45 minutos, siendo la primera a las 6:15 y la última a las 23:45. Las salidas de C con destino a A serán a las horas en punto y a las y 30 minutos, siendo la primera salida a las 6:00 y la última a las 23:30.

A continuación, se muestran las mallas de circulación tanto de la línea principal como del ramal.

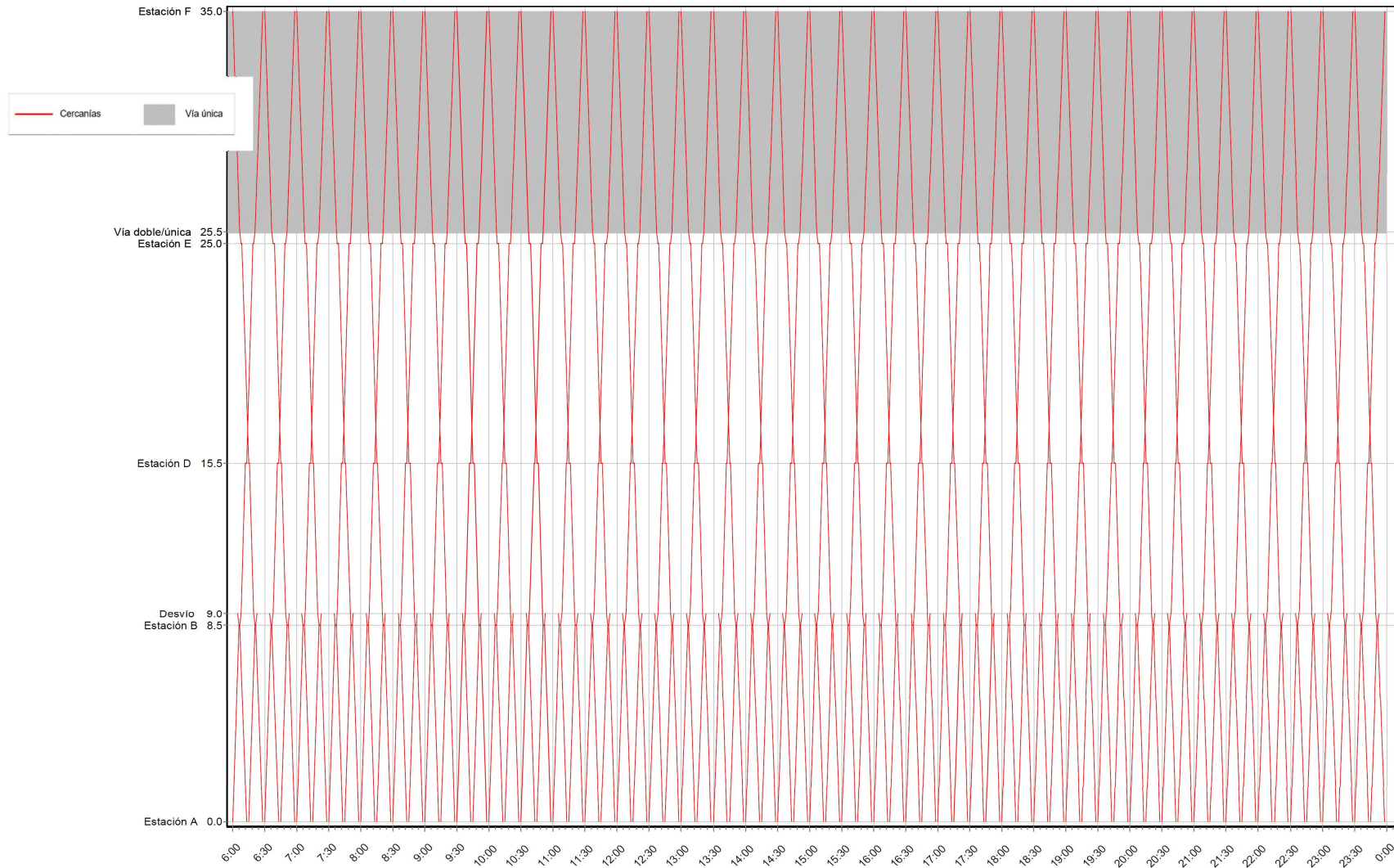


Figura 13: Malla de circulación base línea principal escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia

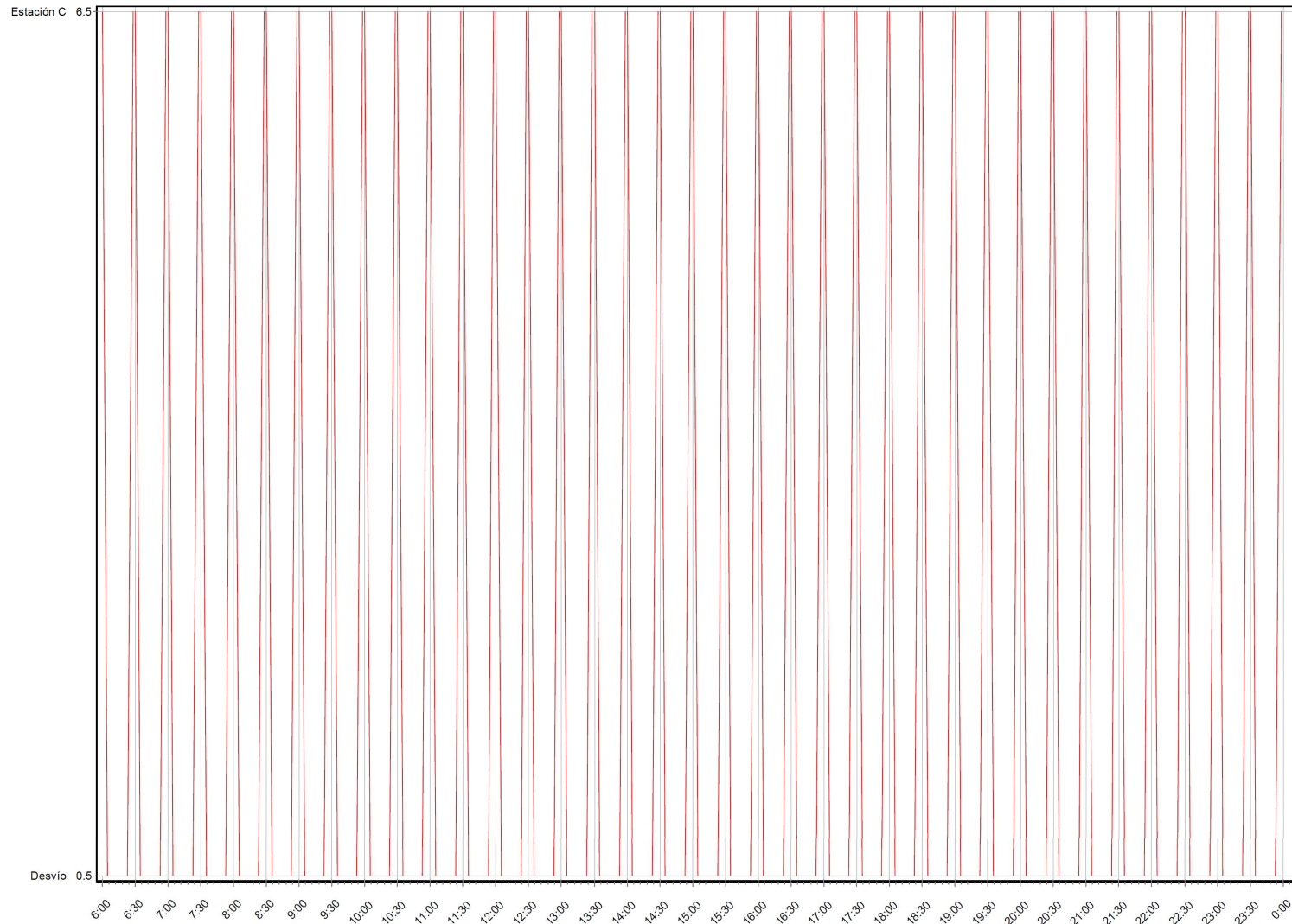


Figura 14: Malla de circulación ramal escenario de tráficos 2. Fuente: Elaboración propia.

7. Escenario inicial de señalización

Este primer escenario cuenta con un sistema de señalización tradicional con bloqueo de liberación automática y presencia de señalización horizontal dotada de balizas para su lectura por parte del tren.

Cada señal protegerá un único circuito de vía, por lo que en el espacio comprendido entre dos señales nunca podrá haber más de un tren situado.

Todas las señales contarán con tres aspectos:

- Verde: vía libre
- Amarillo: anuncio de parada
- Rojo: parada

Asumiendo que existe distancia de frenado suficiente entre todas las señales, si una señal muestra el aspecto rojo, la inmediatamente anterior estará en amarillo y la anterior a esta estará en verde.

7.1. Infraestructura

A continuación, se incluye un esquema de la infraestructura de referencia con la señalización considerada para el presente escenario.

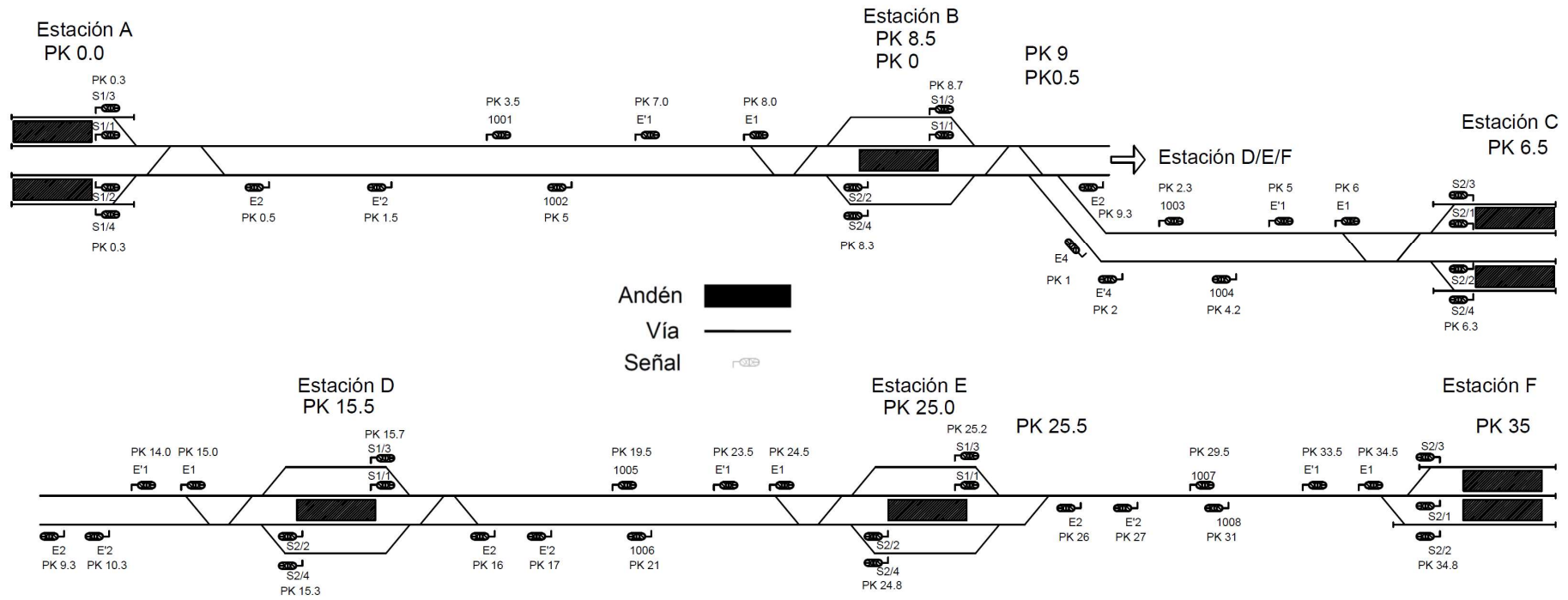


Figura 15: Esquema de infraestructura del escenario 1 de señalización. Fuente: Elaboración propia

7.2. Intervalos mínimos entre circulaciones

Para poder elaborar el modelo de explotación de este escenario de señalización y su consecuente cuadro de marchas de máxima capacidad, es necesario conocer el intervalo de tiempo mínimo entre circulaciones consecutivas en el mismo sentido de circulación en los diferentes tramos de línea. Para ello, se han utilizado las simulaciones realizadas para el cálculo de los tiempos de viaje.

- Intervalo mínimo entre A y B: 5 minutos y 18 segundos en sentido ida y 4 minutos y 38 segundos en sentido vuelta.
- Intervalo mínimo entre B y D: 4 minutos y 21 segundos en sentido ida y 4 minutos y 11 segundos en sentido vuelta.
- Intervalo mínimo entre D y E: 5 minutos y 06 segundos en sentido ida y 5 minutos y 04 segundos en sentido vuelta.
- Intervalo mínimo entre E y F: 5 minutos y 25 segundos en sentido ida y 5 minutos y 48 segundos en sentido vuelta.
- Intervalo mínimo entre B y C: 4:09 en sentido ida y 4:04 en sentido vuelta.

En el Anexo 1: Intervalos mínimos entre circulaciones, se muestra el detalle del cálculo de todos los intervalos mínimos.

Estos tiempos se redondean al minuto inmediatamente superior y se tomará el tramo más restrictivo como referencia, por lo que se establece que en este escenario el intervalo mínimo entre circulaciones consecutivas en el mismo sentido es de 6 minutos.

7.3. Escenario de máxima capacidad

En este apartado se calcula la capacidad máxima disponible en la línea objeto de estudio. Para ello, a partir de la malla base se ha determinado el máximo número de surcos que podrán ser utilizados por trenes de cercanías en aquellos intervalos horarios en los que no

se presenten circulaciones programadas. En este sentido, la estructura horaria de los tráficos programados en el modelo de explotación base, anteriormente detallado, así como el número de circulaciones previstas, se ha mantenido fija.

7.3.1. Escenario de tráfico 1

En este escenario de tráfico se han introducido un total de 260 surcos adicionales, repartidos de la siguiente manera:

- Relación A - F: 71 surcos en sentido ida y 52 en sentido vuelta.
- Relación A - C: 69 surcos en sentido ida y 68 en sentido vuelta.

A continuación, se incluyen las mallas de circulación saturadas.

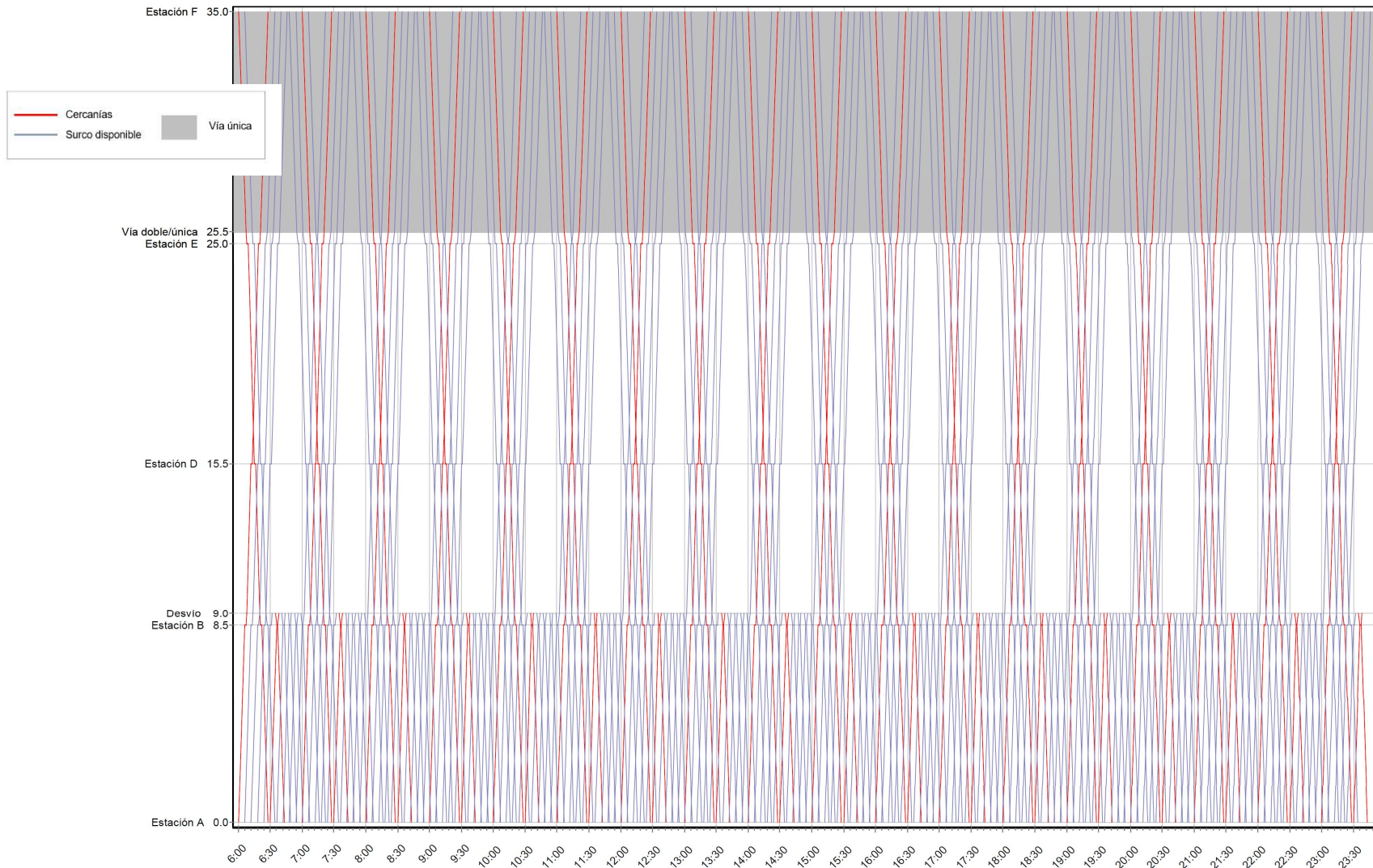


Figura 16: Malla de circulación de máxima capacidad. Línea principal, escenario base de señalización, escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia

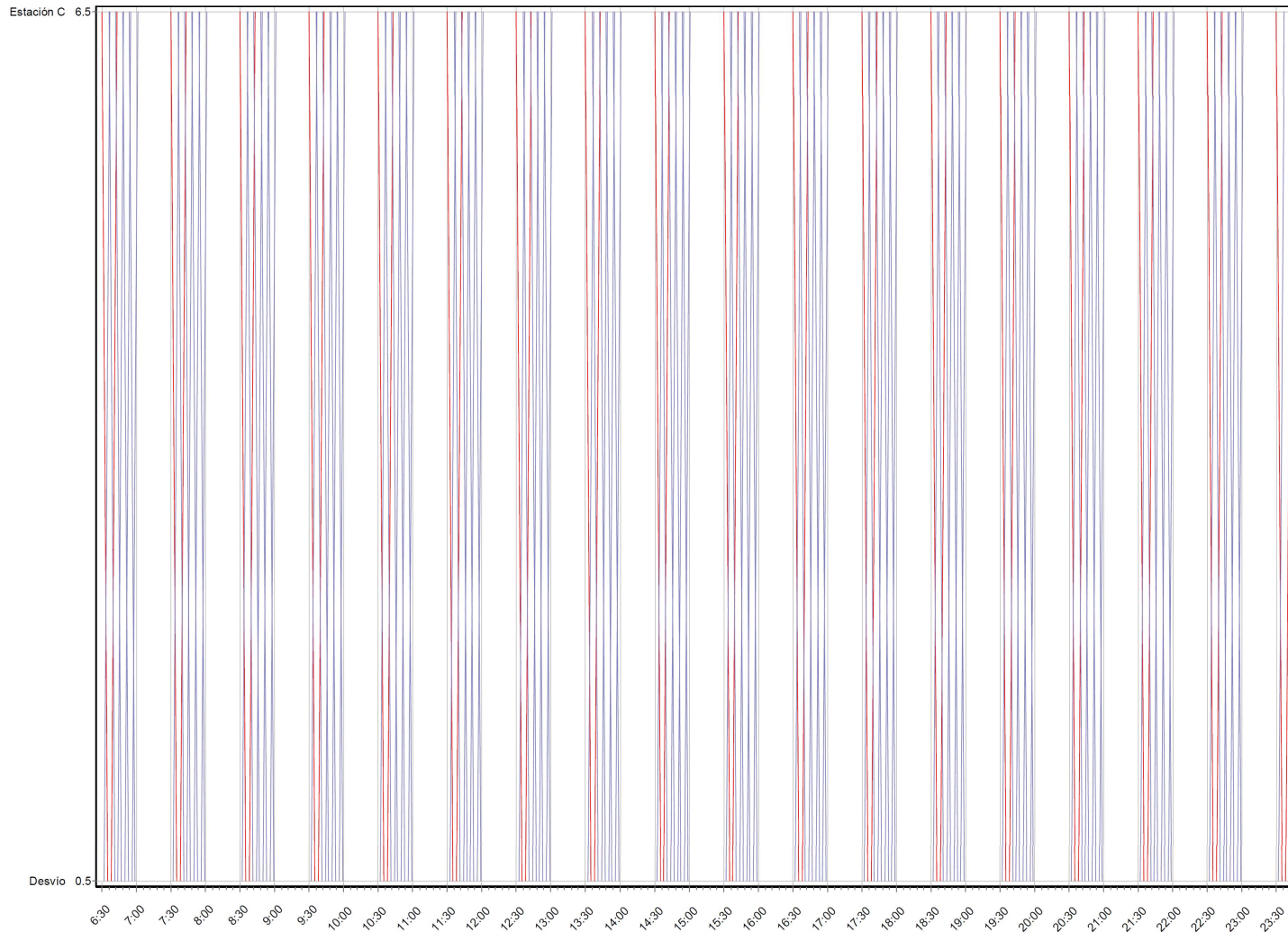


Figura 17: Malla de circulación de máxima capacidad. Ramal, escenario base de señalización, escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia

7.3.2. Escenario de tráfico 2

En este escenario de tráfico se han introducido un total de 142 surcos adicionales, repartidos de la siguiente manera:

- Relación A - F: 35 surcos en sentido ida y 35 en sentido vuelta.
- Relación A – C: 35 surcos en sentido ida y 35 en sentido vuelta.

A continuación, se incluyen las mallas de circulación saturadas.

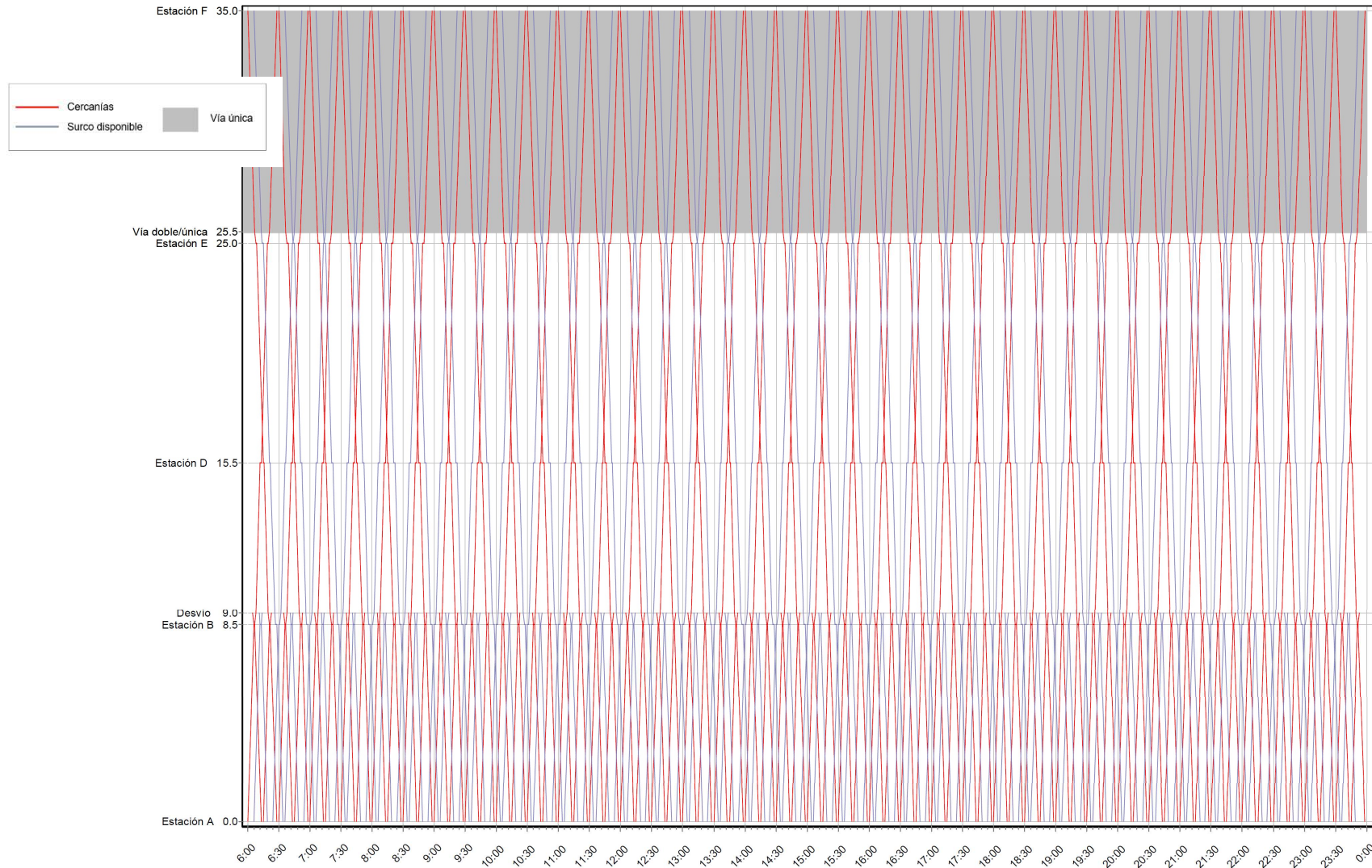


Figura 18: Malla de circulación de máxima capacidad. Línea principal, escenario base de señalización, escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia

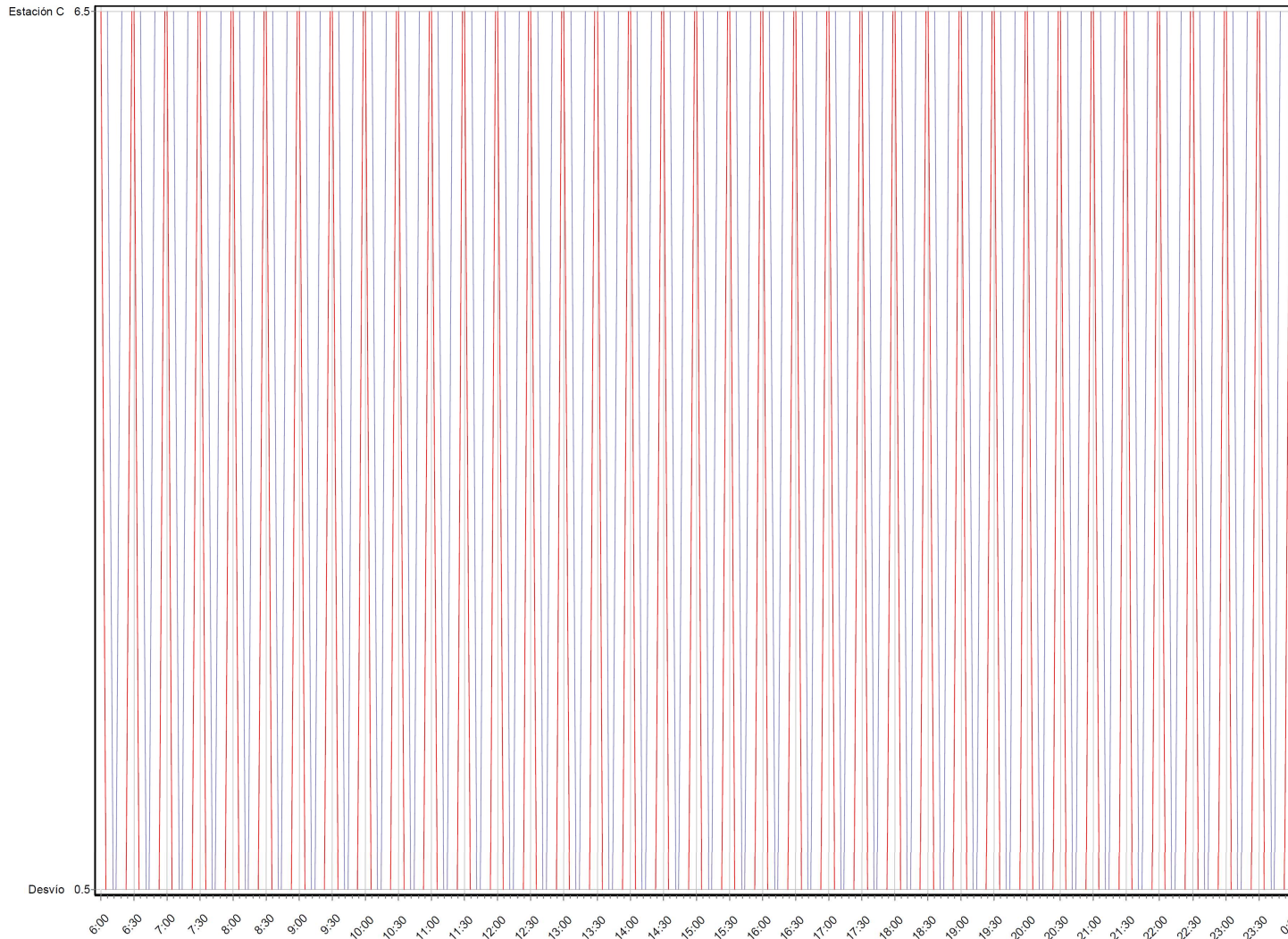


Figura 19: Malla de circulación de máxima capacidad. Ramal, escenario base de señalización, escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia

7.3.3. Niveles de ocupación

Una vez definidos los surcos disponibles adicionales, se ha puesto en comparación la reserva de capacidad global con las circulaciones programadas previstas con el fin de obtener los niveles de ocupación.

Dichos niveles se han determinado para los tres tramos que caracterizan la línea objeto de estudio tanto de manera global como para los diferentes intervalos horarios dentro del periodo de prestación de servicios comerciales.

7.3.3.1. Escenario de tráfico 1

7.3.3.1.1. Niveles de ocupación global por secciones

En las siguientes tablas se relacionan los surcos utilizados por las circulaciones previstas en el escenario base, los surcos adicionales disponibles, los surcos totales y los niveles de saturación (cociente entre las circulaciones previstas y los surcos totales), para las distintas secciones constitutivas de la línea objeto de estudio tanto de manera global como de forma particularizada por sentido de circulación.

Tramo	Sentido ida			
	Circulaciones	Surcos adicionales	Surcos totales	% Ocup
A - Desvío	72	260	332	22%
Desvío - F	36	123	159	23%
Ramal	36	137	173	21%

Figura 20: Niveles de ocupación por secciones sentido ida. Fuente: Elaboración propia.

Tramo	Sentido vuelta			
	Circulaciones	Surcos adicionales	Surcos totales	% Ocup
A - Desvío	36	120	156	23%
Desvío - F	18	52	70	26%
Ramal	18	68	86	21%

Figura 21: Niveles de ocupación por secciones sentido vuelta. Fuente: Elaboración propia.

Tramo	Totales			
	Circulaciones	Surcos adicionales	Surcos totales	% Ocup
A - Desvío	72	260	332	22%
Desvío - F	36	123	159	23%
Ramal	36	137	173	21%

Figura 22: Niveles de ocupación totales por secciones. Fuente: Elaboración propia.

De forma gráfica, se muestra a continuación el número de surcos totales existente en cada tramo, el número de surcos adicionales disponibles, las circulaciones previstas y los porcentajes de saturación; los valores contemplan los dos sentidos de circulación.

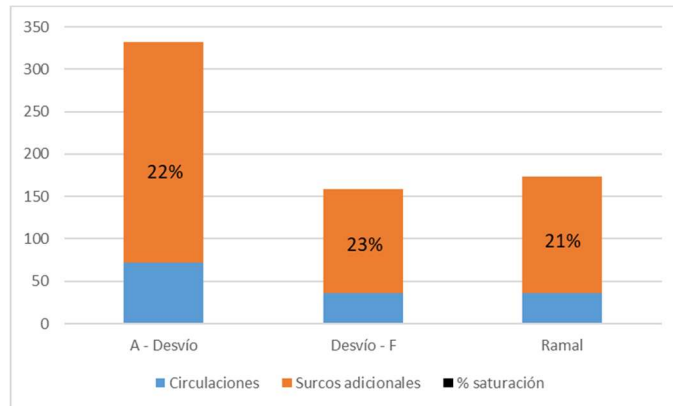


Figura 23: Representación gráfica de los niveles de las circulaciones programadas, adicionales y los niveles de saturación por secciones. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran niveles de saturación bajos, en torno al 20%, lo que indica que existe un gran margen para la introducción de nuevas circulaciones programadas y la gestión de incidencias y retrasos, algo dentro de lo normal tratándose de una línea exclusiva para una única tipología de servicio y con un número de circulaciones programadas muy contenido (1 tren a la hora por relación ferroviaria).

7.3.3.1.2. Niveles de ocupación por franjas horarias

En este apartado se ha puesto en comparación la capacidad disponible con la oferta de servicios prevista, categorizado en franjas horarias para tres puntos de referencia que representan las tres secciones de la línea objeto de estudio.

En primer lugar, se ha contabilizado el total de surcos disponibles en función del sentido de circulación e intervalo temporal de 3 horas,

exceptuando de 0h a 6h, periodo destinado a las labores de mantenimiento de la infraestructura.

Después, se ha puesto en comparación el número de circulaciones previstas en cada intervalo horario con los surcos disponibles contabilizados anteriormente, obteniendo así los niveles de saturación.

Los puntos de referencia considerados han sido los siguientes:

- Estación B: caracteriza la sección comprendida entre A y el desvío del ramal.
- Estación E: caracteriza la sección comprendida entre el desvío del ramal y F.
- Estación C: caracteriza el ramal.

A continuación, se presentan los cuadros en los que se relaciona la capacidad disponible, los tráficos programados y los niveles de saturación para cada una de las secciones.

CUPOS DE SURCOS POR TIPOS DE TRÁFICOS
Punto de referencia: Estación B

Sentido: IDA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				6	6	6	6	6	6	36
Adicional				23	24	24	24	24	21	140
Total	BM	BM		29	30	30	30	30	27	176

Sentido: VUELTA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				6	6	6	6	6	6	36
Adicional				18	21	21	21	21	18	120
Total	BM	BM		24	27	27	27	27	24	156

TRÁFICO PROGRAMADO (ESCENARIO DE MÁXIMA CAPACIDAD)

Sentido: IDA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Total								6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36
Nivel saturación	BM	BM						21%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	

Sentido: VUELTA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Total								6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36
Nivel saturación	BM	BM						25%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	23%	

Nivel verde <25%. Tráfico bajo, sin problemas de saturación
Nivel amarillo 25-50%. Tráfico normal, sin problemas de saturación
Nivel naranja 50-75%. Tráfico alto, con problemas puntuales de saturación
Nivel rojo >75%. Tráfico muy alto, con problemas sistemáticos de saturación, alcanzando puntualmente la congestión.
 BM Banda de mantenimiento

Figura 24: Cupo de surcos en Estación B. Fuente: Elaboración propia.

CUPOS DE SURCOS POR TIPOS DE TRÁFICOS
Punto de referencia: Estación E

Sentido: IDA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				3	3	3	3	3	3	18
Adicional				11	12	12	12	12	12	71
Total	BM	BM		14	15	15	15	15	15	89

Sentido: VUELTA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				3	3	3	3	3	3	18
Adicional				8	9	9	9	9	8	52
Total	BM	BM		11	12	12	12	12	11	70

TRÁFICO PROGRAMADO (ESCENARIO DE MÁXIMA CAPACIDAD)

Sentido: IDA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
Total								3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	18
Nivel saturación	BM	BM						21%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	

Sentido: VUELTA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
Total								3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	18
Nivel saturación	BM	BM						27%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	27%	26%		

Nivel verde <25%. Tráfico bajo, sin problemas de saturación
Nivel amarillo 25-50%. Tráfico normal, sin problemas de saturación
Nivel naranja 50-75%. Tráfico alto, con problemas puntuales de saturación
Nivel rojo >75%. Tráfico muy alto, con problemas sistemáticos de saturación, alcanzando puntualmente la congestión.
 BM Banda de mantenimiento

Figura 25: Cupo de surcos en Estación E. Fuente: Elaboración propia.

CUPOS DE SURCOS POR TIPOS DE TRÁFICOS																										
Punto de referencia: Estación C																										
Sentido: IDA																										
	0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total																	
Cercanías			3	3	3	3	3	3	18																	
Adicional			11	12	12	12	12	10	69																	
Total	BM	BM	14	15	15	15	15	13	87																	
Sentido: VUELTA																										
	0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total																	
Cercanías			3	3	3	3	3	3	18																	
Adicional			12	12	12	12	12	8	68																	
Total	BM	BM	15	15	15	15	15	11	86																	
TRÁFICO PROGRAMADO (ESCENARIO DE MÁXIMA CAPACIDAD)																										
Sentido: IDA																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
Total						3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	18
Nivel saturación	BM	BM				21%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	23%	23%	23%	23%	21%
Sentido: VUELTA																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
Total						3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	18
Nivel saturación	BM	BM				20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	27%	27%	27%	27%	21%

■ Nivel verde <25%. Tráfico bajo, sin problemas de saturación
■ Nivel amarillo 25-50%. Tráfico normal, sin problemas de saturación
■ Nivel naranja 50-75%. Tráfico alto, con problemas puntuales de saturación
■ Nivel rojo >75%. Tráfico muy alto, con problemas sistemáticos de saturación, alcanzando puntualmente la congestión.
 BM Banda de mantenimiento

Figura 26: Cupo de surcos en Estación C. Fuente: Elaboración propia.

7.3.3.2. Escenario de tráfico 2

7.3.3.2.1. Niveles de ocupación global por secciones

Del mismo modo que en el apartado correspondiente al escenario de tráfico 1, en las siguientes tablas se relacionan los surcos utilizados por las circulaciones previstas en el escenario base, los surcos adicionales disponibles, los surcos totales y los niveles de saturación para las distintas secciones de la línea, tanto de manera global como de forma particularizada por sentido de circulación.

Tramo	Sentido ida			
	Circulaciones	Surcos adicionales	Surcos totales	% Ocup
A - Desvío	72	71	143	50%
Desvío - F	36	35	71	51%
Ramal	36	36	72	50%

Figura 27: Niveles de ocupación por secciones sentido ida. Fuente: Elaboración propia.

Tramo	Sentido vuelta			
	Circulaciones	Surcos adicionales	Surcos totales	% Ocup
A - Desvío	72	71	143	50%
Desvío - F	36	35	71	51%
Ramal	36	36	72	50%

Figura 28: Niveles de ocupación por secciones sentido vuelta. Fuente: Elaboración propia.

Tramo	Totales			
	Circulaciones	Surcos adicionales	Surcos totales	% Ocup
A - Desvío	144	142	286	50%
Desvío - F	72	70	142	51%
Ramal	72	72	144	50%

Figura 29: Niveles de ocupación totales por secciones. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra de forma gráfica el número de surcos totales existente en cada tramo, el número de surcos adicionales disponibles, las circulaciones previstas y los porcentajes de saturación; los valores contemplan los dos sentidos de circulación.

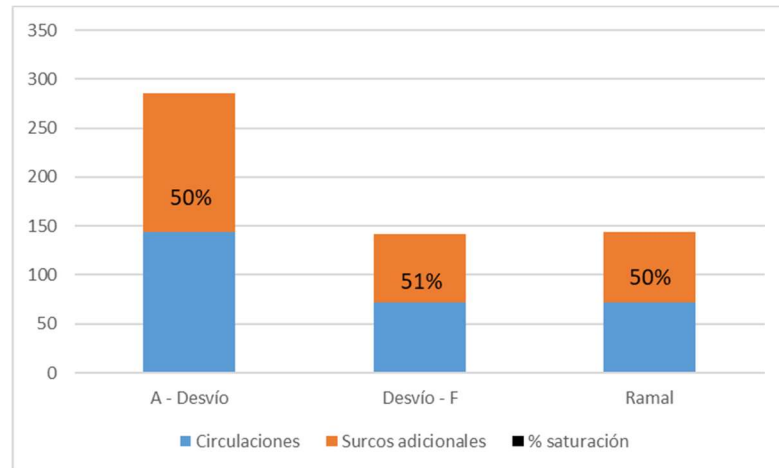


Figura 30: Representación gráfica de los niveles de las circulaciones programadas, adicionales y los niveles de saturación por secciones. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran niveles de saturación en torno al 50%, lo que muestra que aún existe margen para la introducción de nuevas circulaciones programadas y la gestión de incidencias y retrasos.

7.3.3.2.2. Niveles de ocupación por franjas horarias

En este apartado se ha puesto en comparación la capacidad disponible con la oferta de servicios prevista, categorizado en franjas horarias para tres puntos de referencia que representan las tres secciones de la línea objeto de estudio.

La metodología seguida ha sido la misma que la indicada en el apartado 6.3.3.1.2, para el escenario de tráficos 1.

Los puntos de referencia considerados, del mismo modo que en el escenario anterior, han sido los siguientes:

- Estación B: caracteriza la sección comprendida entre A y el desvío del ramal.
- Estación E: caracteriza la sección comprendida entre el desvío del ramal y F.
- Estación C: caracteriza el ramal.

A continuación, se presentan los cuadros en los que se relaciona la capacidad disponible, los tráficos programados y los niveles de saturación para cada una de las secciones.

CUPOS DE SURCOS POR TIPOS DE TRÁFICOS
Punto de referencia: Estación B

Sentido: IDA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				12	12	12	12	12	12	72
Adicional				11	12	12	12	12	12	71
Total	BM	BM		23	24	24	24	24	24	143

Sentido: VUELTA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				12	12	12	12	12	12	72
Adicional				12	12	12	12	12	11	71
Total	BM	BM		24	24	24	24	24	23	143

TRÁFICO PROGRAMADO (ESCENARIO DE MÁXIMA CAPACIDAD)

Sentido: IDA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	72
Total								12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	72
Nivel saturación	BM	BM						52%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%

Sentido: VUELTA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	72
Total								12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	72
Nivel saturación	BM	BM						50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%

Nivel verde <25%. Tráfico bajo, sin problemas de saturación
Nivel amarillo 25-50%. Tráfico normal, sin problemas de saturación
Nivel naranja 50-75%. Tráfico alto, con problemas puntuales de saturación
Nivel rojo >75%. Tráfico muy alto, con problemas sistemáticos de saturación, alcanzando puntualmente la congestión.
 BM Banda de mantenimiento

Figura 31: Cupo de surcos en Estación B. Fuente: Elaboración propia.

CUPOS DE SURCOS POR TIPOS DE TRÁFICOS
Punto de referencia: Estación E

Sentido: IDA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				6	6	6	6	6	6	36
Adicional				5	6	6	6	6	6	35
Total	BM	BM		11	12	12	12	12	12	71

Sentido: VUELTA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				6	6	6	6	6	6	36
Adicional				6	6	6	6	6	5	35
Total	BM	BM		12	12	12	12	12	11	71

TRÁFICO PROGRAMADO (ESCENARIO DE MÁXIMA CAPACIDAD)

Sentido: IDA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Total								6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36
Nivel saturación	BM	BM						55%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	51%

Sentido: VUELTA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Total								6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36
Nivel saturación	BM	BM						50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	51%

Nivel verde <25%. Tráfico bajo, sin problemas de saturación
Nivel amarillo 25-50%. Tráfico normal, sin problemas de saturación
Nivel naranja 50-75%. Tráfico alto, con problemas puntuales de saturación
Nivel rojo >75%. Tráfico muy alto, con problemas sistemáticos de saturación, alcanzando puntualmente la congestión.
 BM Banda de mantenimiento

Figura 32: Cupo de surcos en Estación E. Fuente: Elaboración propia.

CUPOS DE SURCOS POR TIPOS DE TRÁFICOS
Punto de referencia: Estación C

Sentido: IDA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				6	6	6	6	6	6	36
Adicional				6	6	6	6	6	6	36
Total	BM	BM		12	12	12	12	12	12	72

Sentido: VUELTA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				6	6	6	6	6	6	36
Adicional				6	6	6	6	6	6	36
Total	BM	BM		12	12	12	12	12	12	72

TRÁFICO PROGRAMADO (ESCENARIO DE MÁXIMA CAPACIDAD)

Sentido: IDA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Total								6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36	
Nivel saturación	BM	BM		50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	

Sentido: VUELTA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Total								6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36	
Nivel saturación	BM	BM		50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	

Nivel verde <25%. Tráfico bajo, sin problemas de saturación
Nivel amarillo 25-50%. Tráfico normal, sin problemas de saturación
Nivel naranja 50-75%. Tráfico alto, con problemas puntuales de saturación
Nivel rojo >75%. Tráfico muy alto, con problemas sistemáticos de saturación, alcanzando puntualmente la congestión.
 BM Banda de mantenimiento

Figura 33: Cupo de surcos en Estación C. Fuente: Elaboración propia.

8. Escenario de señalización mejorado

En este segundo escenario se asumirá la existencia de un sistema de señalización avanzado con características equivalentes a un sistema ETCS nivel 3 que no cuenta con señalización lateral, ni circuitos de vía, ni contadores de eje, sino que se basa en el uso de cantones móviles. Esto permitirá que los intervalos mínimos entre

circulaciones consecutivas en el mismo sentido de circulación sean mucho más reducidos que en un sistema tradicional como el analizado anteriormente, ya que se reducen prácticamente a la distancia de frenado del tren.

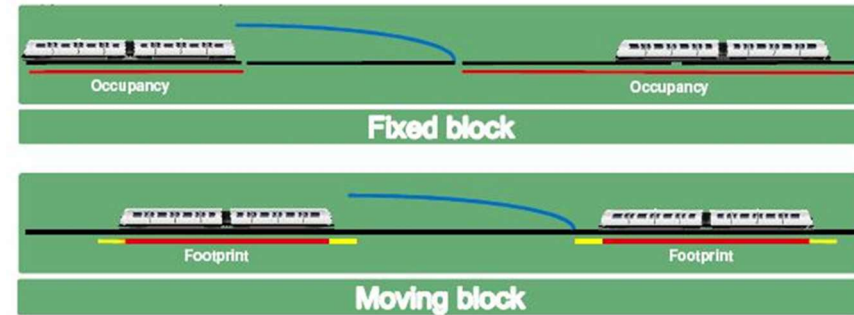


Figura 34: Comparación cantón fijo y cantón móvil. Fuente: Wikipedia

En el Anexo 2 se encuentra información más detallada acerca de los distintos niveles de señalización ETCS.

8.1. Infraestructura

La infraestructura será la misma que en el escenario anterior con la particularidad de que, en este caso, no habrá señalización lateral, todas las indicaciones aparecerán directamente en cabina.

A continuación, se incluye un esquema de la infraestructura de a modo de recordatorio.

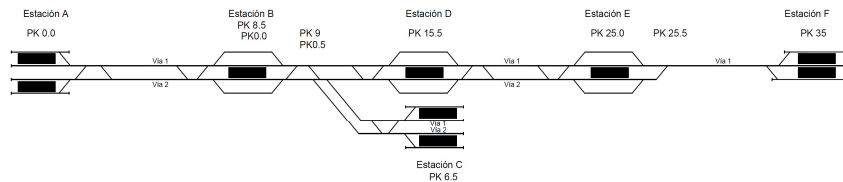


Figura 35: Infraestructura escenario de señalización mejorado. Fuente: Elaboración propia.

8.2. Intervalos mínimos entre circulaciones

En este escenario se asume un intervalo mínimo entre circulaciones consecutivas en el mismo sentido de 3 minutos. Esta decisión se basa en las simulaciones realizadas y en la experiencia de sistemas que ya se encuentran en funcionamiento.

Según las simulaciones realizadas, detalladas en el apartado correspondiente del presente documento, los trenes utilizados tardan aproximadamente 35 segundos en frenar completamente desde una velocidad de 120 km/h. Añadiendo un margen de seguridad a este tiempo, se podría considerar que los trenes pueden circular cada 2 minutos.

Sin embargo, en la práctica, el intervalo de 2 minutos requiere de unas condiciones prácticamente ideales para ser sostenible en el tiempo y, teniendo en cuenta el gran volumen de circulaciones previsto, la estabilidad de la explotación ferroviaria quedaría comprometida ante cualquier incidencia.

Por este motivo, al considerar que 2 minutos es un intervalo razonable para momentos puntuales, pero no para el diseño de un modelo de explotación de un día completo, se ha optado por tomar como referencia 3 minutos.

A continuación, se muestran, los horarios de algunas líneas de transporte masivo de viajeros por ferrocarril en núcleos urbanos en las que los trenes circulan con intervalos de 2 y 3 minutos, con el fin de confirmar la viabilidad técnica de esta solución. Concretamente, se muestra Cercanías Madrid, RER A de París y Victoria line de Londres.

Horarios de Cercanías Madrid

Horarios Solicitados

Origen: Sol
Destino: Chamartín - Clara Campoamor
Día de viaje:
21-06-2024

Solicitar los Horarios de Regreso en el día
Imprimir horarios

Tren Accesible. Actualice esta información al aproximarse el inicio de su viaje.

Línea		Hora Salida	Hora Llegada	Tiempo de Viaje	Recorrido
C4		06:02	06:13	11min.	..
C3		06:05	06:16	11min.	..
C4		06:15	06:26	11min.	..
C4		06:21	06:32	11min.	..
C3		06:24	06:35	11min.	..
C4		06:30	06:41	11min.	..
C4		06:34	06:45	11min.	..
C3		06:38	06:49	11min.	..
C4		06:41	06:52	11min.	..
C4		06:47	06:58	11min.	..
C4		06:51	07:02	11min.	..
C3		06:54	07:05	11min.	..
C4		06:57	07:08	11min.	..

Figura 36: Muestra de horarios Cercanías Madrid. Fuente: Renfe

Vincennes	05:22	05:30	05:37	05:44	05:51	05:57	06:01	06:06	06:10	06:13	06:17	06:21	06:25	06:29	06:32	06:36	06:40	06:42	06:45	06:48	06:51
Nation	05:25	05:33	05:40	05:47	05:54	06:00	06:04	06:09	06:13	06:17	06:20	06:24	06:28	06:32	06:35	06:39	06:43	06:45	06:48	06:51	06:54
Gare de Lyon	05:28	05:35	05:43	05:49	05:56	06:02	06:07	06:11	06:15	06:19	06:23	06:27	06:31	06:34	06:38	06:42	06:45	06:48	06:50	06:53	06:57
Châtelet-Les Halles	05:31	05:39	05:46	05:53	06:00	06:06	06:10	06:15	06:19	06:22	06:26	06:30	06:34	06:38	06:41	06:45	06:49	06:51	06:54	06:57	07:00
Auber	05:34	05:41	05:48	05:55	06:02	06:08	06:13	06:17	06:21	06:25	06:29	06:33	06:37	06:40	06:44	06:48	06:51	06:54	06:56	06:59	07:03
Charles de Gaulle-Étoile	05:37	05:44	05:52	05:58	06:05	06:11	06:16	06:20	06:24	06:28	06:32	06:36	06:40	06:44	06:47	06:51	06:54	06:57	06:59	07:02	07:06
La Défense	05:41	05:48	05:56	06:02	06:09	06:15	06:20	06:24	06:28	06:32	06:36	06:40	06:44	06:48	06:51	06:55	06:58	07:01	07:03	07:07	07:10
Nanterre-Préfecture	05:43	05:52	05:58	06:06	06:12	06:19	06:23	06:28	06:31	06:36	06:39	06:44	06:46	06:51	06:54	06:57	07:02	07:04	07:07	07:09	07:12

Figura 37: Muestra de horarios de la línea A de RER de París: Fuente: RER A Le Blog

Victoria line timetable

From: Tottenham Hale Underground Station
To: Victoria Underground Station Edit

Monday - Thursday 7:00 - 8:00

Depart 07:01	to Brixton Underground Station	>
Arrive 07:20	Victoria Underground Station	
Depart 07:03	to Brixton Underground Station	>
Arrive 07:22	Victoria Underground Station	
Depart 07:06	to Brixton Underground Station	>
Arrive 07:25	Victoria Underground Station	
Depart 07:08	to Brixton Underground Station	>
Arrive 07:27	Victoria Underground Station	
Depart 07:11	to Brixton Underground Station	>
Arrive 07:30	Victoria Underground Station	
Depart 07:13	to Brixton Underground Station	>
Arrive 07:32	Victoria Underground Station	

Figura 38: Muestra de horarios de la Victoria line de Londres. Fuente: Transport for London

8.3. Escenario de máxima capacidad

En este apartado se calcula la capacidad máxima disponible en la línea objeto de estudio para este segundo escenario de señalización. Del mismo modo que en el escenario de señalización anterior, a partir de la malla base se ha determinado el máximo número de surcos que podrán ser utilizados por trenes de cercanías en aquellos intervalos horarios en los que no se presenten circulaciones programadas. En este sentido, la estructura horaria de los tráficos programados en el modelo de explotación base, anteriormente detallado, así como el número de circulaciones previstas, se ha mantenido fija.

8.3.1. Escenario de tráfico 1

En este escenario de tráfico se han introducido un total de 622 surcos adicionales, repartidos de la siguiente manera:

- Relación A - F: 124 surcos en sentido ida y 121 en sentido vuelta.
- Relación A - C: 178 surcos en sentido ida y 199 en sentido vuelta.

A continuación, se incluyen las mallas de circulación saturadas.

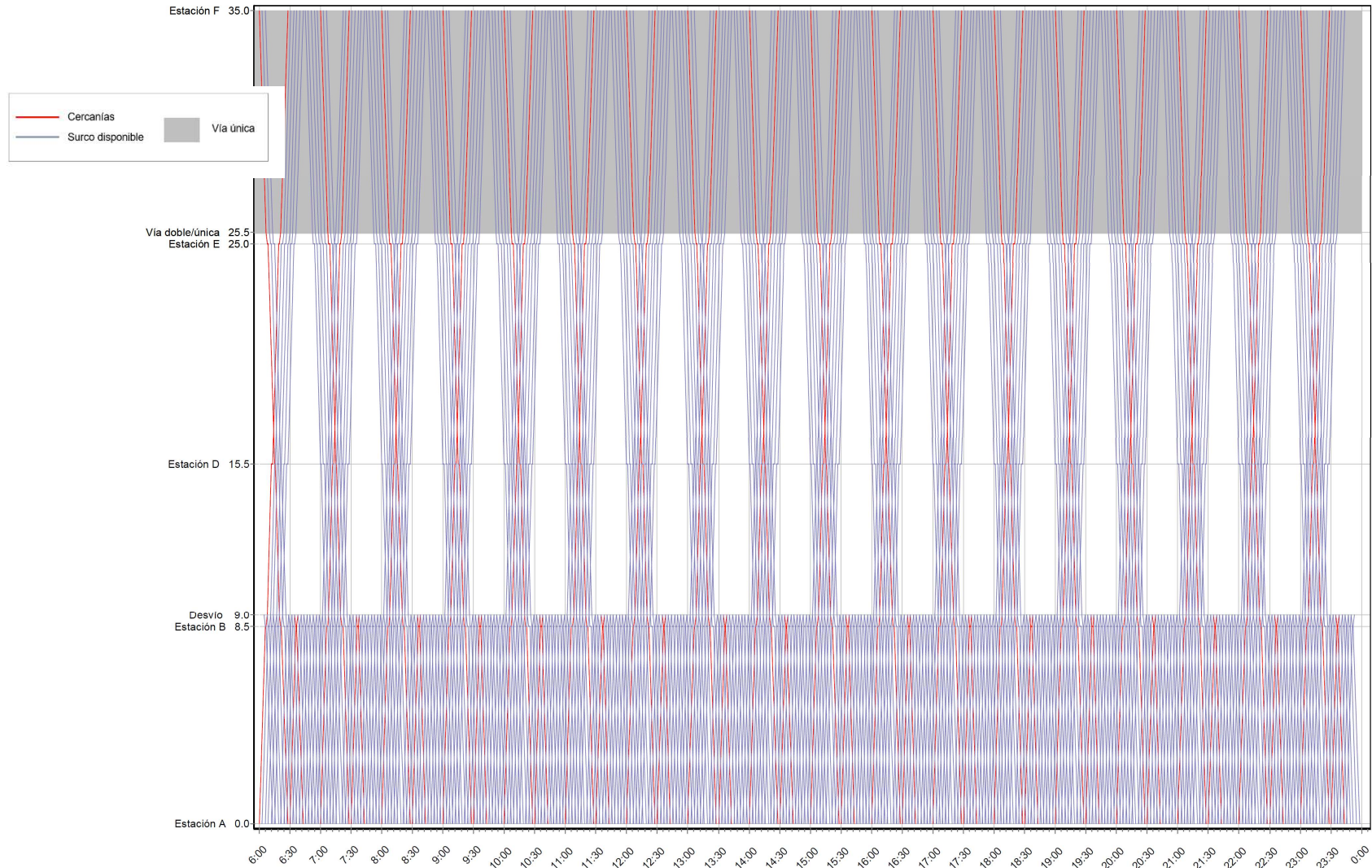


Figura 39: Malla de circulación de máxima capacidad. Línea principal, escenario de señalización mejorado, escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia

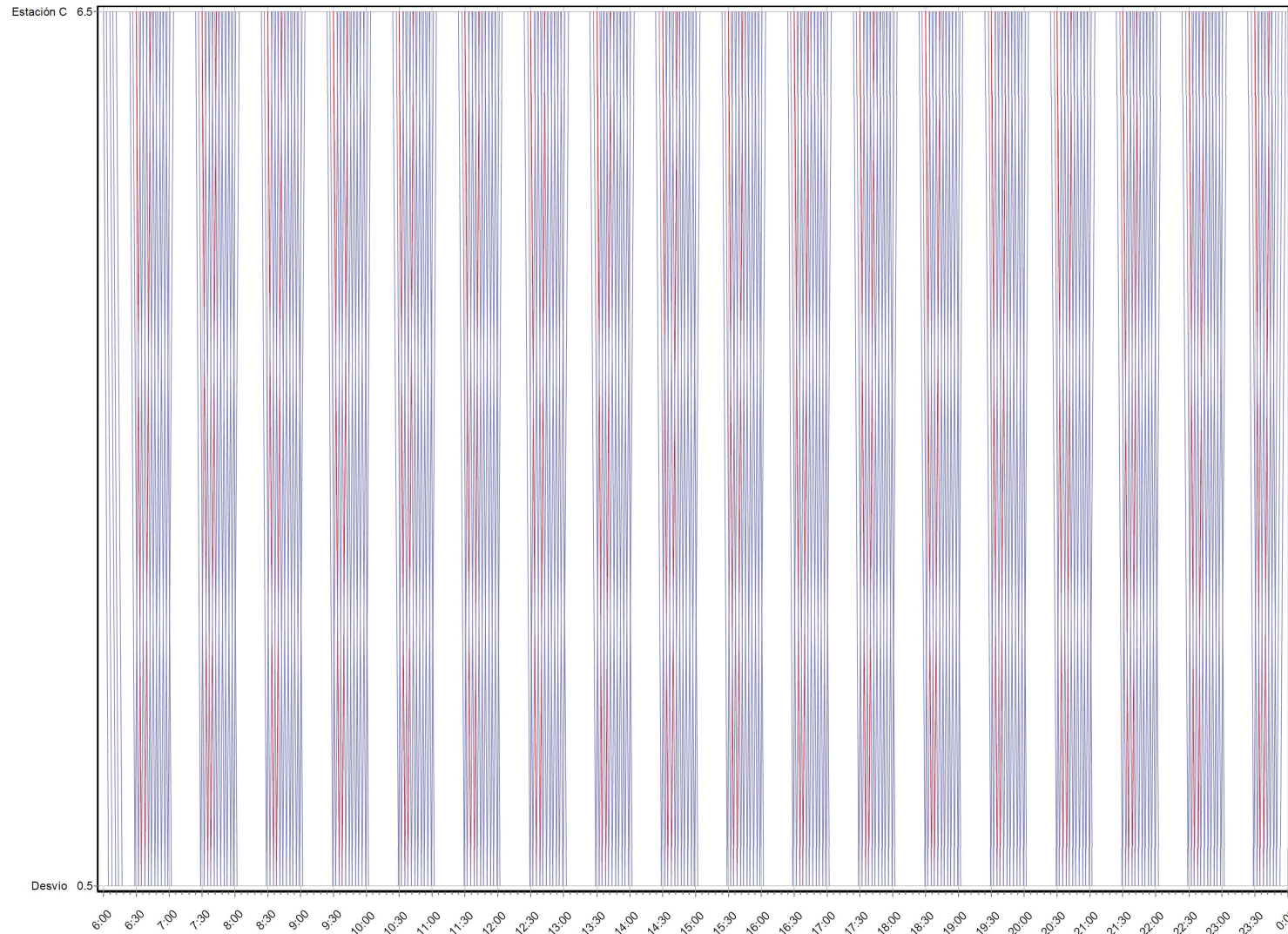


Figura 40: Malla de circulación de máxima capacidad. Ramal, escenario de señalización mejorado, escenario de tráficos 1. Fuente: Elaboración propia

8.3.2. Escenario de tráfico 2

En este escenario de tráfico se han introducido un total de 498 surcos adicionales, repartidos de la siguiente manera:

- Relación A - F: 52 surcos en sentido ida y 52 en sentido vuelta.
- Relación A – C: 179 surcos en sentido ida y 215 en sentido vuelta.

A continuación, se incluyen las mallas de circulación saturadas.

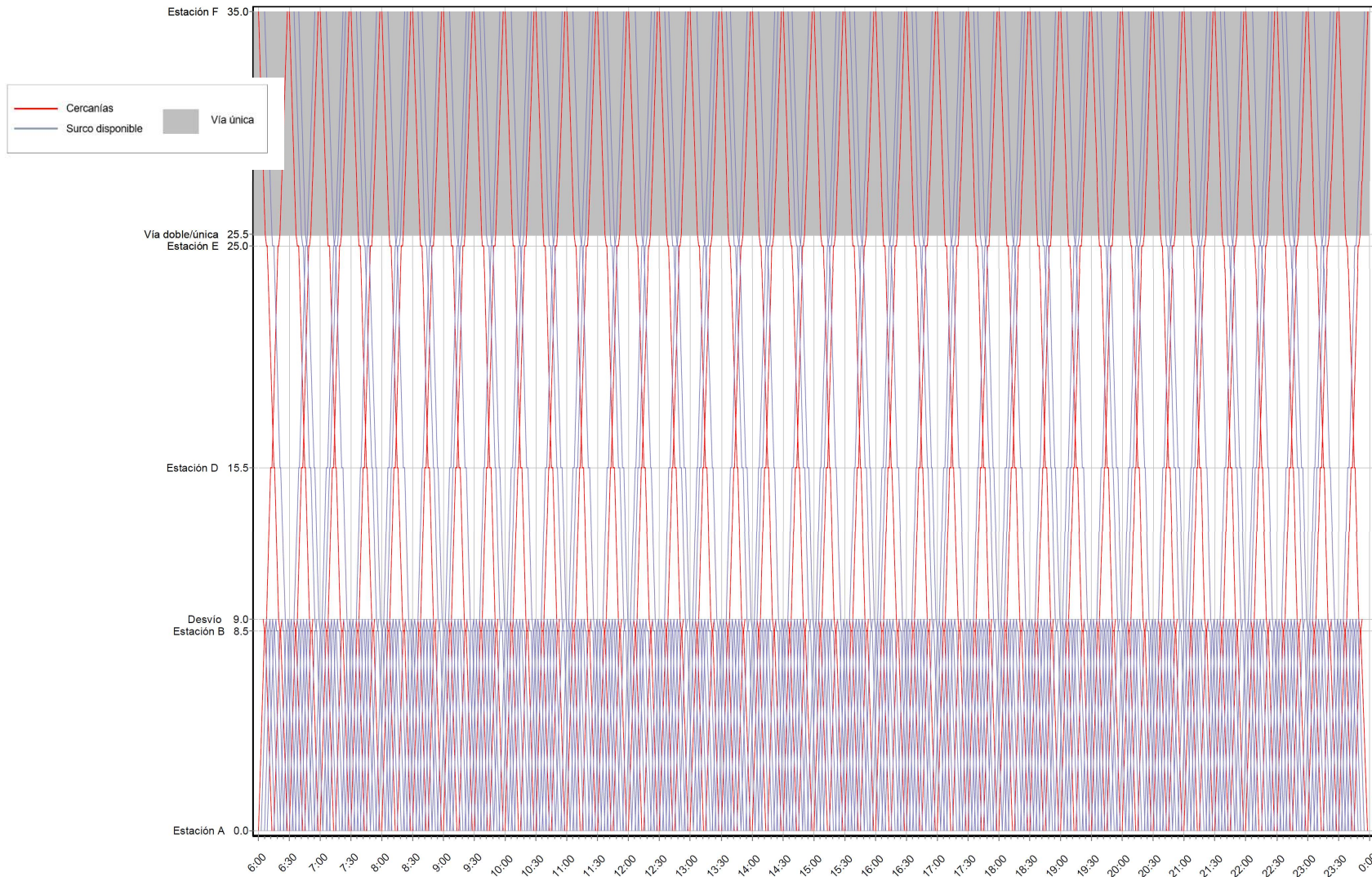


Figura 41: Malla de circulación de máxima capacidad. Línea principal, escenario de señalización mejorado, escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia

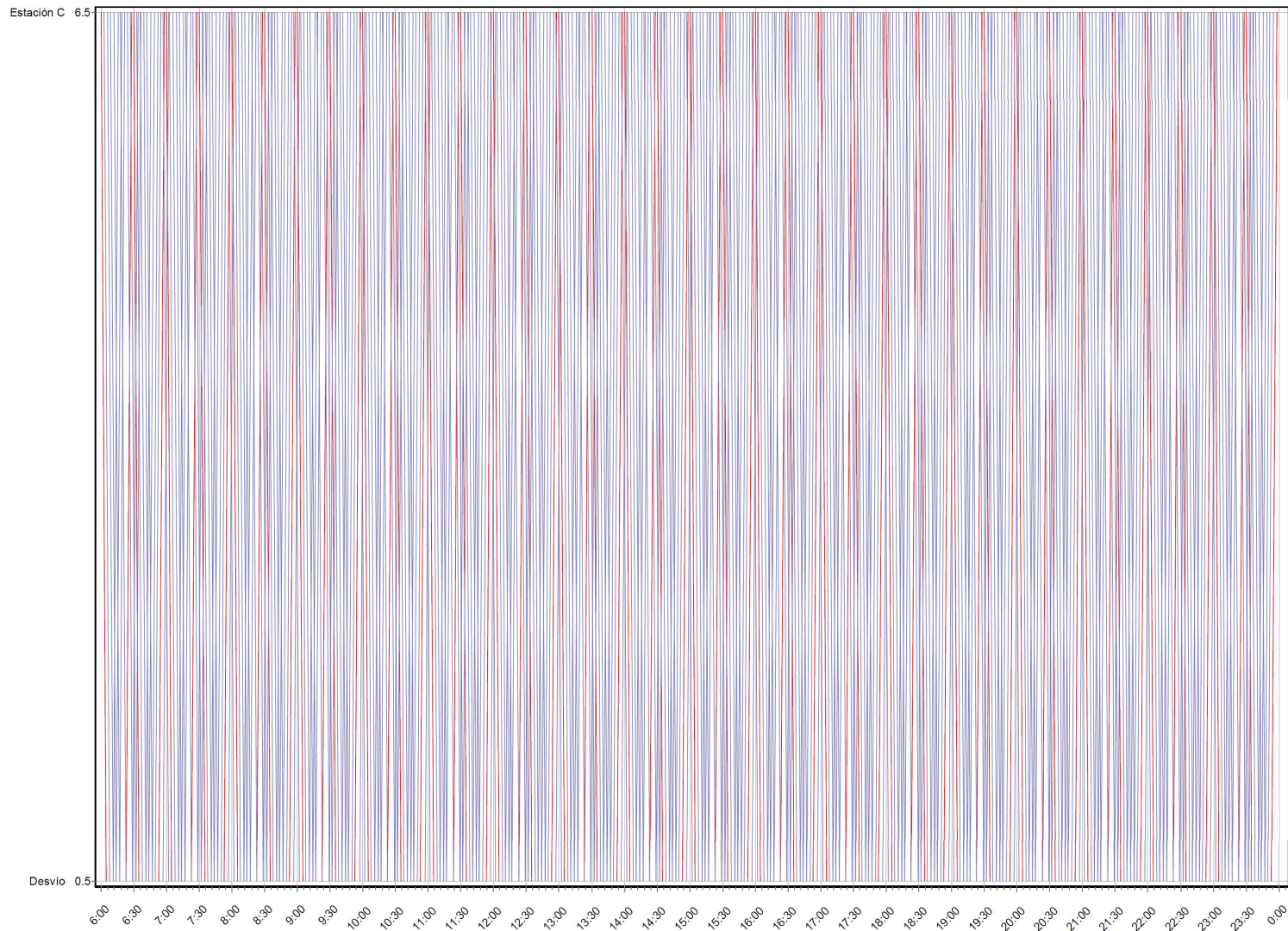


Figura 42: Malla de circulación de máxima capacidad. Ramal, escenario de señalización mejorado, escenario de tráficos 2. Fuente: Elaboración propia

8.3.3. Niveles de ocupación

Una vez definidos los surcos disponibles adicionales, se ha puesto en comparación la reserva de capacidad global con las circulaciones programadas previstas con el fin de obtener los niveles de ocupación.

Estos niveles se han determinado para los mismos tres tramos y casuística utilizada en el escenario anterior.

8.3.3.1. Escenario de tráfico 1

8.3.3.1.1. Niveles de ocupación global por secciones

En las siguientes tablas se relacionan los surcos utilizados por las circulaciones previstas en el escenario base, los surcos adicionales disponibles, los surcos totales y los niveles de saturación (cociente entre las circulaciones previstas y los surcos totales), para las distintas secciones constitutivas de la línea objeto de estudio tanto de manera global como de forma particularizada por sentido de circulación.

Tramo	Sentido ida			
	Circulaciones	Surcos adicionales	Surcos totales	% Ocup
A - Desvío	36	302	338	11%
Desvío - F	18	124	142	13%
Ramal	18	178	196	9%

Figura 43: Niveles de ocupación por secciones sentido ida. Fuente: Elaboración propia.

Tramo	Sentido vuelta			
	Circulaciones	Surcos adicionales	Surcos totales	% Ocup
A - Desvío	36	320	356	10%
Desvío - F	18	121	139	13%
Ramal	18	199	217	8%

Figura 44: Niveles de ocupación por secciones sentido vuelta. Fuente: Elaboración propia.

Tramo	Totales			
	Circulaciones	Surcos adicionales	Surcos totales	% Ocup
A - Desvío	72	622	694	10%
Desvío - F	36	245	281	13%
Ramal	36	377	413	9%

Figura 45: Niveles de ocupación totales por secciones. Fuente: Elaboración propia.

De forma gráfica, se muestra a continuación el número de surcos totales existente en cada tramo, el número de surcos adicionales disponibles, las circulaciones previstas y los porcentajes de saturación; los valores contemplan los dos sentidos de circulación.

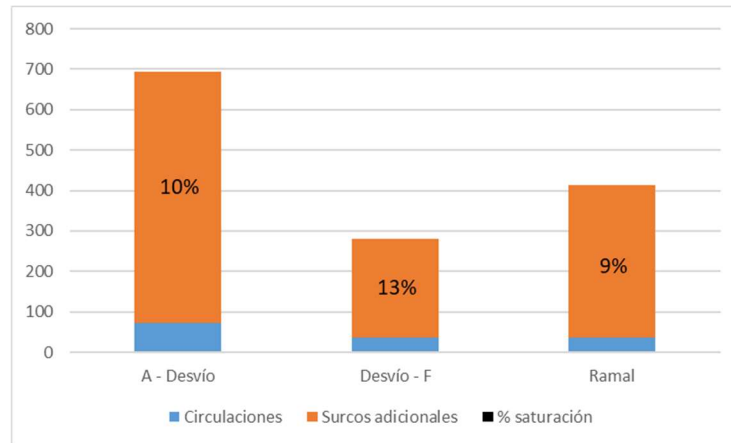


Figura 46: Representación gráfica de los niveles de las circulatorios programadas, adicionales y los niveles de saturación por secciones. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran niveles de saturación muy contenidos, con porcentajes que apenas superan el 10% en el tramo más desfavorable. Esto indica que el margen existente para la introducción de nuevas circulatorios programadas y la gestión de incidencias y retrasos es muy amplio.

8.3.3.1.2. Niveles de ocupación por franjas horarias

En este apartado se ha puesto en comparación la capacidad disponible con la oferta de servicios prevista, categorizado en franjas horarias para tres puntos de referencia que representan las tres secciones de la línea objeto de estudio.

En primer lugar, se ha contabilizado el total de surcos disponibles en función del sentido de circulación e intervalo temporal de 3 horas, exceptuando de 0h a 6h, periodo destinado a las labores de mantenimiento de la infraestructura.

Después, se ha puesto en comparación el número de circulatorios previstas en cada intervalo horario con los surcos disponibles contabilizados anteriormente, obteniendo así los niveles de saturación.

Los puntos de referencia considerados han sido los siguientes:

- Estación B: caracteriza la sección comprendida entre A y el desvío del ramal.
- Estación E: caracteriza la sección comprendida entre el desvío del ramal y F.
- Estación C: caracteriza el ramal.

A continuación, se presentan los cuadros en los que se relaciona la capacidad disponible, los tráficos programados y los niveles de saturación para cada una de las secciones.

CUPOS DE SURCOS POR TIPOS DE TRÁFICOS
Punto de referencia: Estación B

Sentido: IDA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				6	6	6	6	6	6	36
Adicional				49	51	51	51	51	49	302
Total	BM	BM		55	57	57	57	57	55	338

Sentido: VUELTA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				6	6	6	6	6	6	36
Adicional				52	54	54	54	54	52	320
Total	BM	BM		58	60	60	60	60	58	356

TRÁFICO PROGRAMADO (ESCENARIO DE MÁXIMA CAPACIDAD)

Sentido: IDA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Total								6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36
Nivel saturación	BM	BM						11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%

Sentido: VUELTA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Total								6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36
Nivel saturación	BM	BM						10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%

Nivel verde <25%. Tráfico bajo, sin problemas de saturación
Nivel amarillo 25-50%. Tráfico normal, sin problemas de saturación
Nivel naranja 50-75%. Tráfico alto, con problemas puntuales de saturación
Nivel rojo >75%. Tráfico muy alto, con problemas sistemáticos de saturación, alcanzando puntualmente la congestión.
 BM Banda de mantenimiento

Figura 47: Cupo de surcos en Estación B. Fuente: Elaboración propia.

CUPOS DE SURCOS POR TIPOS DE TRÁFICOS
Punto de referencia: Estación E

Sentido: IDA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				3	3	3	3	3	3	18
Adicional				19	21	21	21	21	21	124
Total	BM	BM		22	24	24	24	24	24	142

Sentido: VUELTA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				3	3	3	3	3	3	18
Adicional				19	21	21	21	21	18	121
Total	BM	BM		22	24	24	24	24	21	139

TRÁFICO PROGRAMADO (ESCENARIO DE MÁXIMA CAPACIDAD)

Sentido: IDA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
Total								3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	18
Nivel saturación	BM	BM						14%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%

Sentido: VUELTA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
Total								3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	18
Nivel saturación	BM	BM						14%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%

Nivel verde <25%. Tráfico bajo, sin problemas de saturación
Nivel amarillo 25-50%. Tráfico normal, sin problemas de saturación
Nivel naranja 50-75%. Tráfico alto, con problemas puntuales de saturación
Nivel rojo >75%. Tráfico muy alto, con problemas sistemáticos de saturación, alcanzando puntualmente la congestión.
 BM Banda de mantenimiento

Figura 48: Cupo de surcos en Estación E. Fuente: Elaboración propia.

CUPOS DE SURCOS POR TIPOS DE TRÁFICOS																										
Punto de referencia: Estación C																										
Sentido: IDA																										
	0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total																	
Cercanías			3	3	3	3	3	3	18																	
Adicional			28	30	30	30	30	30	178																	
Total	BM	BM	31	33	33	33	33	33	196																	
Sentido: VUELTA																										
	0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total																	
Cercanías			3	3	3	3	3	3	18																	
Adicional			38	33	33	33	33	29	199																	
Total	BM	BM	41	36	36	36	36	32	217																	
TRÁFICO PROGRAMADO (ESCENARIO DE MÁXIMA CAPACIDAD)																										
Sentido: IDA																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
Total							3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	18	
Nivel saturación	BM	BM					10%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%
Sentido: VUELTA																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
Total							3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	18	
Nivel saturación	BM	BM					7%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%

■ Nivel verde <25%. Tráfico bajo, sin problemas de saturación
■ Nivel amarillo 25-50%. Tráfico normal, sin problemas de saturación
■ Nivel naranja 50-75%. Tráfico alto, con problemas puntuales de saturación
■ Nivel rojo >75%. Tráfico muy alto, con problemas sistemáticos de saturación, alcanzando puntualmente la congestión.
 BM Banda de mantenimiento

Figura 49: Cupo de surcos en Estación C. Fuente: Elaboración propia.

8.3.3.2. Escenario de tráfico 2

8.3.3.2.1. Niveles de ocupación global por secciones

Se muestran las tablas correspondientes al escenario de tráfico 2.

Tramo	Sentido ida			
	Circulaciones	Surcos adicionales	Surcos totales	% Ocup
A - Desvío	72	231	303	24%
Desvío - F	36	52	88	41%
Ramal	36	179	215	17%

Figura 50: Niveles de ocupación por secciones sentido ida. Fuente: Elaboración propia.

Tramo	Sentido vuelta			
	Circulaciones	Surcos adicionales	Surcos totales	% Ocup
A - Desvío	72	267	339	21%
Desvío - F	36	52	88	41%
Ramal	36	215	251	14%

Figura 51: Niveles de ocupación por secciones sentido vuelta. Fuente: Elaboración propia.

Tramo	Totales			
	Circulaciones	Surcos adicionales	Surcos totales	% Ocup
A - Desvío	144	498	642	22%
Desvío - F	72	104	176	41%
Ramal	72	394	466	15%

Figura 52: Niveles de ocupación totales por secciones. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra de forma gráfica el número de surcos totales existente en cada tramo, el número de surcos adicionales disponibles, las circulaciones previstas y los porcentajes de saturación; los valores contemplan los dos sentidos de circulación.

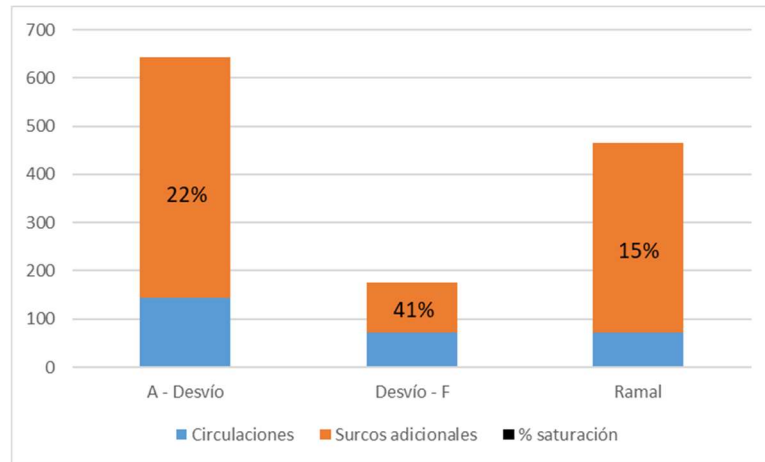


Figura 53: Representación gráfica de los niveles de las circulaciones programadas, adicionales y los niveles de saturación por secciones. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran niveles de saturación dispares en las distintas secciones. En la sección que incluye el tramo de vía única se sitúa en torno al 40% mientras que en las otras dos secciones los valores son de 22% y 15%. En cualquier caso, en todas ellas existe margen para la introducción de nuevas circulaciones programadas y la gestión de incidencias y retrasos.

8.3.3.2.2. Niveles de ocupación por franjas horarias

En este apartado se ha puesto en comparación la capacidad disponible con la oferta de servicios prevista, categorizado en franjas horarias para tres puntos de referencia que representan las tres secciones de la línea objeto de estudio.

La metodología seguida ha sido la misma que la indicada en el apartado 6.3.3.1.2, para el escenario de tráficos 1.

Los puntos de referencia considerados, del mismo modo que en el escenario anterior, han sido los siguientes:

- Estación B: caracteriza la sección comprendida entre A y el desvío del ramal.
- Estación E: caracteriza la sección comprendida entre el desvío del ramal y F.
- Estación C: caracteriza el ramal.

A continuación, se presentan los cuadros en los que se relaciona la capacidad disponible, los tráficos programados y los niveles de saturación para cada una de las secciones.

CUPOS DE SURCOS POR TIPOS DE TRÁFICOS
Punto de referencia: Estación B

Sentido: IDA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				12	12	12	12	12	12	72
Adicional				37	39	39	39	39	38	231
Total	BM	BM		49	51	51	51	51	50	303

Sentido: VUELTA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				12	12	12	12	12	12	72
Adicional				43	45	45	45	45	44	267
Total	BM	BM		55	57	57	57	57	56	339

TRÁFICO PROGRAMADO (ESCENARIO DE MÁXIMA CAPACIDAD)

Sentido: IDA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	72
Total								12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	72	
Nivel saturación	BM	BM		24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	

Sentido: VUELTA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	72
Total								12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	72	
Nivel saturación	BM	BM		22%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	

Nivel verde <25%. Tráfico bajo, sin problemas de saturación
Nivel amarillo 25-50%. Tráfico normal, sin problemas de saturación
Nivel naranja 50-75%. Tráfico alto, con problemas puntuales de saturación
Nivel rojo >75%. Tráfico muy alto, con problemas sistemáticos de saturación, alcanzando puntualmente la congestión.
 BM Banda de mantenimiento

Figura 54: Cupo de surcos en Estación B. Fuente: Elaboración propia.

CUPOS DE SURCOS POR TIPOS DE TRÁFICOS
Punto de referencia: Estación E

Sentido: IDA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				6	6	6	6	6	6	36
Adicional				7	9	9	9	9	9	52
Total	BM	BM		13	15	15	15	15	15	88

Sentido: VUELTA		0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías				6	6	6	6	6	6	36
Adicional				9	9	9	9	9	7	52
Total	BM	BM		15	15	15	15	15	13	88

TRÁFICO PROGRAMADO (ESCENARIO DE MÁXIMA CAPACIDAD)

Sentido: IDA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Total								6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36	
Nivel saturación	BM	BM		4,6%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,1%	

Sentido: VUELTA		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías								2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Total								6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36	
Nivel saturación	BM	BM		4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,1%	

Nivel verde <25%. Tráfico bajo, sin problemas de saturación
Nivel amarillo 25-50%. Tráfico normal, sin problemas de saturación
Nivel naranja 50-75%. Tráfico alto, con problemas puntuales de saturación
Nivel rojo >75%. Tráfico muy alto, con problemas sistemáticos de saturación, alcanzando puntualmente la congestión.
 BM Banda de mantenimiento

Figura 55: Cupo de surcos en Estación E. Fuente: Elaboración propia.

CUPOS DE SURCOS POR TIPOS DE TRÁFICOS
Punto de referencia: Estación C

Sentido: IDA

	0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías			6	6	6	6	6	6	36
Adicional			29	30	30	30	30	30	179
Total	BM	BM	35	36	36	36	36	36	215

Sentido: VUELTA

	0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Total
Cercanías			6	6	6	6	6	6	36
Adicional			36	36	36	36	36	35	215
Total	BM	BM	42	42	42	42	42	41	251

TRÁFICO PROGRAMADO (ESCENARIO DE MÁXIMA CAPACIDAD)

Sentido: IDA

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías							2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Total							6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36	
Nivel saturación	BM	BM					17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	

Sentido: VUELTA

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	
Cercanías							2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Total							6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36	
Nivel saturación	BM	BM					14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	

Nivel verde <25%. Tráfico bajo, sin problemas de saturación
Nivel amarillo 25-50%. Tráfico normal, sin problemas de saturación
Nivel naranja 50-75%. Tráfico alto, con problemas puntuales de saturación
Nivel rojo >75%. Tráfico muy alto, con problemas sistemáticos de saturación, alcanzando puntualmente la congestión.
 BM Banda de mantenimiento

Figura 56: Cupo de surcos en Estación C. Fuente: Elaboración propia.

9. Comparativa entre escenarios de señalización

En este apartado se incluye la comparativa de los datos obtenidos en los diferentes escenarios analizados a lo largo del desarrollo del trabajo.

9.1. Escenario de tráfico 1

En primer lugar, se incluyen las tablas en las que se relacionan los surcos utilizados por las circulaciones previstas en el escenario base, los surcos adicionales disponibles, los surcos totales y los niveles de saturación (cociente entre las circulaciones previstas y los surcos totales), para las distintas secciones constitutivas de la línea objeto de estudio tanto de manera global como de forma particularizada por sentido de circulación en ambos escenarios de señalización.

Tramo	Sentido ida						
	Circulaciones	Surcos adicionales		Surcos totales		% Ocup	
		Inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado
A - Desvío	36	140	302	176	338	20%	11%
Desvío - F	18	71	124	89	142	20%	13%
Ramal	18	69	178	87	196	21%	9%

Figura 57: Comparativa niveles de ocupación por secciones sentido ida escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.

Tramo	Sentido vuelta						
	Circulaciones	Surcos adicionales		Surcos totales		% Ocup	
		Inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado
A - Desvío	36	120	320	156	356	23%	10%
Desvío - F	18	52	121	70	139	26%	13%
Ramal	18	68	199	86	217	21%	8%

Figura 58: Comparativa niveles de ocupación por secciones sentido vuelta escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.

Tramo	Totales						
	Circulaciones	Surcos adicionales		Surcos totales		% Ocup	
		Inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado
A - Desvío	72	260	622	332	694	22%	10%
Desvío - F	36	123	245	159	281	23%	13%
Ramal	36	137	377	173	413	21%	9%

Figura 59: Comparativa niveles de ocupación por secciones totales escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en las tablas anteriores, en las tres secciones se produce un aumento de surcos en el escenario de señalización mejorado con respecto al escenario inicial. A continuación, se cuantifica ese aumento.

Tramo	Sentido ida	
	Aumento de surcos	
	Valor absoluto	Porcentaje
A - Desvío	162	92%
Desvío - F	53	60%
Ramal	109	125%

Figura 60: Aumento de surcos sentido ida escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia

Tramo	Sentido vuelta	
	Aumento de surcos	
	Valor absoluto	Porcentaje
A - Desvío	200	128%
Desvío - F	69	99%
Ramal	131	152%

Figura 61: Aumento de surcos sentido vuelta escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia

Tramo	Totales	
	Aumento de surcos	
	Valor absoluto	Porcentaje
A - Desvío	362	109%
Desvío - F	122	77%
Ramal	240	139%

Figura 62: Aumento total de surcos escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia

Se puede ver un aumento muy significativo del número de surcos, especialmente en las secciones completas de vía doble, en las que, a pesar de haber un cizallamiento, con la mejora de la señalización se puede disponer de más del doble de surcos. En la sección con tramo de vía única el aumento también es considerable, disponiéndose de casi un 80% más de surcos.

Además, del análisis llevado a cabo se extrae que se produce un importante descenso en el nivel de saturación en la totalidad de la línea objeto de estudio, como se muestra a nivel gráfico a continuación.

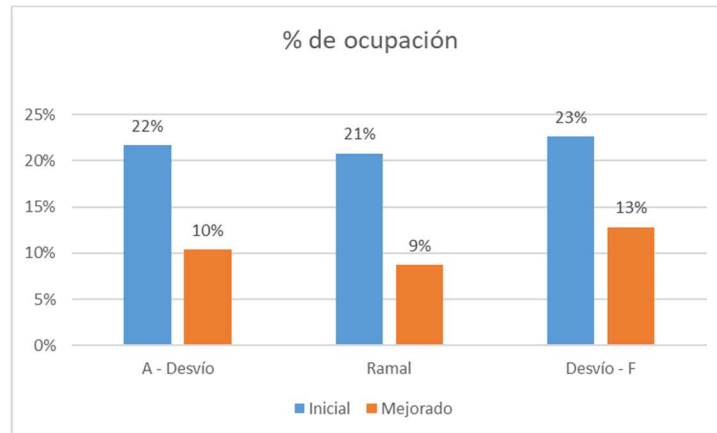


Figura 63: Comparativa porcentaje de ocupación escenario de tráfico 1. Fuente: Elaboración propia

9.2. Escenario de tráfico 2

De igual manera que en el apartado anterior para el escenario de tráfico 1, en este apartado se muestra la comparativa de ambos escenarios de señalización para el escenario de tráfico 2.

Primero se incluyen las tablas generales que relacionan los surcos utilizados por las circulaciones previstas en el escenario base, los surcos adicionales disponibles, los surcos totales y los niveles de saturación (cociente entre las circulaciones previstas y los surcos totales), para las distintas secciones constitutivas de la línea objeto de estudio tanto de manera global como de forma particularizada por sentido de circulación.

Tramo	Sentido ida						
	Circulaciones	Surcos adicionales		Surcos totales		% Ocup	
		Inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado
A - Desvío	72	71	231	143	303	50%	24%
Desvío - F	36	35	52	71	88	51%	41%
Ramal	36	36	179	72	215	50%	17%

Figura 64: Comparativa niveles de ocupación por secciones sentido ida escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.

Tramo	Sentido vuelta						
	Circulaciones	Surcos adicionales		Surcos totales		% Ocup	
		Inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado
A - Desvío	72	71	267	143	339	50%	21%
Desvío - F	36	35	52	71	88	51%	41%
Ramal	36	36	215	72	251	50%	14%

Figura 65: Comparativa niveles de ocupación por secciones sentido vuelta escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.

Tramo	Totales						
	Circulaciones	Surcos adicionales		Surcos totales		% Ocup	
		Inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado
A - Desvío	144	142	498	286	642	50%	22%
Desvío - F	72	70	104	142	176	51%	41%
Ramal	72	72	394	144	466	50%	15%

Figura 66: Comparativa niveles de ocupación por secciones totales escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia.

De nuevo, tal y como en el escenario de tráfico 1, en las tres secciones se produce un aumento de surcos en el escenario de señalización mejorado con respecto al escenario inicial. A continuación, se cuantifica ese aumento.

Tramo	Sentido ida	
	Aumento de surcos	
	Valor absoluto	Porcentaje
A - Desvío	160	112%
Desvío - F	17	24%
Ramal	143	199%

Figura 67: Aumento de surcos sentido ida escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia

Tramo	Sentido vuelta	
	Aumento de surcos	
	Valor absoluto	Porcentaje
A - Desvío	196	137%
Desvío - F	17	24%
Ramal	179	249%

Figura 68: Aumento de surcos sentido vuelta escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia

Tramo	Totales	
	Aumento de surcos	
	Valor absoluto	Porcentaje
A - Desvío	356	124%
Desvío - F	34	24%
Ramal	322	224%

Figura 69: Aumento total de surcos escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia

En este caso, el aumento del número de surcos en la sección que comprende el tramo de vía única es considerablemente inferior al de las otras secciones, debido a las restricciones de capacidad que, independientemente de la señalización, supone un tramo de esas características. El hecho de poder introducir menos surcos

adicionales en ese tramo hace que queden más huecos disponibles para la introducción de surcos de la relación ferroviaria A – C que circula por los otros dos tramos, por este motivo en esos dos tramos el aumento de surcos es tan significativamente superior.

Las consecuencias de este hecho también se observan en los porcentajes de ocupación de las distintas secciones, que se muestran gráficamente a continuación.

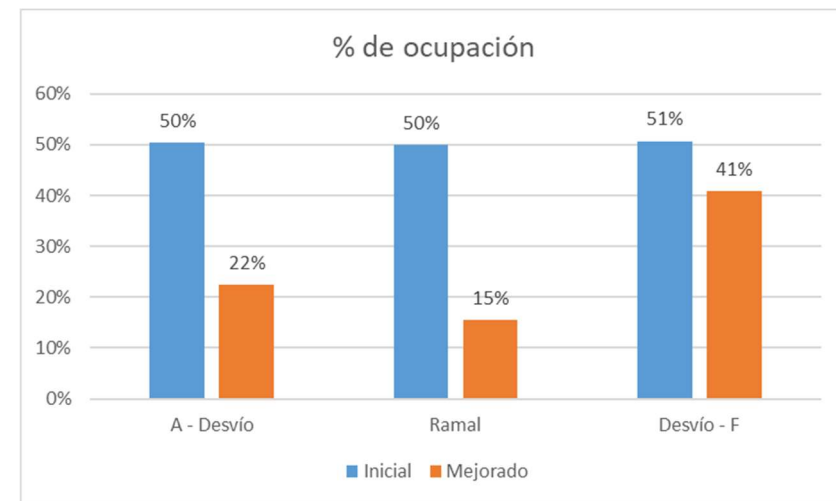


Figura 70: Comparativa porcentaje de ocupación escenario de tráfico 2. Fuente: Elaboración propia

En cómputo global, se observa que el aumento de surcos disponibles tras la mejora del sistema de señalización es muy similar en ambos escenarios de tráfico, siendo 362 en el escenario 1 y 356 en el escenario 2. Sin embargo, el reparto de estos por relación ferroviaria difiere en gran medida, ya que, como se ha detallado en el apartado correspondiente, en el escenario 2 el incremento de surcos de la relación A – F, que circulan por la sección con tramo de vía única, es aproximadamente una cuarta parte del incremento que se produce para esa misma relación en el escenario 1, como se puede comprobar en la siguiente gráfica.

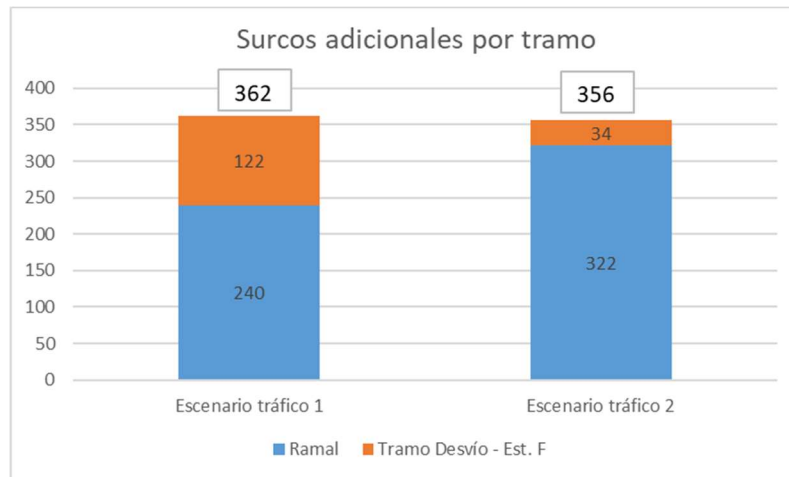


Figura 71: Comparativa incremento de surcos por escenario de tráfico y sección de infraestructura. Fuente: Elaboración propia

10. Conclusiones

Tras el análisis de los distintos escenarios de tráfico y señalización y la exposición de los resultados se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El intervalo entre circulaciones consecutivas en el mismo sentido de circulación se reduce de 6 minutos en el escenario inicial a 3 minutos en el escenario mejorado, teniendo la posibilidad de circular en hora punta con 20 trenes a la hora, Una diferencia importante que permite una mayor frecuencia de circulaciones e incrementa la capacidad de la línea objeto de estudio.
- En todos los escenarios analizados, tanto de tráfico como de señalización, se observa un claro descenso del porcentaje de ocupación en las distintas secciones de la línea.
- La introducción de un sistema de señalización como el del escenario mejorado supone un aumento de la capacidad en todos los tramos analizados, por lo cual permite una explotación comercial en mejores condiciones, con mayor margen para la gestión de incidencias y retrasos, así como para la introducción de nuevas circulaciones programadas si la demanda lo requiere.
- En el tramo de vía única, la introducción de un sistema avanzado de señalización tiene un impacto limitado en cuanto a la introducción de circulaciones en sentidos opuestos. Esto supone que la introducción de nuevas circulaciones programadas con horarios cadenciados no es posible. Si se necesitase aumentar los servicios en dicho tramo se deberían considerar otras medidas como el desdoblamiento, la introducción de apartaderos o la reordenación de las relaciones ferroviarias (por ejemplo, sustituyendo la relación A – F por una relación A – E con

mayor frecuencia y lanzaderas entre E y F). En cualquier caso, este tipo de modificaciones trascienden del alcance del presente trabajo y deberían ser objeto de un estudio específico.

En definitiva, **tras el análisis realizado se puede afirmar que la mejora de la señalización repercute muy positivamente en la capacidad ferroviaria**, especialmente en los tramos de vía doble, permitiendo la introducción de nuevas circulaciones programadas con horarios cadenciados y un mayor margen para la gestión de incidencias. No obstante, es importante tener en cuenta las limitaciones y necesidades específicas de los tramos de vía única, en los cuales el cambio de señalización permite una mejor gestión de incidencias, pero no el aumento de circulaciones programadas con horarios cadenciados. Sabiendo que la influencia de la señalización ferroviaria en la capacidad de una línea es alta, el ente encargado de la explotación de una línea ferroviaria deberá valorar si la inversión es conveniente, especialmente en líneas en funcionamiento, en las que el desembolso será importante, además de la complejidad que supone el cambio de sistema de señalización sin afección a la circulación. En líneas de nueva construcción será necesario poner en comparación la diferencia de precio entre un sistema tradicional y uno avanzado con la prognosis de tráfico, no solo en el momento de la apertura de la línea, sino en el largo plazo, ya que la elección de un sistema avanzado puede suponer un gasto inicial mayor, con el tiempo podría resultar en ahorros significativos.

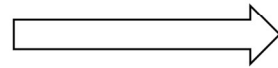
11. Bibliografía

- Tren Autónomo. Presente y futuro. Adrián de Paco Escámez. Digitalización y Gestión Inteligente Ferroviaria. MUSIT. UPV

- IEE Std 1474.1-1991, IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC). Performance and Functional Requirements
- Sistemas de señalización y control ferroviario en alta velocidad. Ángel Iván Rodríguez Cea
- Manual de capacidades ADIF.
- Comisión Europea. Movilidad y transporte. https://transport.ec.europa.eu/index_en
- Artículo de Wikipedia sobre el Sistema CBTC. https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_CBTC

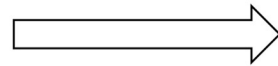
Anexo 1: Intervalos mínimos entre circulaciones

Objetivo



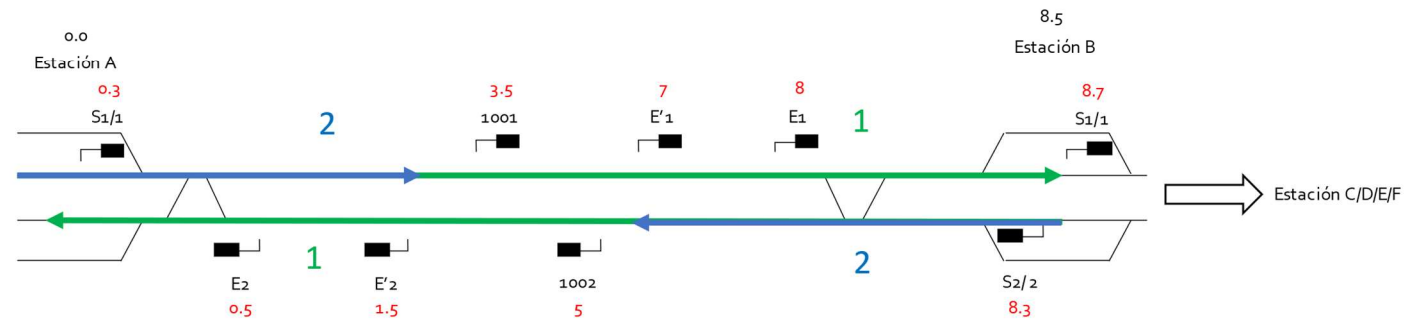
Determinar el intervalo de tiempo mínimo entre dos circulaciones consecutivas en un punto común a ambas

Metodología




1. Determinar el tiempo necesario para que la primera circulación libere el itinerario que deberá seguir la segunda
2. Determinar el tiempo necesario para que la segunda circulación llegue al punto común. Se considerará como punto de partida el punto más cercano en el que la marcha de este tren no se vea penalizada por la primera circulación
3. Determinar el intervalo mínimo, resultado de la suma de los dos tiempos indicados anteriormente y 30" adicionales por la liberación del primer itinerario, el establecimiento del segundo y el tiempo de reacción del maquinista

Intervalo mínimo entre A y B



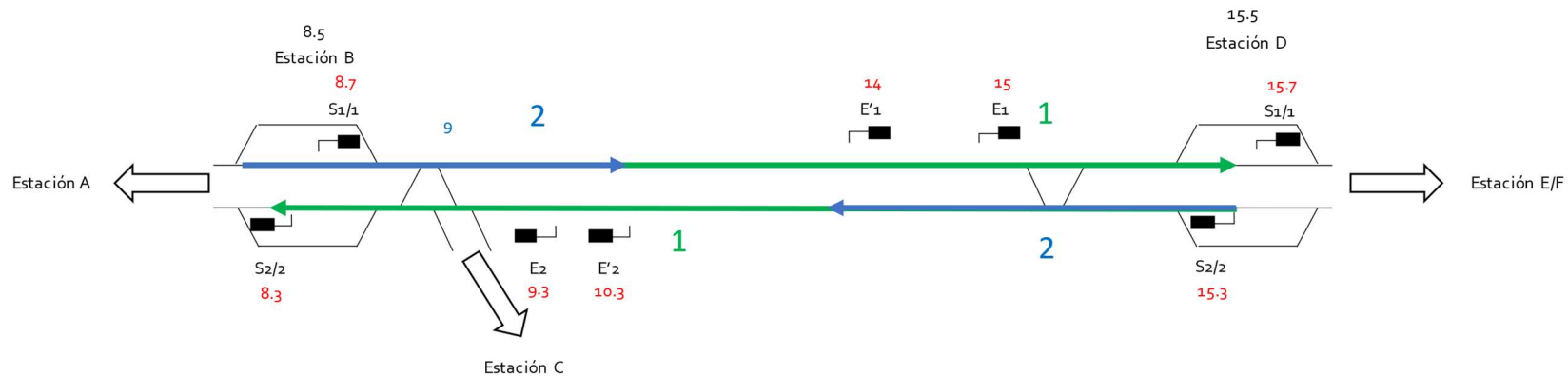
Intervalo mínimo A-B = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 0 hasta cola en pk 7 ($4' 48''$) + $30'' = 5' 18''$

Intervalo mínimo B-A = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 8.5 hasta cola en pk 1.5 ($4' 08''$) + $30'' = 4' 38''$

-  Señal
- 69 PK Señal
- 69 PK Aparato de vía
- 69 PK Dependencia ferroviaria
- Infraestructura existente


*Por simplicidad se ha incluido únicamente una señal de salida en cada estación, aunque se considera que existirá una en cada vía.

Intervalo mínimo entre B y D



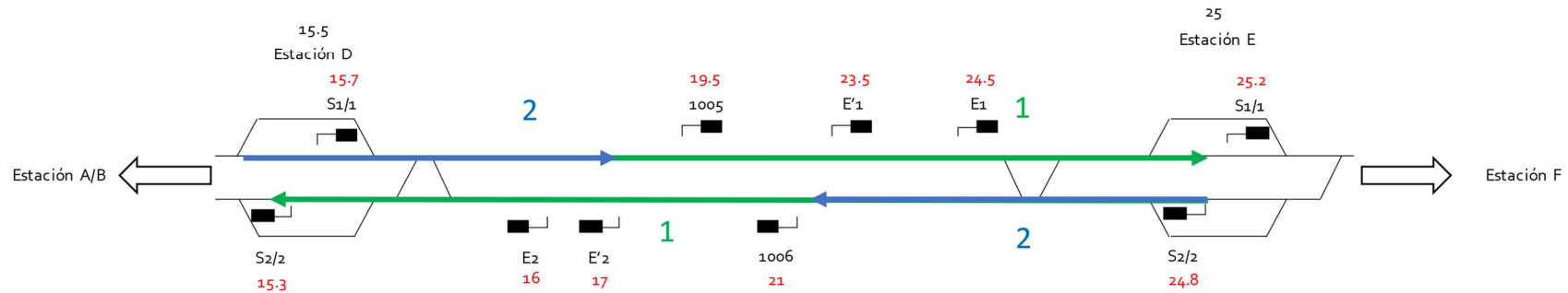
Intervalo mínimo B-D = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 8.5 hasta cola en pk 15 (3' 51'') + 30'' = 4' 21''

Intervalo mínimo D-B = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 15.5 hasta cola en pk 9.3 (3' 41'') + 30'' = 4' 11''

-  Señal
- 69 PK Señal
- 69 PK Aparato de vía
- 69 PK Dependencia ferroviaria
- Infraestructura existente






*Por simplicidad se ha incluido únicamente una señal de salida en cada estación, aunque se considera que existirá una en cada vía.

Intervalo mínimo entre D y E



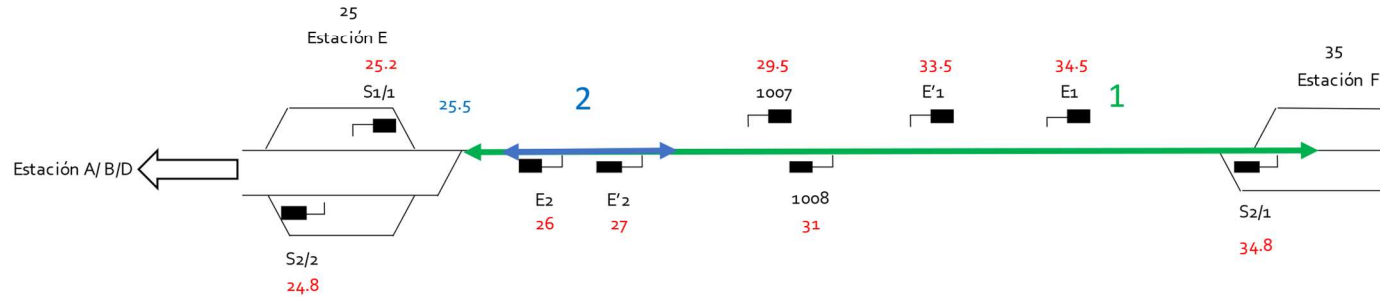
Intervalo mínimo D-E = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 15.5 hasta cola en pk 23.5 (4' 36'') + 30'' = 5' 06''

Intervalo mínimo E-D = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 25 hasta cola en pk 17 (4' 34'') + 30'' = 5' 04''

-  Señal
-  69 PK Señal
-  69 PK Aparato de vía
-  69 PK Dependencia ferroviaria
-  Infraestructura existente






*Por simplicidad se ha incluido únicamente una señal de salida en cada estación, aunque se considera que existirá una en cada vía.

Intervalo mínimo entre E y F



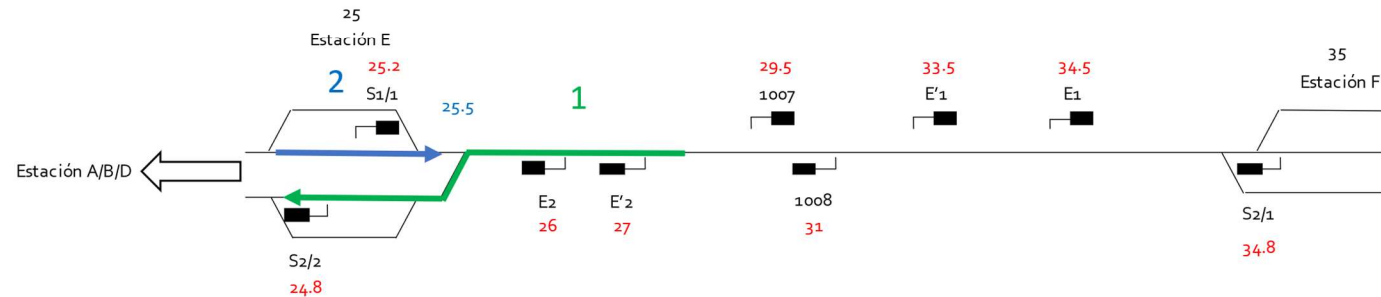
Intervalo mínimo E-F = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 25 hasta cola en pk 33.5 (4' 55'') + 30'' = 5' 25''

Intervalo mínimo F-E = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 35 hasta cola en pk 27 (5' 18'') + 30'' = 5' 48''


-  Señal
-  PK Señal
-  PK Aparato de vía
-  PK Dependencia ferroviaria
-  Infraestructura existente

*Por simplicidad se ha incluido únicamente una señal de salida en cada estación, aunque se considera que existirá una en cada vía.

Intervalo mínimo salida de la vía única hacia A seguido de entrada hacia F

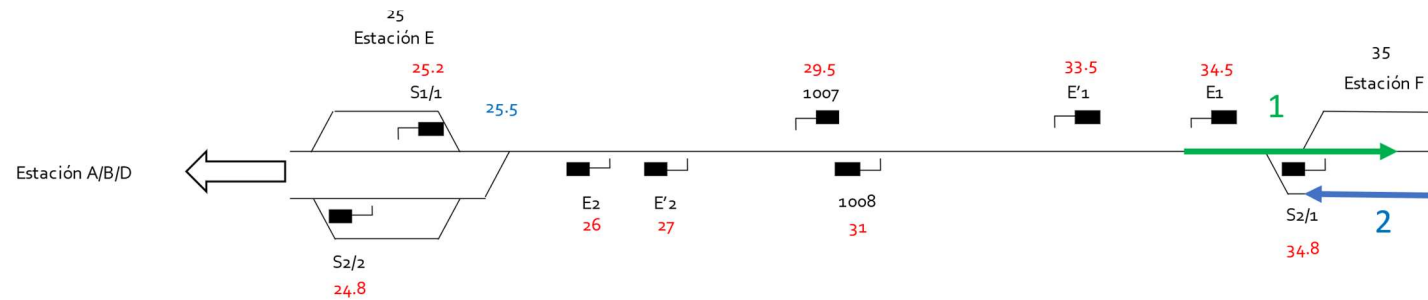


Intervalo mínimo = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 25.5 hasta cola en pk 25.5 (15'') + 30'' + tiempo de recorrido tren 2 desde cabeza en pk 25 hasta cabeza en pk 25.5 (43'') = 1' 28''






-  Señal
- 69 PK Señal
- 69 PK Aparato de vía
- 69 PK Dependencia ferroviaria
- Infraestructura existente

*Por simplicidad se ha incluido únicamente una señal de salida en cada estación, aunque se considera que existirá una en cada vía.

Intervalo mínimo circulación de entrada a F seguido de circulación de salida

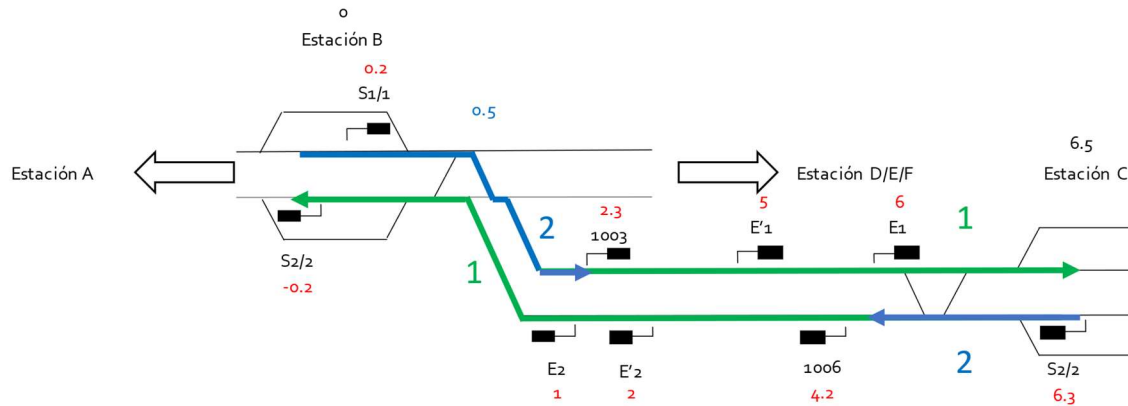


Intervalo mínimo = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 34.5 hasta cabeza en pk 35 (42'') + 30'' + tiempo de recorrido tren 2 desde cabeza en pk 35 hasta cabeza en pk 34.5 (47'') = 1' 59''

-  Señal
-  69 PK Señal
-  69 PK Aparato de vía
-  69 PK Dependencia ferroviaria
-  Infraestructura existente


*Por simplicidad se ha incluido únicamente una señal de salida en cada estación, aunque se considera que existirá una en cada vía.

Intervalo mínimo entre B y C



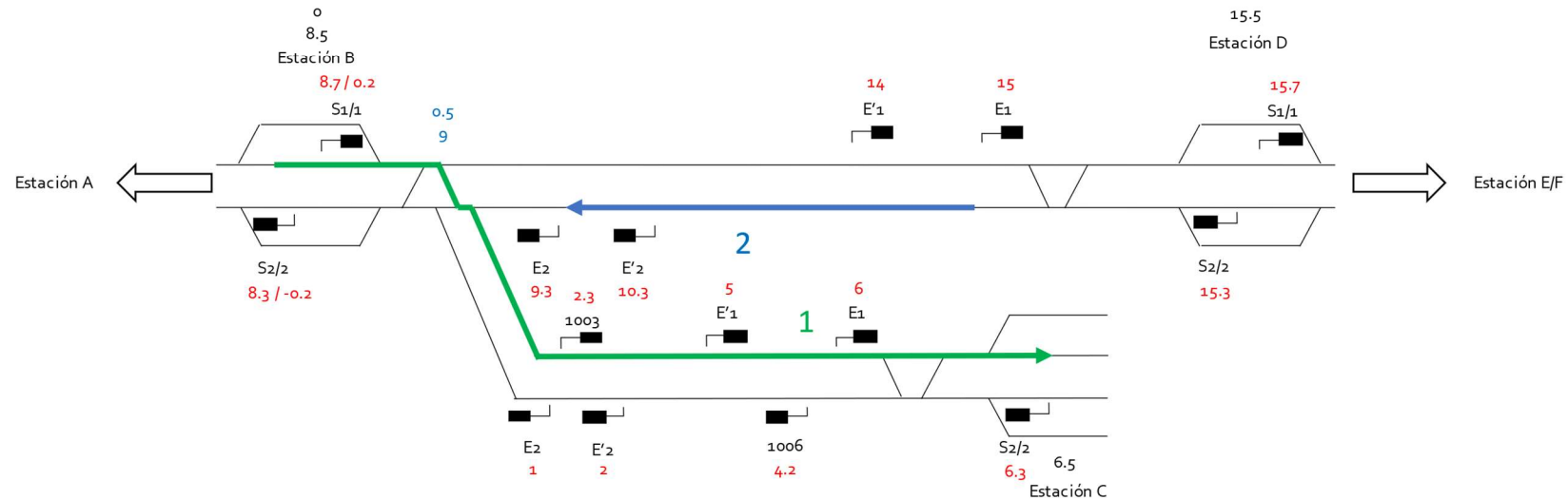
Intervalo mínimo B-C = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 0 hasta cola en pk 5 (3' 39'') + 30'' = 4' 09''

Intervalo mínimo C-B = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 6.5 hasta cola en pk 2 (3' 34'') + 30'' = 4' 04''


-  Señal
- 69 PK Señal
- 69 PK Aparato de vía
- 69 PK Dependencia ferroviaria
- Infraestructura existente

*Por simplicidad se ha incluido únicamente una señal de salida en cada estación, aunque se considera que existirá una en cada vía.

Intervalo mínimo entrada a ramal seguido de tren pasante por línea principal hacia A

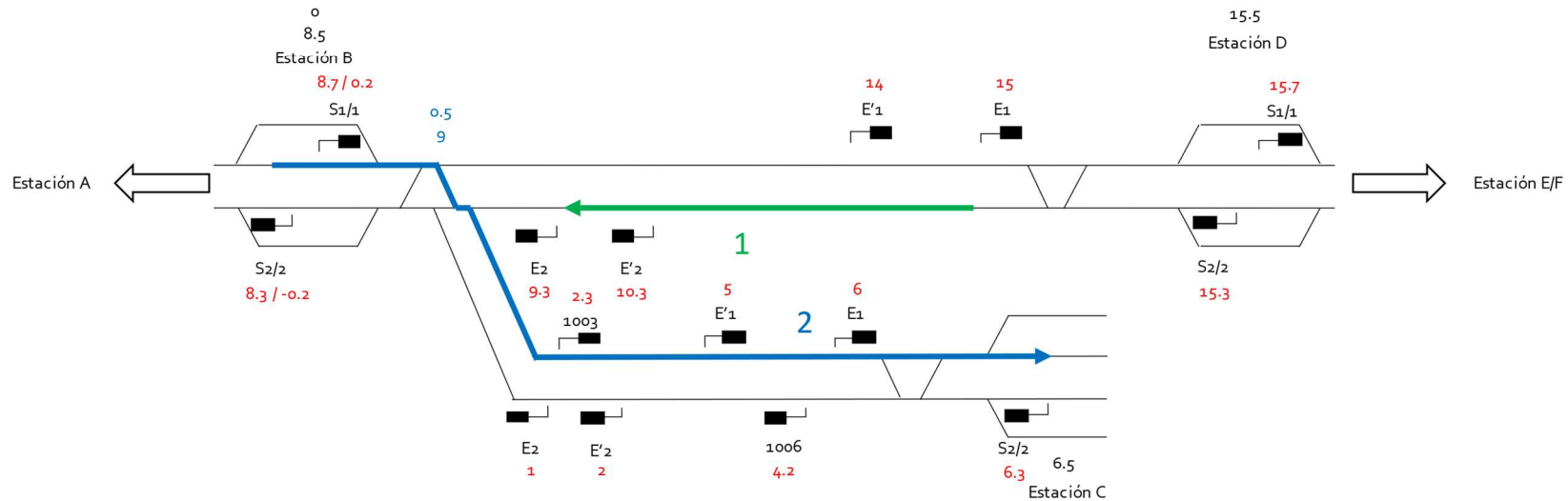


Intervalo mínimo = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 0.5 hasta cola en pk 0.5 (14'') + 30'' + tiempo de recorrido tren 2 desde cabeza en pk 10.3 hasta cabeza en pk 9 (39'') = 1' 23''


-  Señal
- 69 PK Señal
- 69 PK Aparato de vía
- 69 PK Dependencia ferroviaria
- Infraestructura existente

*Por simplicidad se ha incluido únicamente una señal de salida en cada estación, aunque se considera que existirá una en cada vía.

Intervalo mínimo tren pasante por línea principal hacia A seguido de entrada a ramal



Intervalo mínimo = tiempo de recorrido tren 1 desde cabeza en pk 9 hasta cola en pk 9 (7'') + 30'' + tiempo de recorrido tren 2 desde cabeza en pk 0 hasta cabeza en pk 0.5 (48'') = 1' 25''

-  Señal
- 69 PK Señal
- 69 PK Aparato de vía
- 69 PK Dependencia ferroviaria
- Infraestructura existente

*Por simplicidad se ha incluido únicamente una señal de salida en cada estación, aunque se considera que existirá una en cada vía.

Anexo 2: Niveles de señalización ETCS

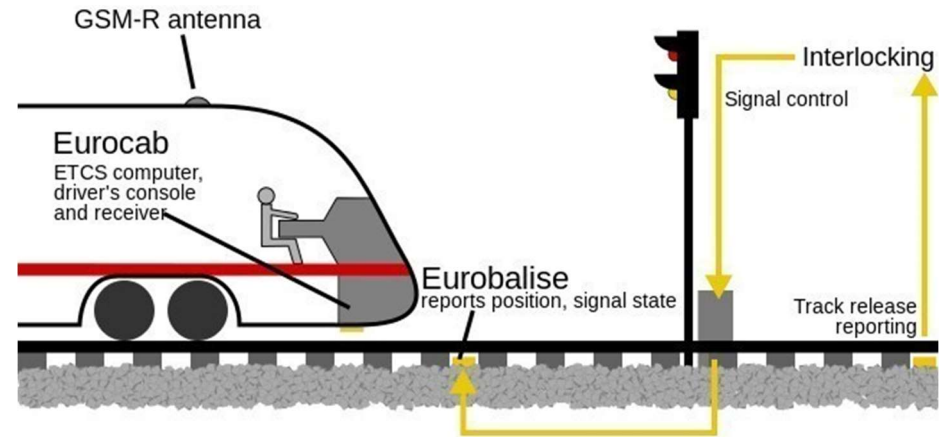
ETCS Nivel 1

Se trata de un sistema de transmisión puntual y supervisión continua. Es un refuerzo a la señalización lateral, por lo que es imprescindible que ésta esté presente. Los cantones son fijos y están definidos por el sistema de señalización. Permite una mayor velocidad de circulación que otros sistemas ya que supervisa la velocidad constantemente.

Desde el centro de control se asignan las rutas y a través del enclavamiento se supervisa y controla que en todo momento el tren esté completamente seguro.

La información de la posición de las agujas y el aspecto de las señales se recoge a través de unas unidades electrónicas llamadas LEUS, que envían dicha información a las balizas, para que éstas se lo comuniquen al tren. Cabe destacar que las balizas no necesitan alimentación para emitir la señal, sino que utilizan la energía proporcionada por el tren.

El equipo embarcado recoge la información de la baliza y realiza los cálculos necesarios para diseñar la curva de frenado del tren y, a su vez, comunica su posición.



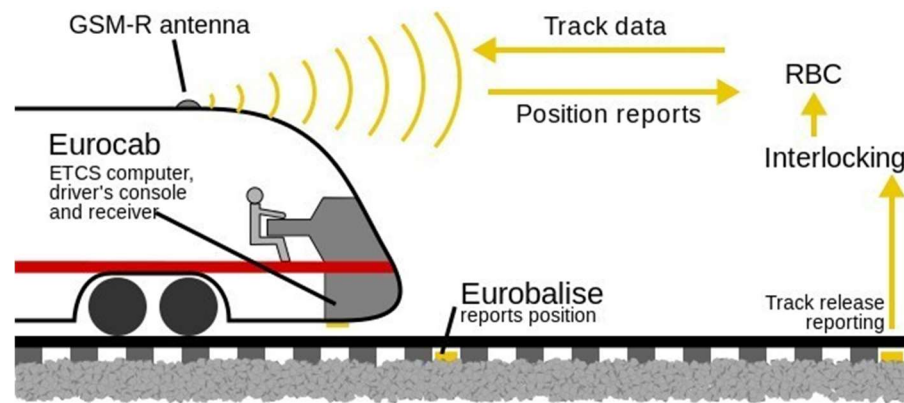
ETCS Nivel 2

Es un sistema de transmisión continua bidireccional y supervisión continua. En este caso la señalización lateral es opcional y la comunicación se realiza a través de radio (RBC).

El RBC puede enviar mucha más información al tren de la que se puede enviar en el nivel 1 ya que, al ser comunicación continua, ésta no está limitada al escaso tiempo que el tren pasa por encima de la baliza. Además, el RBC es capaz de seleccionar que información envía a cada tren, mientras que las balizas son leídas por todos los trenes que pasan por encima de ellas. Por último, al tratarse de comunicación bidireccional, el tren también es capaz de enviar información, algo que no es posible con las balizas.

Aun así, en este nivel se utilizan balizas con el objetivo de corregir el error odométrico del tren para tener un posicionamiento preciso.

El cantonamiento sigue siendo fijo, y se utilizan circuitos de vía o contadores de ejes.



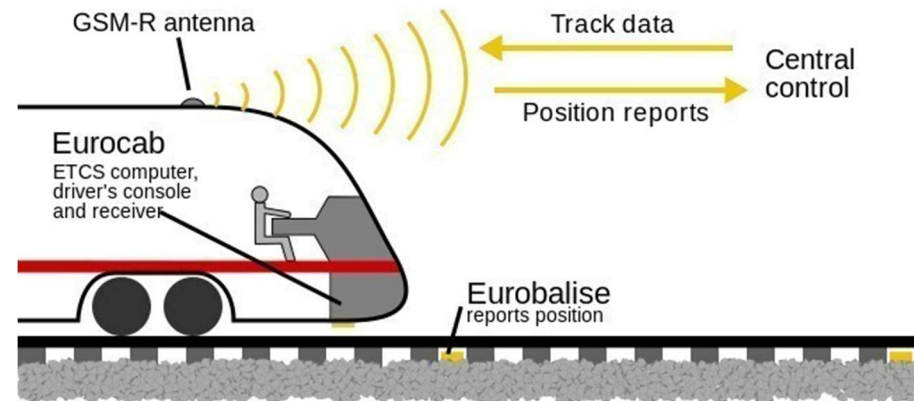
ETCS Nivel 3

Al igual que en el nivel 2, se trata de un sistema de transmisión continua bidireccional y supervisión continua, sin embargo, este nivel no está basado en los circuitos de vía, sino en la ubicación de los trenes gracias al GSM-R o al GPS/GLONASS/Galileo. El nivel 3 cuenta con cantones móviles, en lugar de fijos, por lo que se podría decir que se trata de un sistema de control equivalente al CBTC, explicado anteriormente para ferrocarriles metropolitanos.

Además de la ventaja en términos de capacidad que supone el cantón móvil, la eliminación de los circuitos de vía y contadores de eje supone un importante ahorro tanto en instalación como en mantenimiento.

Este nivel aún está en desarrollo, debido, principalmente, al problema que presenta asegurar la integridad del tren sin contar con circuitos de vía ni contadores de eje.

La puesta en servicio del ETCS nivel 3 facilitaría en gran medida la llegada del tren interurbano de alta velocidad autónomo.



A continuación, se incluye, a modo de resumen, una tabla comparativa con las principales características de los tres niveles de ETCS desarrollados.

	Comunicación tren-tierra	Supervisión	Señalización lateral	Detección del tren e integridad
Nivel 1	Puntual a través de balizas	Continua	Necesaria	Mediante equipos de vía
Nivel 2	Continua por radio (RBC)	Continua	Opcional	Mediante equipos de vía
Nivel 3	Continua por radio (RBC)	Continua	No necesaria	Supervisada por el tren