

Trabajo Fin de Máster:

Incorporación de servicios ferroviarios de mercancías a una línea de viajeros. Plan de explotación



Autor: Marco José Mayoral van Son

Índice

FICHA TÉCNICA	1
MEMORIA	3
1. DESCRIPCIÓN BREVE: INTRODUCCIÓN Y RESUMEN	5
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	6
3. TAREAS	7
4. PLANIFICACIÓN	8
5. DESARROLLO	9
5.1. Información de partida (Inputs).....	9
5.1.1. Descripción general de la infraestructura.....	9
5.1.2. Principales condicionantes	10
5.2. Definición y dimensionamiento de los servicios.....	11
5.2.1. Elección de la locomotora	11
5.2.2. Elección del material remolcado	19
5.2.3. Constitución de los trenes tipo y dimensionamiento de los servicios ferroviarios.....	21
5.3. Cálculo de los tiempos de ciclo.....	25
5.3.1. Tiempos de recorrido (marchas tipo)	25
5.3.2. Tiempos de carga y descarga de mercancías.....	28
5.4. Encaje de los servicios ferroviarios de mercancías en la malla de explotación	31
5.5. Dimensionamiento de la flota	35
5.5.1. Dimensionamiento del material rodante.....	35
5.5.2. Dimensionamiento del número de maquinistas necesario	38
6. CONCLUSIONES	40
7. APORTACIONES	41
ANEXO 1. MATERIAL RODANTE	43
ANEXO 2. SIMULACIÓN DE MARCHAS TIPO.....	47
ANEXO 3: HORARIOS DE LOS SERVICIOS FERROVIARIOS.....	51

FICHA TÉCNICA

Autor del Trabajo Fin de Máster

Marco José Mayoral van Son



Directora del Trabajo Fin de Máster

Carolina Sanz Pecharromán



Máster en Sistemas Ferroviarios. Curso 2015-2016

Universidad Politécnica de Comillas

Título del Trabajo

Incorporación de servicios ferroviarios de transporte de mercancías a una línea de viajeros.

Plan de explotación

Resumen de las principales ideas desarrolladas

El presente trabajo aborda la incorporación de servicios ferroviarios de mercancías a una línea planificada inicialmente para el tráfico de viajeros, estableciéndose un plan de explotación para el tráfico mixto.

Este plan de explotación se ha desarrollado partiendo de una información previa, que sirve como input del trabajo, como es el trazado de la línea, la malla de servicios de viajeros, la demanda prevista por tipo de mercancía que puede captar el ferrocarril y los intervalos mínimos de sucesión, que vienen marcados por la señalización.

La primera tarea realizada ha sido la elección del material rodante, tanto la locomotora como los vagones para cada tipo de mercancía, constituyendo los trenes tipo para los diferentes servicios ferroviarios y dimensionando el número de servicios al día para cubrir la demanda prevista. Para la elección de la locomotora se ha realizado un análisis comparativo entre una de tracción eléctrica y una bitracción diésel-eléctrica, evaluando las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas en la explotación, así como la carga máxima que pueden remolcar considerando la pendiente característica del trazado y una velocidad mínima que permita la explotación conjunta del tráfico mixto en la red. A partir de esta carga máxima remolcable se cuantifica el número de vagones que puede arrastrar cada locomotora, estableciéndose los trenes tipo.

Una vez constituidos los trenes tipo para cada mercancía y dimensionado el número de servicios diarios, se calculan los tiempos de ciclo, compuestos por los tiempos de recorrido (marchas tipo) y los tiempos de carga y descarga en terminales. Los tiempos de recorridos han sido calculados por medio del software de simulación de marchas tipo CRONOS, en desarrollo por Ineco, aplicándose posteriormente unos márgenes de seguridad que den mayor robustez a la malla, evitando que retrasos en algunos servicios debidos a incidencias puntuales afecten al conjunto de la explotación. Los tiempos de carga y descarga en terminales se han estimado con base en el rendimiento de diferentes equipos, cuantificando el equipamiento necesario en estas áreas que garantice unos adecuados tiempos de ciclo.

El siguiente paso ha sido el encaje de los servicios de mercancías en la malla de viajeros. Para ello, conocidos los tiempos de recorrido, se han establecido las horas de salida y las paradas intermedias necesarias para que los intervalos mínimos de sucesión entre los diferentes servicios se respeten.

Finalmente, se ha dimensionado la flota ferroviaria necesaria para cumplir con los requerimientos establecidos.

MEMORIA

1. DESCRIPCIÓN BREVE: INTRODUCCIÓN Y RESUMEN

El presente trabajo plantea la incorporación de servicios ferroviarios de mercancías a una línea planificada inicialmente para el transporte de viajeros, estableciendo un plan de explotación para el tráfico mixto.

La línea ferroviaria objeto de estudio se trata de una vía doble electrificada y su trazado, que discurre en paralelo a una autopista, conecta diversos puntos de generación y atracción de tráfico de mercancías, como son un puerto, una cementera y una terminal logística, lo que favorece la posibilidad de ampliación del uso de esta línea ferroviaria para tráficos de mercancías entre estas áreas, que podrán ser captados de la carretera.

El estudio parte de la información disponible, que consiste en el trazado de la línea, la programación de los servicios de viajeros, la estimación de demanda por tipo de mercancía para el año horizonte establecido y los tiempos mínimos de sucesión entre los distintos tipos de servicios ferroviarios, determinados por la señalización.

En este documento de memoria se describe la metodología empleada para la realización del plan de explotación, que se resume de forma breve a continuación.

El primer paso consiste en la elección del material rodante (locomotora y vagones) que mejor se adapte a las necesidades de transporte, la constitución de los trenes tipo en función de la potencia de la locomotora y la carga máxima de los vagones, el cálculo de volumen máximo de mercancías que puede transportar cada servicio, y, con ello, el dimensionamiento de la oferta diaria de servicios suficiente para cubrir la demanda prevista para cada tipo de mercancía.

Una vez definidos los trenes tipo y dimensionados el número de servicios diarios necesarios, se calculan los tiempos de ciclo de cada expedición, compuestos por los tiempos de recorrido en carga (a través de un software de simulación de marchas tipo) y los tiempos de carga y descarga en las terminales de mercancías.

El siguiente paso ha sido el encaje de los servicios de mercancías en la malla de viajeros. Para ello, conocidos los tiempos de recorrido, se han establecido las horas de salida y las paradas intermedias necesarias en los apartaderos para que los intervalos mínimos de sucesión entre los diferentes servicios se respeten en todo momento.

Finalmente, se ha dimensionado la flota ferroviaria y el personal necesario para cumplir con los requerimientos establecidos.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la posibilidad y viabilidad de incorporar una serie de servicios ferroviarios de mercancías a una línea en la que sólo operan servicios de viajeros, y establecer un plan de explotación para el tráfico mixto en el ámbito de estudio.

Con esto se pretende presentar la opción del transporte ferroviario de mercancías como alternativa al transporte por carretera, con el objetivo de conseguir una mejor optimización de los recursos y materiales además de una mayor eficiencia económica, social y medioambiental.

Así, la captación por parte del ferrocarril de tráfico de mercancías que actualmente son transportados en camión, reduce el tráfico pesado en carretera y, por tanto, las externalidades negativas que este modo de transporte genera, tales como:

- Congestión en las carreteras
- Altos niveles de contaminación acústica y ambiental
- Deterioro de las infraestructuras viarias, debido al elevado peso de los camiones
- Riesgos para la seguridad en la circulación

Para lograr este objetivo principal, se plantean varios objetivos parciales, que se describen a continuación:

- Elección del material rodante (tanto locomotora como vagones) que mejor se adapte a las necesidades de transporte, buscando optimizar el número de servicios diarios necesarios y garantizar una velocidad mínima de circulación en rampa característica que permita operar los servicios de mercancías sin alterar la velocidad comercial de los trenes de viajeros
- Dimensionamiento adecuado de los equipos de carga y descarga en las terminales (puerto, cementera y plataforma logística) con base en su rendimiento para garantizar unos tiempos de ciclo apropiados, que supongan un mejor aprovechamiento del material rodante
- Ajuste de los servicios de mercancías en la malla de explotación, que permita la operación del tráfico mixto cumpliendo los intervalos mínimos de sucesión entre servicios y respetando ciertas bandas horarias para labores de mantenimiento
- Dimensionamiento adecuado de la flota ferroviaria y del personal necesario para cubrir la demanda de transporte de mercancías existente de forma fiable

3. TAREAS

La realización de este trabajo se ha estructurado en las siguientes tareas y subtareas:

- Recopilación de la información de partida (inputs)
 - Trazado de la línea
 - Horarios y frecuencias establecidas para los servicios de viajeros
 - Demanda prevista de tráfico de mercancías
 - Intervalos mínimos de sucesión entre trenes
- Definición y dimensionamiento de los servicios
 - Elección de la locomotora
 - Elección del material remolcado
 - Constitución de los trenes tipo y dimensionamiento de los servicios ferroviarios
- Cálculo de los tiempos de ciclo:
 - Tiempos de recorrido en carga (marchas tipo)
 - Tiempos de carga y descarga de mercancías en las terminales
- Encaje de los servicios ferroviarios de mercancías en la malla de explotación
 - Encaje de los servicios de mercancías
 - Definición de bandas de mantenimiento
- Dimensionamiento de la flota y los recursos
 - Dimensionamiento del material rodante
 - Dimensionamiento de la plantilla de maquinistas necesaria
- Conclusiones

4. PLANIFICACIÓN

En este apartado se muestra el cronograma con la distribución de las tareas, con sus correspondientes subtareas, desarrolladas para la realización del plan de explotación y sus tiempos de realización:

Figura 1 Cronograma de tareas desarrolladas

TAREAS (Subtareas)	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE PARTIDA					
DEFINICIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS SERVICIOS					
<i>Elección de la locomotora</i>					
<i>Elección material remolcado</i>					
<i>Tren tipo y dimensionamiento servicios</i>					
CÁLCULO DE LOS TIEMPOS DE CICLO					
<i>Tiempos de recorrido en carga (marchas tipo)</i>					
<i>Tiempos de carga y descarga</i>					
ENCAJE EN MALLA DE EXPLOTACIÓN					
<i>Encaje de los servicios de mercancías</i>					
<i>Definición de bandas de mantenimiento</i>					
DIMENSIONAMIENTO DE FLOTA Y RECURSOS					
<i>Dimensionamiento material rodante</i>					
<i>Dimensionamiento plantilla maquinistas</i>					
CONCLUSIONES					
REDACCIÓN DEL DOCUMENTO DE MEMORIA					

5. DESARROLLO

5.1. Información de partida (Inputs)

5.1.1. Descripción general de la infraestructura

La línea en la que se estudia la implantación de servicios de mercancías tiene una longitud de 250 km de vía doble electrificada, y su trazado discurre en paralelo a una autovía.

Esta línea ferroviaria tiene su origen en un puerto, y conecta cuatro estaciones de viajeros (A, B, C y D). En el área de influencia de esta línea se sitúan una fábrica cementera y una terminal logística, por lo que cobra interés la posibilidad de desarrollar en ambos casos ramales de conexión de la línea con estas instalaciones, que permita el trasvase modal del tráfico de mercancías que generan estos puntos de la carretera al ferrocarril.

Además, el tramo estudiado cuenta con 2 apartaderos, que pueden permitir el adelantamiento entre trenes que circulan a distintas velocidades, si las necesidades de operación lo requiriesen.

El siguiente esquema y tabla muestran la ubicación de todos los puntos de interés citados en la línea de ferrocarril:

Figura 2 Esquema de la línea ferroviaria

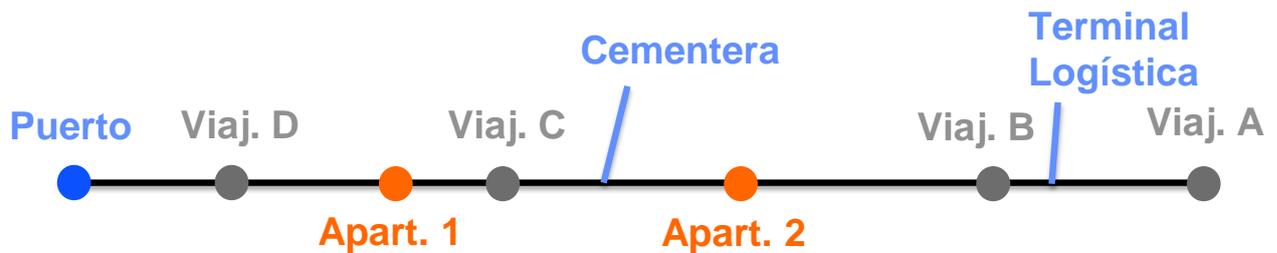


Tabla 1 Situación de los puntos de interés

PUNTO DE INTERÉS	TIPO DE TRÁFICO	P.K.
Puerto	Mercancías	0,000
Estación D	Viajeros	50,000
Apartadero 1		80,000
Estación C	Viajeros	100,000
Cementera	Mercancías	125,000
Apartadero 2		150,000
Estación B	Viajeros	200,000
Plataforma Logística	Mercancías	210,000
Estación A	Viajeros	250,000

5.1.2. Principales condicionantes

La información de partida necesaria para abordar el estudio para la incorporación de servicios ferroviarios de mercancías a una línea de viajeros la siguiente:

Trazado de la línea ferroviario:

- Rampa máxima: 19,5 milésimas (influye en el efecto rasante de la resistencia al avance del tren)
- Radio mínimo: 530 metros (influye en el efecto curva de la resistencia al avance del tren)

La rampa máxima incrementada por el efecto curva constituye la rampa característica, que determina la carga máxima que puede remolcar una locomotora a una determinada velocidad.

Demanda prevista de tráfico de mercancías:

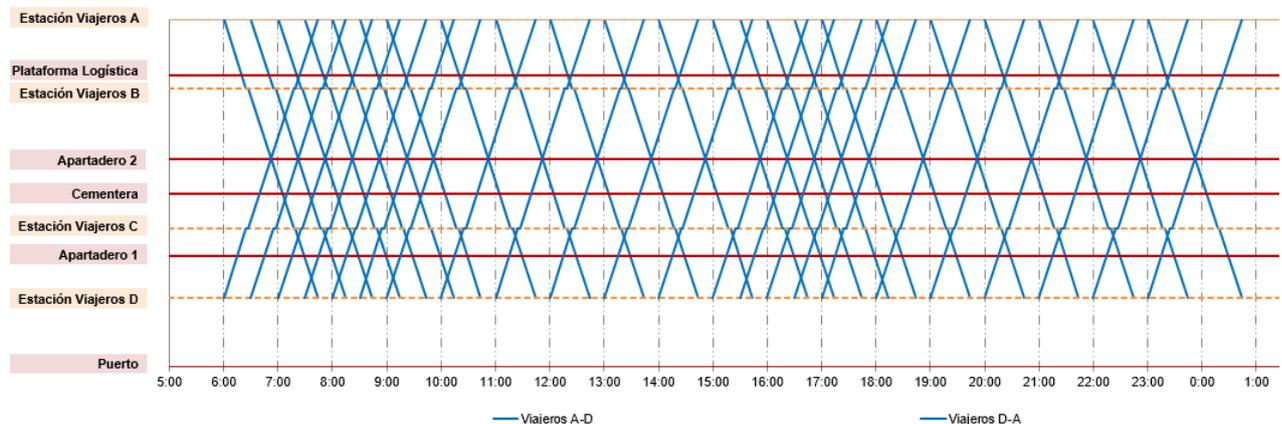
La demanda de mercancías determina el dimensionamiento de los servicios ferroviarios, a partir de la carga máxima que pueda remolcar cada locomotora en función de sus características y los condicionantes del trazado.

A continuación se indica la demanda prevista de tráfico de mercancías en el año horizonte:

- Del puerto a la plataforma logística: 300.000 toneladas de mercancía contenerizada al año
- De la plataforma logística al puerto: 300.000 toneladas de mercancía contenerizada al año
- Del puerto a la cementera: 450.000 toneladas de clínker al año
- De la cementera al puerto: 450.000 toneladas de cemento al año

Malla existente de los servicios ferroviarios de transporte de viajeros

Los servicios ferroviarios de viajeros conectan las estaciones A, B, C y D con una frecuencia de una hora en hora valle, que aumenta a media hora en los periodos punta, que tienen lugar entre las 6:00 y las 10:00 y entre las 15:00 y las 18:00. La velocidad comercial es de 120 kilómetros/hora y realizan paradas de 2 minutos en las estaciones intermedias.



Los servicios de mercancías estimados para cubrir la demanda prevista serán encajados en esta malla.

Intervalo mínimo de sucesión entre trenes

Es el mínimo tiempo al que pueden circular dos trenes (precedente y perseguidor) sin que el tren perseguidor se vea perturbado por la marcha del precedente. El intervalo mínimo de una línea es el máximo de los intervalos mínimos en cada punto de la línea.

Viene determinado por la señalización, el tipo de material móvil, el tipo de conducción y los tiempos de parada mínimos en estación. A este valor teórico se le añade un margen de tiempo para ajustar la malla, con el objetivo de dar robustez a la malla, y evitar que los retrasos en un tren afecten a la circulación del resto de trenes.

En el presente trabajo, al existir dos tipos de circulaciones (viajeros y mercancías), se toman como referencia los siguientes tiempos mínimos de sucesión:

- Tren de viajeros seguido por tren de mercancías: 4 minutos.
- Tren de mercancías seguido por tren de viajeros: 4 minutos.
- Tren de mercancías seguido por tren de mercancías: 7 minutos.

5.2. Definición y dimensionamiento de los servicios

Una vez establecida la información de partida para el presente estudio se pasa a dimensionar las necesidades de material rodante para cubrir la demanda de mercancías estimada.

5.2.1. Elección de la locomotora

Para la simulación de la explotación de los servicios de transporte de mercancías en la línea analizada se ha realizado un estudio comparativo entre una locomotora de tracción diesel-eléctrica, concretamente la locomotora 3600 de CAF, serie 601, en su configuración de seis ejes y una locomotora eléctrica, la serie 253 de Bombardier.

Se descarta la tracción diesel pura por sus mayores emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero así como por su menor rendimiento.

A continuación se muestran las principales locomotoras que van a ser analizadas y sus características:

Figura 3 Características de las locomotoras a analizar

BITRAC - Serie 601 Caf				Locomotora 253 Bombardier			
							
CARACTS. BÁSICAS	Pot. rég. eléctrico	4.450 kW		CARACTS. BÁSICAS	Potencia	5.200 kW	
	Clasif. UIC	Co'Co'	6 ejes		Clasif. UIC	Bo'Bo'	4 ejes
	W _{loc} =	130 t	1.275,3 kN		W _{loc} =	87 t	853,5 kN
	Long loc =	22,4 m			Long loc =	18,9 m	
	v máx =	120 km/h		v máx =	140 km/h		
ARRANQUE v = 0 km/h	F _m arranque =	440 kN	44,9 t	ARRANQUE v = 0 km/h	F _m arranque =	300 kN	30,6 t
	μ _o =	0,34			μ _o =	0,34	
	F _{adh} arranque =	433,6 kN	44,2 t		F _{adh} arranque =	290,2 kN	29,58 t
RAMPA	v mínima =	37,0 km/h		RAMPA	v mínima =	62,0 km/h	
	F _m =	440,0 kN	44,9 t		F _m =	300,0 kN	30,6 t
	F _{adh} =	329,4 kN	33,6 t		F _{adh} =	202,0 kN	20,6 t

Fuente: Fichas técnicas del fabricante (CAF y Bombardier)

Con las características técnicas de la locomotora se han calculado las curvas correspondientes al esfuerzo de la locomotora, el esfuerzo máximo por adherencia durante la marcha y la resistencia total al avance del tren durante la marcha, con base en la Norma Técnica NT-GGC-6.

- **Cálculo del esfuerzo de la locomotora:**

$$F = \frac{P_{loc}}{v} \quad (kN)$$

$P_{loc} \equiv$ potencia de la locomotora (kW)

$v \equiv$ velocidad (m/s)

- **Cálculo del esfuerzo máximo por adherencia durante la marcha:**

$$F_{\mu} = \mu * W_{loc} \quad (kN)$$

$W_{loc} \equiv$ peso de la locomotora (t)

$\mu \equiv$ coeficiente de adherencia

Existen numerosas fórmulas experimentales para el cálculo del coeficiente de adherencia en función de la velocidad. La adherencia depende no sólo de las características propias de la locomotora y de la vía, sino también de circunstancias externas tales como humedad, lluvia, limpieza de carril y llanta, etc. A continuación se presentan algunas de estas fórmulas:

Incorporación de servicios ferroviarios de mercancías a una línea de viajeros

$$\mu = \mu_0 * \left(0,2115 + \frac{33}{v+42}\right) \quad \text{FÓRMULA RENFE}$$

$$\mu = \mu_0 * \left(\frac{8+0,1*v}{8+0,2*v}\right) \quad \text{NOUVION (EJES DESACOPLADOS)}$$

$$\mu = \mu_0 * \left(\frac{8+0,1*v}{8+0,18*v}\right) \quad \text{NOUVION (EJES ACOPLADOS)}$$

$$\mu = \mu_0 * \left(\frac{1}{0,01*v+1}\right) \quad \text{PARODI - TETREL}$$

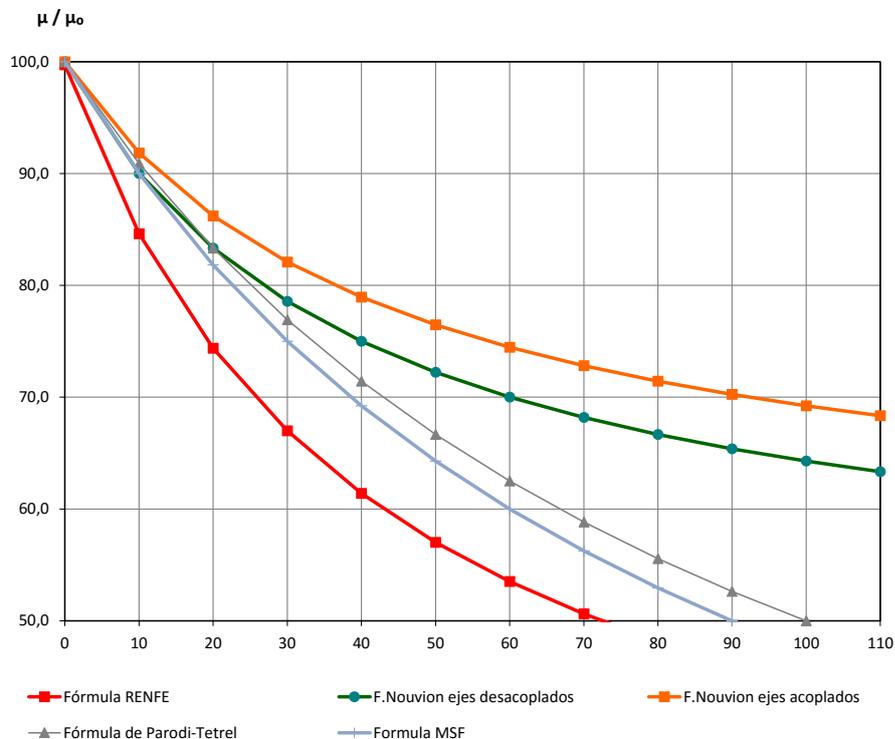
$$\mu = \mu_0 * \left(\frac{1}{0,04*v+1}\right) \quad \text{MÁSTER MSF}$$

$\mu_0 \equiv$ coeficiente estático de adherencia a la velocidad $v = 0 \text{ km/h}$
(dado por el fabricante. El valor normalmente oscila entre 0,2 y 0,4).

En la gráfica siguiente se muestra la representación comparada de las diferentes fórmulas de adherencia.

Se observa que la fórmula utilizada tradicionalmente por Renfe, es más conservadora que otras fórmulas de adherencia, siendo la de Nouvion para ejes acoplados en la que menor variación se produce en el coeficiente de adherencia en función de la velocidad.

Figura 4 Comparativa entre fórmulas de adherencia



Para este estudio se ha aplicado la fórmula de adherencia de Nouvion de ejes desacoplados, que responde a unas condiciones favorables de adherencia rueda-carril (baja humedad y probabilidad baja de suciedad en el carril).

- **Cálculo de la resistencia total al avance del tren durante la marcha:**

$$R = E_{loc} + (r * W_Q) + E_i \quad (kN)$$

$E_{loc} \equiv$ Resistencia al avance de la locomotora durante la marcha, en línea horizontal, recta y a velocidad constante (kN)

$$E_{loc} = (0,65 * W_{loc} + 13 * n + 0,01 * W_{loc} * v + 0,03 * v^2) * \frac{9,80665}{1000}$$

$W_{loc} \equiv$ peso de la locomotora (t)

$n \equiv$ número de ejes de la locomotora

$v \equiv$ velocidad (km/h)

$r * W_Q \equiv$ Resistencia al avance durante la marcha en composiciones de trenes de mercancías, en línea horizontal, recta y a velocidad constante (kN)

$$r = (2 + \frac{v^2}{1600}) * \frac{9,80665}{1000} \quad (kN/t)$$

$W_Q \equiv$ Carga remolcada por la locomotora (t)

$$E_i = i * (W_{loc} + W_Q) * \frac{9,80665}{1000} \quad (kN)$$

$W_{loc} \equiv$ peso de la locomotora (t)

$W_Q \equiv$ Carga remolcada por la locomotora (t)

$i \equiv$ pendiente (‰)

La carga máxima remolcable por la locomotora, se obtiene como la más restrictiva entre las cargas máximas arrancables y remolcables por potencia y adherencia:

$$W_Q = Q = \min(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4)$$

Siendo:

- Q_1 : Carga máxima arrancable por el esfuerzo de arranque de la locomotora:

$$Q_1 = \frac{1000 * F_m}{r_a + i} - W_{loc} \quad (t)$$

- Q_2 : Carga máxima arrancable por adherencia en el arranque:

$$Q_2 = \frac{1000 * F_{adh}}{r_a + i} - W_{loc} \quad (t)$$

- Q_3 : Carga máxima remolcable por potencia:

$$Q_3 = \frac{1000 * F_c - (E_{loc} + W_{loc} * (t+1))}{r+i+1} \quad (t)$$

(La fórmula se calcula para los parámetros de régimen continuo)

- Q_4 :Carga máxima remolcable por límite de adherencia:

$$Q_4 = \frac{1000 * F_{\mu} - (E_{loc} + W_{loc} * (t+1))}{r+i+1} \quad (t)$$

(La fórmula se calcula para los parámetros de régimen continuo)

Donde:

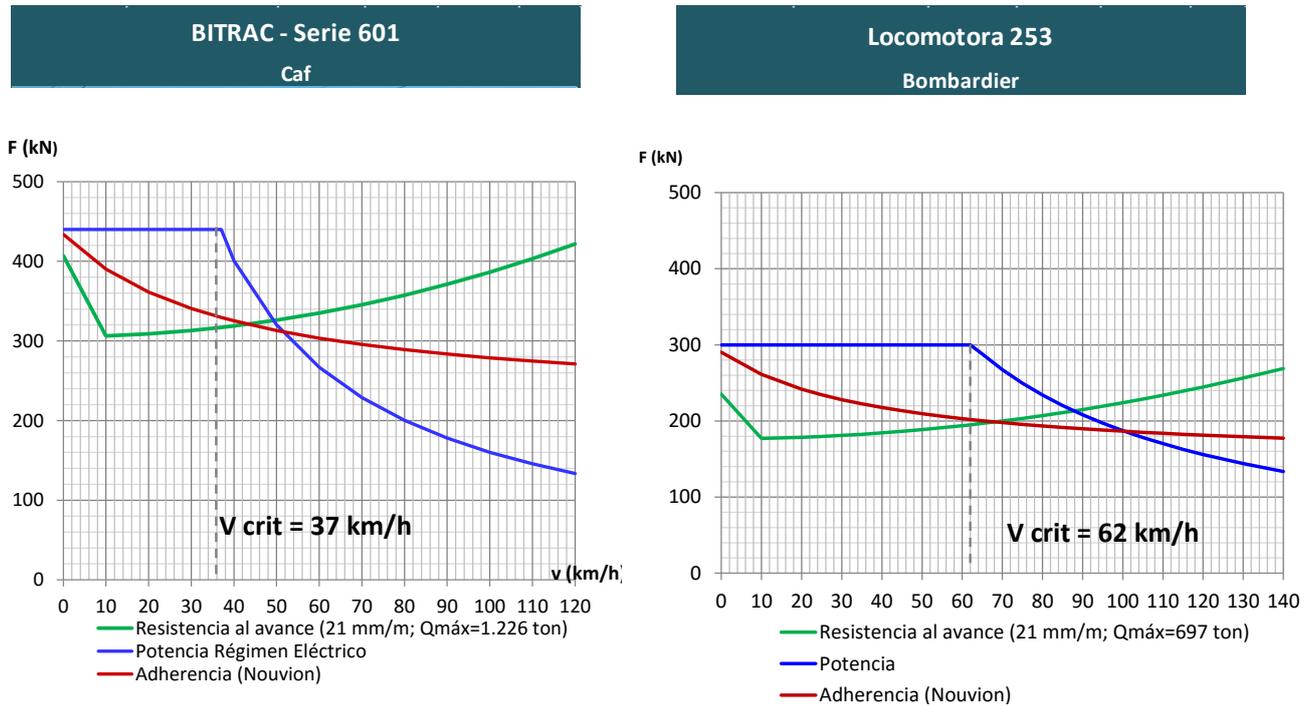
$r_a \equiv$ resistencia específica al arranque del tren $(\frac{daN}{t})$.

$r_a \left(\frac{daN}{t}\right)$	$i \text{ (‰)}$
7	< 15
8	15 - 20
9	21 - 25
10	26 - 29
11	30 - 33
12	34 - 37
13	38 - 41
14	42 - 45
15	> 45

A partir de estas fórmulas, se ha calculado la carga máxima remolcable en cada una de las dos locomotoras, para su velocidad crítica, que es la mínima velocidad en que la locomotora circula en régimen continuo. El esfuerzo en régimen continuo es el máximo que puede desarrollar de manera indefinida la locomotora sin dañar sus elementos constituyentes y queda definido por un esfuerzo a una determinada velocidad. Por debajo de la velocidad crítica, la locomotora entra en régimen unihorario. El esfuerzo en régimen unihorario es el esfuerzo máximo que se puede desarrollar de manera continua durante una hora, partiendo de los equipos fríos y sin afectar a los elementos constituyentes de la locomotora. El esfuerzo en régimen unihorario es mayor que el correspondiente en régimen continuo, y una locomotora con los motores calientes sólo puede utilizar el régimen unihorario durante un escaso periodo de tiempo (hasta 5 minutos).

El objetivo es identificar la locomotora que, para una misma rampa característica (en este caso de 21 milésimas), puede remolcar una mayor cantidad de carga. De este modo, se configuran trenes más eficientes y se minimizan los servicios de mercancías, favoreciendo un mejor encaje con los servicios de viajeros en la malla de explotación.

Figura 5 Comparativa de cargas máximas remolcables por las locomotoras a su velocidad crítica



Carga arrancable:

- Q₁: Límite por potencia = 1.365,1 ton
- Q₂: Límite por adherencia = 1.343,3 ton

Carga remolcable:

- Q₃: Límite por potencia = 1.679,3 ton
- Q₄: Límite por adherencia = **1.225,8 ton**

Carga arrancable:

- Q₁: Límite por potencia = 932,4 ton
- Q₂: Límite por adherencia = 899,0 ton

Carga remolcable:

- Q₃: Límite por potencia = 1.075,2 ton
- Q₄: Límite por adherencia = **696,8 ton**

Como se ha señalado anteriormente, la carga máxima se calcula como la mínima resultante entre la carga máxima arrancable, limitada por el esfuerzo de arranque de la locomotora y por la adherencia en el arranque, y la carga máxima remolcable, limitada por el régimen continuo, régimen unihorario (en el caso de locomotoras eléctricas) y la adherencia.

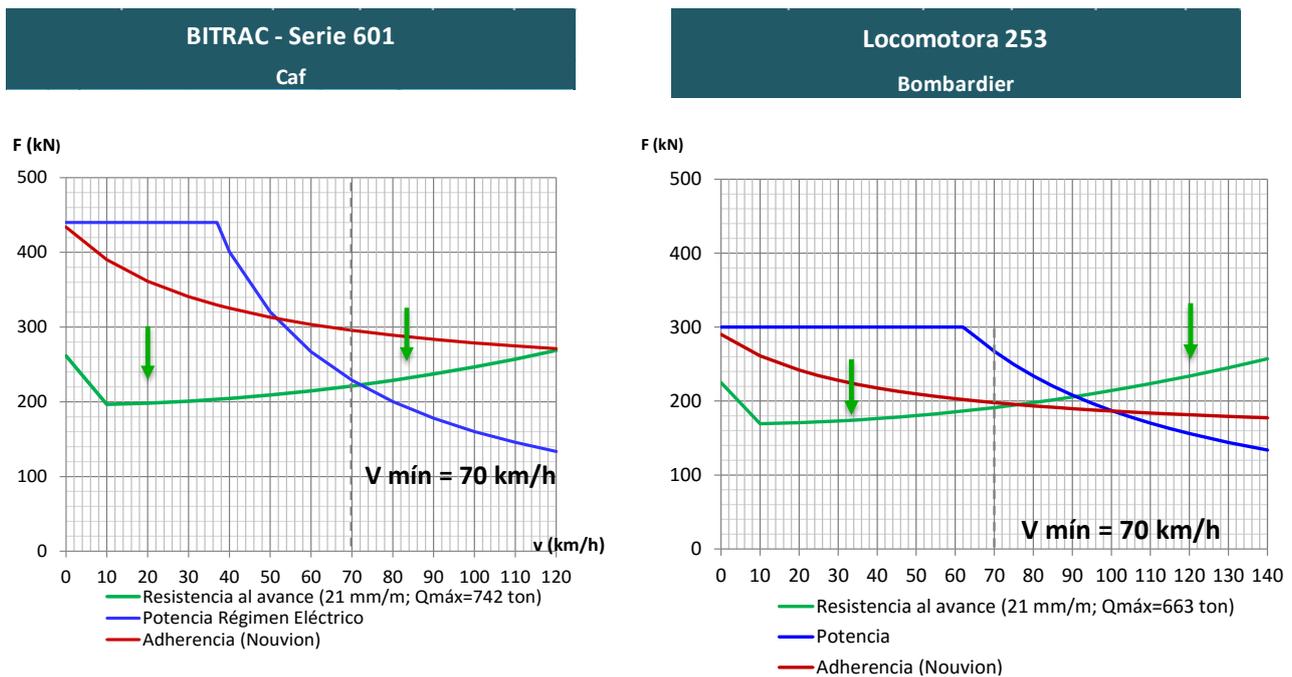
En ambos casos, para la velocidad crítica de cada locomotora, la carga más restrictiva es la remolcable limitada por la adherencia, como puede comprobarse en ambas curvas, donde, el valor de la adherencia es inferior al de la potencia.

La capacidad de transporte de la locomotora Bitrac 3.600- Serie 601 (1.225,8 toneladas) es considerablemente mayor que la de la eléctrica 253 (696,8 toneladas), si bien la velocidad crítica de esta última (62 km/h) supera con claridad a la de la Bitrac (37 km/h).

Este factor cobra relevancia al tratarse de la explotación de una línea de tráfico mixto, en la que una velocidad excesivamente reducida de los trenes de mercancías en ciertos puntos del trazado puede condicionar la velocidad comercial de los trenes de viajeros.

Por este motivo, se realiza un nuevo análisis comparativo de la capacidad de transporte de cada locomotora para una misma velocidad, que se fija en 70 km/h con el objetivo de garantizar una adecuada explotación de la línea de tráfico mixto:

Figura 6 Comparativa de cargas máximas remolcables por las locomotoras para una velocidad mínima de 70 km/h



Carga arrancable:

- Q₁: Límite por potencia = 1.365,1 ton
- Q₂: Límite por adherencia = 1.343,3 ton

Carga remolcable:

- Q₃: Límite por potencia = **741,6 ton**
- Q₄: Límite por adherencia = 993,1 ton

Carga arrancable:

- Q₁: Límite por potencia = 932,4 ton
- Q₂: Límite por adherencia = 899,0 ton

Carga remolcable:

- Q₃: Límite por potencia = 924,9 ton
- Q₄: Límite por adherencia = **662,8 ton**

Como se puede apreciar en ambos casos, al aumentar la velocidad mínima, el valor de la fuerza de adherencia disminuye, desplazándose la curva de adherencia hacia abajo. Aun así, el incremento en la velocidad mínima considerada hace que la carga máxima que puede remolcar la locomotora Bitrac pase a estar limitada por la potencia, mientras que la carga máxima remolcable por la 253, sigue viniendo determinada por la adherencia.

Considerando una velocidad mínima en el recorrido de 70 km/h, la carga máxima remolcable por la locomotora Bitrac para a ser 741,6 toneladas (valor considerablemente inferior a la carga máxima en

velocidad crítica de 37 km/h), mientras que la locomotora 253 puede remolcar una carga máxima de 662,8 toneladas.

Por tanto, a igualdad de velocidad mínima (70 km/h), la locomotora Bitrac 3.600-Serie 601 admite una mayor cantidad de carga máxima remolcable (741,6 ton) que la locomotora 253 (662,8 ton), si bien la diferencia es menor que en el primer análisis realizado, basado en las velocidades críticas de cada una.

Además de una mayor capacidad de transporte de mercancías, la elección de la locomotora Bitrac supone un menor tiempo de maniobras en las terminales, que no están electrificadas. Así, el uso de una locomotora diesel-eléctrica permite que ésta misma sea la que posicione los vagones directamente en las vías de carga / descarga, reduciendo el número de maniobras dentro de la terminal y el tiempo de los ciclos de los distintos servicios de mercancías, optimizando los surcos disponibles. En las siguientes figuras se ilustran las maniobras necesarias para el posicionamiento de los vagones en la vía de carga / descarga en el caso de una locomotora eléctrica y en el caso de una locomotora diesel-eléctrica.

Figura 7 Maniobras de posicionamiento en la vía de carga/descarga con una locomotora eléctrica

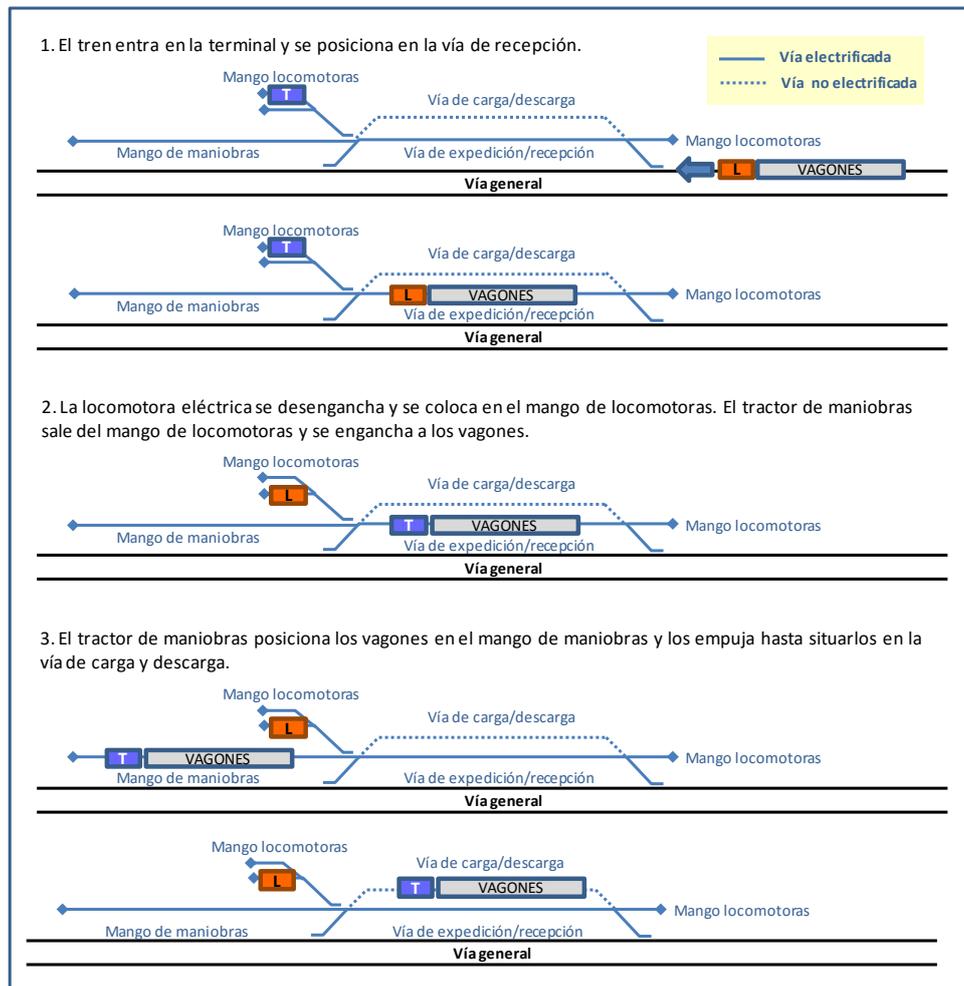
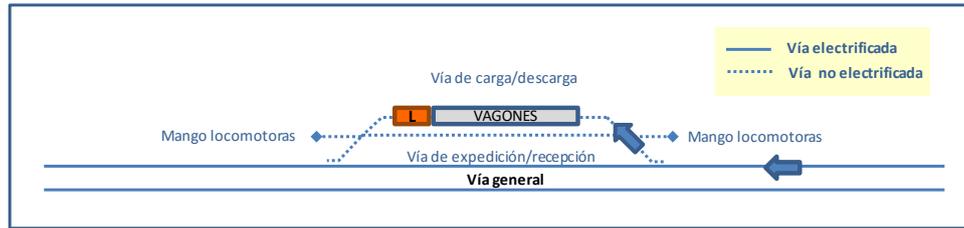


Figura 8 Maniobras de posicionamiento en la vía de carga/descarga con una locomotora híbrida diésel-eléctrica



Por lo tanto, la locomotora seleccionada para la prestación de los servicios de transporte de mercancías en la línea analizada es la Bitrac 3.600-Serie 601, fabricada por CAF.

5.2.2. Elección del material remolcado

Vagones plataforma portacontenedores

La elección del tipo de plataformas portacontenedores para los servicios de transporte entre el puerto y la plataforma logística se ha realizado teniendo en cuenta las características de los contenedores utilizados actualmente (TEU), que tienen una longitud de 6,096 metros (20 pies) y una carga media de 10 toneladas.

Se han considerado unas plataformas portacontenedores del tipo MMC/MMC1, cuya ficha técnica se incluye en el anexo 1 de material rodante. Estas plataformas tienen una longitud interior de 18,66 metros y una carga máxima de 61 toneladas, permitiendo el transporte de 3 contenedores TEU por plataforma. Su velocidad máxima es de 100 km/h.

Figura 9 Principales características de los contenedores y las plataformas portacontenedores

Características CONTENEDORES	
Carga (t)	10
Tara (t)	3
Longitud (m)	6,096
Características PLATAFORMAS	
Carga máx (t)	61
Tara (t)	19
Longitud int. (m)	18,660
Long. entre topes (m)	19,900
Contenedores/Plataforma	3
Velocidad máxima (km/h)	100



Fuente: Renfe Mercancías

Tolvas para el transporte de granel sólido

Los vagones elegidos para el transporte de clínker, del puerto a la cementera, y de cemento, de la cementera al puerto, son las tolvas cerradas tipo TTC9, específicas para el transporte de cenizas y cementos.

Estas tolvas tienen una tara de 23,1 toneladas, 14,24 metros de longitud entre los topes y admiten una carga máxima de 66,9 toneladas. La velocidad máxima a la que pueden circular es de 100 km/h.

En el anexo 1 de material rodante se incluyen sus características técnicas, que se muestran de forma resumida en la siguiente tabla:

Figura 10 Principales características de las tolvas para el transporte de cemento

Características TOLVAS	
Carga máx (t)	66,9
Tara (t)	23,1
Long. entre topes (m)	14,24
Velocidad máxima (km/h)	100



Fuente: Renfe Mercancías

En este tipo de tolvas, la carga y descarga se efectúa con ayuda de una fuente de alimentación exterior neumática a una presión de 2 Kg/cm². Los sistemas de carga y descarga neumáticos son preferibles a los de gravedad por las siguientes razones:

- El aislamiento del material en de las tolvas con sistemas neumáticos es mayor, evitando posibles filtraciones de agua que puedan deteriorar el cemento o clínker.
- Al tratarse de materiales compuestos por pequeñas partículas, en los sistemas de gravedad existe el riesgo de derrame de cemento o clínker a las vías, lo que supone tanto pérdidas económicas como contaminación. De hecho, la presencia de cemento en el balasto dificulta el drenaje, y las chispas producidas en el contacto rueda/carril en presencia de polvo de cemento aumenta el riesgo de quemado de este material.
- La carga y descarga de cemento por gravedad, provoca una gran concentración de polvo en la atmósfera, por lo que requiere sistemas de extracción.

En definitiva, los sistemas de carga y descarga suponen una menor contaminación, menor riesgo de atmósfera explosiva y menores riesgos para la salud. Estos sistemas son usados con mucha frecuencia.

Entre los inconvenientes de este sistema frente a los de gravedad, se encuentra la mayor complejidad del material rodante, siendo necesarios vagones específicos, de mayor coste y con un funcionamiento mecánico más complejo.

5.2.3. Constitución de los trenes tipo y dimensionamiento de los servicios ferroviarios

Una vez seleccionada la locomotora y los vagones para cada tipo de mercancía, y partir de la demanda a transportar, se procede a dimensionar cada uno de los trenes tipo que van a ser introducidos en la línea.

Se considera que los trenes de mercancías van a circular 300 días al año, por lo que para cada tipo de tráfico se obtiene la siguiente demanda diaria en toneladas:

<u>Tipo de tráfico</u>	<u>Toneladas/año</u>	<u>Toneladas/día</u>
Contenedores (Puerto- Plat. Logística)	300.000	1.000
Contenedores (Plat. Logística-Puerto)	300.000	1.000
Clinker (Puerto-Cementera)	450.000	1.500
Cemento (Cementera-Puerto)	450.000	1.500

Una vez estimadas las toneladas diarias a transportar, las toneladas brutas a remolcar diariamente se han obtenido teniendo en cuenta la tara y la carga máxima del material rodante según el caso.

A partir de la rampa máxima de cada uno de los itinerarios se ha obtenido la carga máxima y el número máximo de plataformas / tolvas que puede remolcar la locomotora en cada caso, obteniendo así el número de servicios diarios.

En función de la carga diaria a transportar y de la carga máxima remolcable se ha establecido el número mínimo de vagones por servicio que definen el “tren tipo” de cada escenario. Las características del tren tipo se calculan considerando que los vagones llevan la máxima carga aunque en la realidad puedan llevar menos. De este modo los cálculos de los tiempos de trayecto y de los ciclos de carga y descarga se realizan en la peor hipótesis, lo que permitirá contar con un cierto margen en la explotación.

Hay que señalar que la constitución del tren tipo viene determinada por las toneladas brutas remolcadas (TBR) que puede arrastrar cada locomotora. No obstante, existe una limitación adicional, ya que el tren no puede sobrepasar los 500 metros de longitud, por compatibilidad con la longitud de los andenes en las terminales de mercancías y con los apartaderos, cuya longitud no supera esta medida.

Tren tipo para el transporte de contenedores

En el caso del transporte de contenedores se ha considerado una carga media de 10 toneladas, un valor habitual en este tipo de transporte.

Demanda anual 300.000t t	Demanda diaria 1.000 t
Características CONTENEDORES	
Carga (t)	10
Tara (t)	3
Longitud (m)	6,096
Características PLATAFORMAS	
Carga máx (t)	61
Tara (t)	19
Longitud int. (m)	18,660
Long. entre topes (m)	19,900
Contenedores/Plataforma	3

Por lo tanto, para transportar una demanda diaria de 1.000 toneladas en contenedores por cada sentido entre el puerto y la terminal logística son necesarios 100 contenedores al día, repartidos en 34 plataformas (cada plataforma tiene capacidad para 3 contenedores, como se ha explicado en el epígrafe anterior).

La TBR (Toneladas Brutas Remolcadas) a transportar al día son 1.946 (946 toneladas de tara de contenedores y plataformas y 1.000 toneladas de carga neta) por sentido.

	Unidades	Tara (t)	Carga neta (t)	TBR (t)
Contenedores/día	100	300	1.000	1.946
Plataformas/día	34	646		
		946		

Cada conjunto de plataforma con tres contenedores supone una carga bruta de 58 TBR:

- Tara de la plataforma: 19 toneladas
- Tara de los tres contenedores: 9 toneladas
- Carga de los contenedores: 30 toneladas

Como se ha señalado en el punto 5.2.1, la locomotora seleccionada (Bitrac 3.600, Serie 601 de CAF), puede transportar un máximo de 741,6 TBRs (tara+carga), teniendo en cuenta que la rampa característica del trazado es de 21 milésimas.

Así, el tren tipo para el transporte de mercancía contenerizada, está constituido por una locomotora y 12 plataformas con 3 contenedores cada una (36 contenedores por tren), y su carga bruta es de 696 TBR.

Para cubrir la demanda diaria de 1.946 TBR por sentido, son necesarios 3 servicios ferroviarios por sentido y día.

En la tabla siguiente se resumen los datos del tren tipo para el transporte de contenedores y el número de servicios necesarios:

Incorporación de servicios ferroviarios de mercancías a una línea de viajeros

Rampa característica	21	%
Carga Máxima	741,6	t
Plataformas/tren	12	ud
Contenedores/tren	36	ud
Carga Neta	360	t
TBR reales	696	t
Servicios/sentido y día	3	servicios

Teniendo en cuenta la constitución del tren tipo y la longitud de cada uno de sus elementos, se obtiene la longitud total del tren:

Unidad	Cantidad	Longitud unitaria (m)	Longitud total (m)
Locomotora	1	22,41	22,41
Plataforma	12	19,90	238,80
Tren tipo	1	--	261,21

La longitud del tren tipo, claramente inferior a los 500 metros, hace compatible su circulación con la longitud de las zonas de carga/descarga en las terminales de mercancías y de los apartaderos.

La captación de demanda de mercancía contenerizada del ferrocarril a la carretera en el año horizonte, de 1.000 toneladas por sentido y día, supone un ahorro en el tráfico pesado en carretera de 100 camiones por sentido y día, considerando que cada camión transporte un TEU (10 toneladas). Esta carga de los camiones se ha obtenido de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera.

Tren tipo para el transporte de graneles sólidos

En el caso del transporte de graneles sólidos (Clinker, del puerto a la cementera y cemento, en sentido contrario) se utilizan tolvas con una carga de 66,9 toneladas.

Demanda anual	Demanda diaria
450.000t t	1.500 t

Características CONTENEDORES	
Carga (t)	66,9
Tara (t)	23,1
Longitud (m)	14,24

Para transportar una demanda diaria de 1.500 toneladas de granel sólido por cada sentido entre el puerto y la cementera son necesarias 23 tolvas por sentido y día, lo que, teniendo en cuenta su tara y su carga máxima supone 2.070 TBR (Toneladas Brutas Remolcadas)

	Unidades	Tara (t)	Carga neta (t)	TBR (t)
Tolvas/día	23	531	1.539	2.070

Como se ha señalado en el punto 5.2.1, la locomotora seleccionada (Bitrac 3.600, Serie 601 de CAF), puede transportar un máximo de 741,6 TBRs (tara+carga), teniendo en cuenta que la rampa característica del trazado es de 21 milésimas.

Así, el tren tipo para el transporte de granel sólido, está constituido por una locomotora y 8 tolvas y su carga bruta es de 720 TBR.

Para cubrir la demanda diaria de 2.070 TBR por sentido, son necesarios 3 servicios ferroviarios por sentido y día.

En la tabla siguiente se resumen los datos del tren tipo para el transporte de granel sólido y el número de servicios necesarios:

Rampa característica	21 ‰
Carga Máxima	741,6 t
Tolvas/tren	8 ud
Carga Neta	535 t
TBR reales	720 t
Servicios/sentido y día	3 servicios

Teniendo en cuenta la constitución del tren tipo y la longitud de cada uno de sus elementos, se obtiene la longitud total del tren:

Unidad	Cantidad	Longitud unitaria (m)	Longitud total (m)
Locomotora	1	22,41	22,41
Tolvas	8	14,24	113,92
Tren tipo	1	--	136,33

La longitud del tren tipo, claramente inferior a los 500 metros, hace compatible su circulación con la longitud de las zonas de carga/descarga en las terminales de mercancías y de los apartaderos.

La captación de demanda de transporte de clínker y cemento del ferrocarril a la carretera en el año horizonte, de 1.500 toneladas por sentido y día, supone un ahorro en el tráfico pesado en carretera de 75 camiones por sentido y día, considerando que cada camión transporta una media de 20 toneladas. Esta carga de los camiones se ha obtenido de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera.

5.3. Cálculo de los tiempos de ciclo

Los tiempos de ciclo para cada tipo de servicio se han obtenido de la suma de los tiempos de recorrido en carga, calculados mediante una simulación de marchas tipo, y de los tiempos de carga y descarga en las terminales.

5.3.1. Tiempos de recorrido (marchas tipo)

La simulación de marchas tipo permite obtener los tiempos de recorrido de cada servicio de transporte teniendo en cuenta las características del trazado en cada uno de los itinerarios y del material rodante.

Como se ha señalado anteriormente, las simulaciones se han realizado para los trenes tipo establecidos, considerando que los vagones llevan la máxima carga (741,6 TBR) aunque en la realidad puedan llevar menos (696 TBR para el tren tipo de contenedores y 720 TBR para el de granel sólido). Así, los cálculos de los tiempos de trayecto se realizan en la peor hipótesis, lo que permitirá contar con un cierto margen en la explotación.

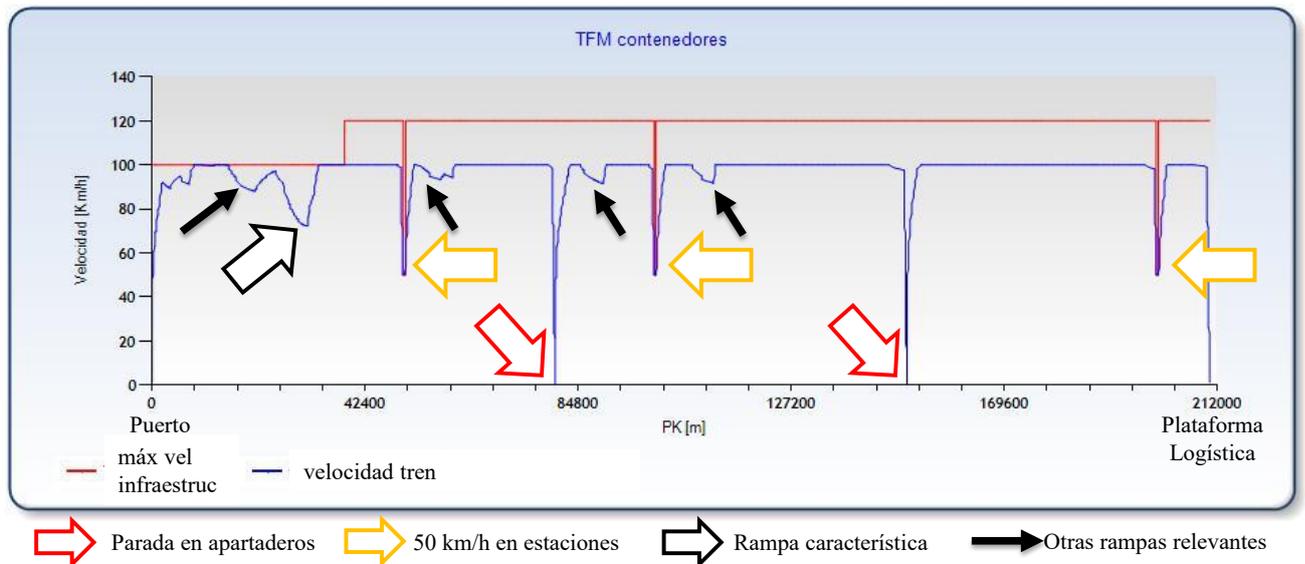
La simulación de marchas tipo se ha realizado con el software “CRONOS”, actualmente en desarrollo por Ineco, a partir de los siguientes inputs:

- Datos generales
 - Tipo de tráfico: viajeros, mercancías o mixto. En este caso, tráfico mixto
 - Ancho de vía: UIC (y tipo de carril UIC: 60, 54 o 45), ibérico o FEVE. En este caso, UIC-54
- Datos de trazado
 - Trazado en planta
 - Trazado en alzado
 - Puntos singulares: terminales de mercancías (puerto, cementera y terminal logística), estaciones de viajeros (A,B,C y D) y apartaderos (1 y 2)
- Características de la locomotora, en este caso Bitrac 3.600:
 - Peso: 130 t
 - Número de ejes: 6
 - Velocidad máxima (100 km/h) y en régimen continuo (37 km/h)
 - Aceleración máxima (1 m/s²) y deceleración máxima (0,6 m/s²)
 - Resistencia a rodadura
 - Curva de potencia de la locomotora

- Carga remolcada (en TBR)
- Paradas y limitaciones de velocidad
 - Se ha establecido una limitación de velocidad a 50 km/h al paso por estaciones de viajeros, por motivos de seguridad para los usuarios que se encuentren en el andén
 - Para cada tren tipo se ha simulado el trayecto sin paradas y con paradas en los apartaderos, con el objetivo de conocer los tiempos de viaje en ambas situaciones, para poder ajustar la malla de explotación en las distintas situaciones que se puedan dar.

A continuación se muestra, a modo de ejemplo, un gráfico distancia/velocidad obtenido en la simulación para el caso del tren portacontenedores, con parada en los 2 apartaderos, en su trayecto desde el puerto a la plataforma logística.

Figura 11 Ejemplo gráfico distancia velocidad. Tren de contenedores con paradas, trayecto de idas



En esta figura se observan las deceleraciones que se producen en las rampas más relevantes, y, de manera más significativa, en la rampa característica, en la que la velocidad desciende hasta los 72 km/h (no llega a caer hasta el mínimo establecido de 70 km/h debido a que la rampa no alcanza la longitud suficiente). También se aprecian los pasos a 50 km/h por las estaciones de viajeros y las paradas en los apartaderos 1 y 2.

En el anexo 2 de simulación de marchas tipo se muestran las gráficas distancia/velocidad para todos los trenes y trayectos

Una vez realizadas las simulaciones, se ha obtenido el tiempo de recorrido de los trenes, tanto a nivel global como entre los diferentes puntos singulares del trayecto.

Incorporación de servicios ferroviarios de mercancías a una línea de viajeros

A estos tiempos de recorrido entre puntos singulares se les ha añadido un margen de seguridad, con base en la norma UIC-451-1. El objetivo de estos márgenes de tiempo es dar mayor robustez a la malla, pudiendo asumir los retrasos puntuales que puedan sufrir los trenes. Si estos márgenes no se aplicasen, cualquier incidente que ocurriese durante la operación supondría un retraso en el horario que se iría transmitiendo al resto de los servicios.

Se han considerado los siguientes márgenes:

- 1 minuto por cada 100 kilómetros recorridos
- Un 3% adicional sobre el tiempo de recorrido en cada tramo

A continuación se muestran los tiempos de recorrido en las distintas situaciones:

Tabla 2 Tiempos de recorrido en el sentido Puerto-Cementería y Puerto-Plataforma Logística

ORIGEN		DESTINO		TIPO MERCANCÍA	TIPO TRAYECTO	TIEMPO	
Nombre	P.K.	Nombre	P.K.			BRUTO	MARGEN
Puerto	0,000	Viajeros D	50,000	Cemento	Sin parada	0:33:07	0:34:37
Viajeros D	50,000	Apartadero 1	80,000	Cemento	Sin parada	0:18:37	0:19:29
Apartadero 1	80,000	Viajeros C	100,000	Cemento	Sin parada	0:12:25	0:12:59
Viajeros C	100,000	Cementería	125,000	Cemento	Sin parada	0:16:06	0:16:50
Puerto	0,000	Viajeros D	50,000	Cemento	Con paradas	0:33:07	0:34:37
Viajeros D	50,000	Apartadero 1	80,000	Cemento	Con paradas	0:18:58	0:19:50
Apartadero 1	80,000	Viajeros C	100,000	Cemento	Con paradas	0:13:16	0:13:52
Viajeros C	100,000	Cementería	125,000	Cemento	Con paradas	0:16:06	0:16:50
Puerto	0,000	Viajeros D	50,000	Contenedores	Sin parada	0:33:07	0:34:37
Viajeros D	50,000	Apartadero 1	80,000	Contenedores	Sin parada	0:18:37	0:19:29
Apartadero 1	80,000	Viajeros C	100,000	Contenedores	Sin parada	0:12:25	0:12:59
Viajeros C	100,000	Apartadero 2	150,000	Contenedores	Sin parada	0:30:36	0:32:01
Apartadero 2	150,000	Viajeros B	200,000	Contenedores	Sin parada	0:30:14	0:31:38
Viajeros B	200,000	Plat. Logística	210,000	Contenedores	Sin parada	0:06:56	0:07:14
Puerto	0,000	Viajeros D	50,000	Contenedores	Con paradas	0:33:07	0:34:37
Viajeros D	50,000	Apartadero 1	80,000	Contenedores	Con paradas	0:18:58	0:19:50
Apartadero 1	80,000	Viajeros C	100,000	Contenedores	Con paradas	0:13:16	0:13:52
Viajeros C	100,000	Apartadero 2	150,000	Contenedores	Con paradas	0:30:57	0:32:23
Apartadero 2	150,000	Viajeros B	200,000	Contenedores	Con paradas	0:31:00	0:32:26
Viajeros B	200,000	Plat. Logística	210,000	Contenedores	Con paradas	0:06:56	0:07:14

Incorporación de servicios ferroviarios de mercancías a una línea de viajeros

Tabla 3 Tiempos de recorrido en el sentido Cementera- Puerto y Plataforma Logística- Puerto

ORIGEN		DESTINO		TIPO MERCANCÍA	TIPO TRAYECTO	TIEMPO	
Nombre	P.K.	Nombre	P.K.			BRUTO	MARGEN
Cementera	125,000	Viajeros C	100,000	Cemento	Sin parada	0:16:06	0:16:50
Viajeros C	100,000	Apartadero 1	80,000	Cemento	Sin parada	0:12:36	0:13:11
Apartadero 1	80,000	Viajeros D	50,000	Cemento	Sin parada	0:19:08	0:20:00
Viajeros D	50,000	Puerto	0,000	Cemento	Sin parada	0:32:21	0:33:49
Cementera	125,000	Viajeros C	100,000	Cemento	Con paradas	0:16:06	0:16:50
Viajeros C	100,000	Apartadero 1	80,000	Cemento	Con paradas	0:12:57	0:13:32
Apartadero 1	80,000	Viajeros D	50,000	Cemento	Con paradas	0:19:55	0:20:49
Viajeros D	50,000	Puerto	0,000	Cemento	Con paradas	0:32:22	0:33:50
Plat. Logística	210,000	Viajeros B	200,000	Contenedores	Sin parada	0:07:10	0:07:29
Viajeros B	200,000	Apartadero 2	150,000	Contenedores	Sin parada	0:30:34	0:31:59
Apartadero 2	150,000	Viajeros C	100,000	Contenedores	Sin parada	0:30:14	0:31:38
Viajeros C	100,000	Apartadero 1	80,000	Contenedores	Sin parada	0:12:36	0:13:11
Apartadero 1	80,000	Viajeros D	50,000	Contenedores	Sin parada	0:19:08	0:20:00
Viajeros D	50,000	Puerto	0,000	Contenedores	Sin parada	0:32:21	0:33:49
Plat. Logística	210,000	Viajeros B	200,000	Contenedores	Con paradas	0:07:10	0:07:29
Viajeros B	200,000	Apartadero 2	150,000	Contenedores	Con paradas	0:30:55	0:32:21
Apartadero 2	150,000	Viajeros C	100,000	Contenedores	Con paradas	0:30:50	0:32:15
Viajeros C	100,000	Apartadero 1	80,000	Contenedores	Con paradas	0:12:57	0:13:32
Apartadero 1	80,000	Viajeros D	50,000	Contenedores	Con paradas	0:19:56	0:20:50
Viajeros D	50,000	Puerto	0,000	Contenedores	Con paradas	0:32:21	0:33:49

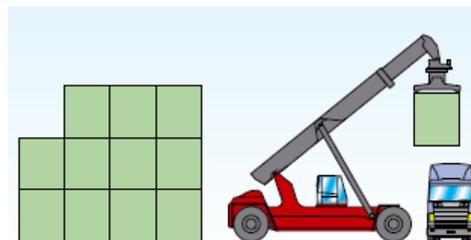
5.3.2. Tiempos de carga y descarga de mercancías

Carga y descarga de contenedores

Los tiempos de carga y descarga de contenedores dependen del equipamiento disponible en la terminal, para lo que se han considerado dos opciones:

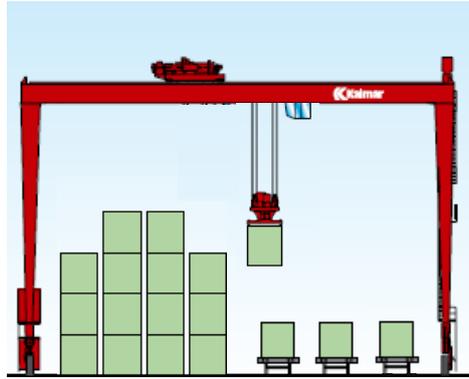
- Carga y descarga mediante reachstacker. A partir de los manuales del fabricante (Kalmar), se ha tomado un tiempo medio de carga / descarga de 2,5 minutos/UTI desde la superficie de almacenamiento hasta las plataformas y viceversa, considerando que la superficie de almacenamiento se dispone paralelamente a las vías de carga y descarga.

Figura 12 Carga y descarga de contenedores mediante reachstacker



- Carga y descarga mediante grúa pórtico. A partir de los manuales del fabricante (Kalmar), se ha tomado un tiempo medio de carga / descarga de 2 minutos/UTI desde la superficie de almacenamiento hasta las plataformas y viceversa, considerando que la superficie de almacenamiento se dispone paralelamente a las vías de carga y descarga y bajo la grúa pórtico.

Figura 13 Carga y descarga de contenedores mediante grúa pórtico



En todos los casos se ha considerado que el tiempo de maniobras dentro de la terminal (posicionamiento de las plataformas en las vías de carga y descarga y salida a la vía general) es de 5 minutos.

Se han realizado los cálculos para 1 y 2 reachstackers y 1 y 2 grúas pórtico, obteniendo los resultados recogidos en la tabla siguiente.

Tabla 4 Tiempos de carga y descarga de contenedores en el puerto y en la plataforma logística

PUERTO Y PLATAFORMA LOGÍSTICA (tiempo en minutos)							
nº	EQUIPAMIENTO	min/UTI	Cont/tren	t Descarga	t Carga	t Maniobras	t CICLO
1	Reachstacker	2,5	36	90	90	5	185
2	Reachstacker	2,5		45	45	5	95
1	Grúa pórtico	2		72	72	5	149
2	Grúa pórtico	2		36	36	5	77

El enganche y desenganche de los contenedores se realiza simultáneamente a la carga y descarga de contenedores.

A partir de estas tablas y de los surcos disponibles en la malla de explotación se ha dimensionado el equipamiento necesario en cada terminal de contenedores (puerto y plataforma logística), con el objetivo de conseguir el encaje de los servicios de transporte de mercancías con los de viajeros en la malla.

Se ha concluido que el equipamiento necesario en cada una de las terminales es el siguiente:

- **2 reachstacker en el puerto**
- **2 reachstacker en la plataforma logística**

Por tanto, el tiempo total para el proceso de descarga y carga de contenedores será de 95 minutos, tanto en el puerto como en la plataforma logística.

Carga y descarga de granel sólido

Para la carga y descarga de graneles sólidos (cemento o clínker) por sistema de aire a presión (neumático) hay que conectar los vagones de forma manual a los equipos de extracción, situados en un punto fijo. Esta labor es realizada por el personal de las terminales. Tanto la planta cementera

como el puerto, están dotados de al menos 8 equipos fijos de extracción de granel sólido, lo que permite la carga y descarga de los 8 vagones de los que se compone cada tren tipo de mercancías de forma simultánea.

Figura 14 Carga y descarga neumática de tolvas de cemento



Los rendimientos aproximados para la carga/descarga de clínker y cemento en un tren tipo de 8 tolvas son los siguientes:

- Carga/descarga cemento: 100 toneladas/hora por vagón 800 toneladas hora por tren
- Carga/descarga clínker 200 toneladas/hora por vagón 1.600 toneladas hora por tren

Fuente: “Technical Specification – Freight Facilities (Equipment)” Atkins/Etihad Rail

Teniendo en cuenta estos rendimientos y las actividades auxiliares que se realizan en las terminales, se obtienen los siguientes tiempos para la carga y descarga de graneles sólidos en cada una de las etapas del proceso:

- | | |
|---|------------|
| 1. Posicionamiento inicial del tren y conexión a los equipos: | 15 minutos |
| 2. Descarga/carga de cemento en 8 vagones (800 t/h) | 60 minutos |
| 3. Limpieza y actividades auxiliares | 45 minutos |
| 4. Carga/descarga de clínker en 8 vagones (1.600 t/h) | 30 minutos |

Tiempo total para descarga y carga de graneles sólidos 150minutos (2h 30 minutos)

Por tanto, el tiempo total para el proceso de descarga y carga de graneles sólidos será de 150 minutos, tanto en el puerto como en la cementera.

5.4. Encaje de los servicios ferroviarios de mercancías en la malla de explotación

Una vez constituidos los trenes tipo para el transporte de mercancías, dimensionado el número de servicios diarios necesarios para satisfacer las necesidades de demanda en el año horizonte y calculados los tiempos de ciclo de cada tipo de servicio, el siguiente paso es el encaje de estos nuevos servicios en la malla de explotación, que actualmente sólo contempla expediciones de viajeros.

Esta tarea debe tener en cuenta los intervalos mínimos de sucesión entre los diferentes tipos de servicio, que, como se ha indicado anteriormente, es el mínimo tiempo al que pueden circular dos trenes (precedente y perseguidor) sin que el tren perseguidor se vea perturbado por la marcha del precedente. Este intervalo viene determinado por la señalización el tipo de material móvil, el tipo de conducción y los tiempos de parada mínimos en estación. Al intervalo mínimo teórico se le añade un margen de tiempo, con el objetivo de dar robustez a la malla, y evitar que los retrasos en un tren afecten a la circulación del resto de expediciones.

En el presente trabajo, los intervalos mínimos de sucesión son dato. Al existir dos tipos de circulaciones (viajeros y mercancías), se toman como referencia los siguientes valores:

- Tren de viajeros seguido por tren de mercancías: 4 minutos.
- Tren de mercancías seguido por tren de viajeros: 4 minutos.
- Tren de mercancías seguido por tren de mercancías: 7 minutos.

En primer lugar se han introducido en la malla los tráficos de contenedores entre el puerto y la terminal logística, ya que, al ser de mayor recorrido, presentan más condicionantes, y a continuación se han insertado los tráficos de granel sólido, de menor distancia y más fáciles de acoplar.

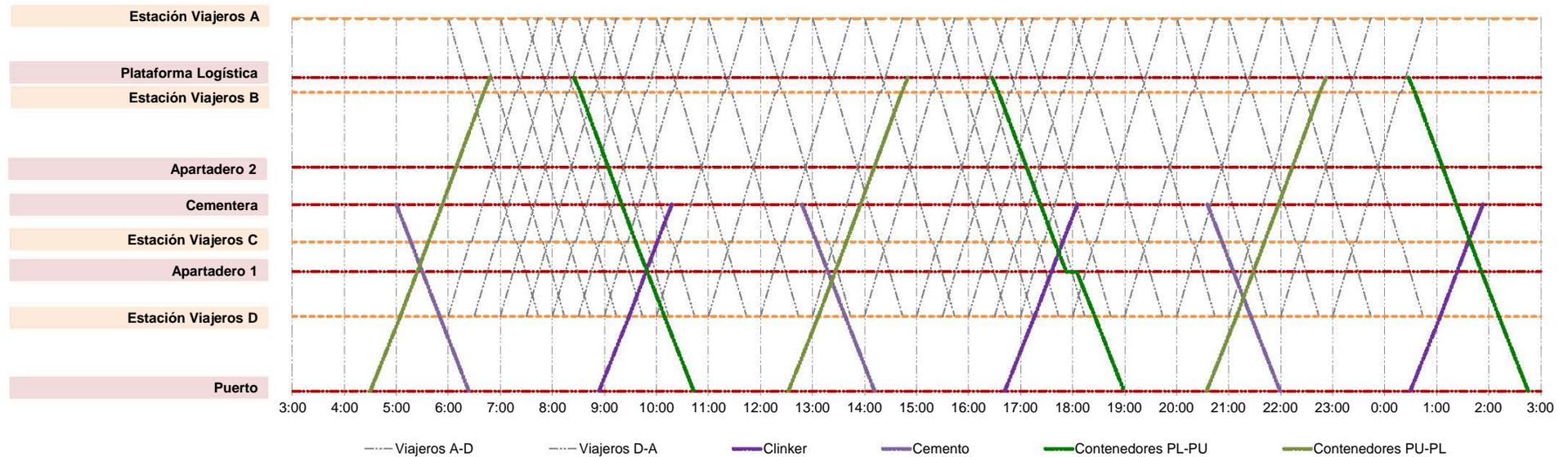
En ambos casos se han tenido en cuenta los tiempos de recorrido calculados y los tiempos mínimos en las terminales para el proceso de carga y descarga de mercancías. A la hora de ajustar la malla, se han ampliado, en caso de ser necesario, los tiempos en terminales o se han establecido paradas en los apartaderos disponibles.

También se ha pretendido respetar un intervalo horario para tareas de mantenimiento en ambas vías, evitando la circulación de servicios en estos periodos.

A continuación se muestra la malla resultante para ambos sentidos de circulación, para la explotación planteada en vía doble:

Incorporación de servicios ferroviarios de mercancías a una línea de viajeros

Figura 15 Malla de explotación para los dos sentidos de circulación



Se puede observar que la malla de explotación respeta los intervalos mínimos de sucesión determinados y ningún servicio interfiere en la circulación del resto.

Los servicios de mercancías han sido encajados con el objetivo de poder utilizar un único tren (locomotora con vagones) para cada tipo de mercancía, para optimizar el uso del material.

Los servicios de contenedores se han ajustado atrasando ligeramente la salida de la terminal de algunas expediciones, como la primera y la segunda salida de la plataforma logística (2 minutos en cada caso, lo que garantiza que el tren de viajeros anterior pasa a la altura de la plataforma logística más de 4 minutos antes de la salida del tren de contenedores), y la segunda con salida en el puerto (14 minutos, lo que garantiza que el tren de viajeros anterior sale de la estación D más de 4 minutos antes del paso del tren de contenedores). Adicionalmente, se ha establecido una parada de 12 minutos del segundo tren de contenedores procedente de la plataforma logística, con el objetivo de permitir el adelantamiento del tren de viajeros perseguidor.

Por su parte, los trenes de granel sólido han sido encajados en la malla estableciendo unos horarios de salida de las terminales que no interfiriesen con el resto de tráficos. En este caso, no ha sido necesario prolongar la estancia de los trenes en las terminales más tiempo que el destinado a la carga y descarga de mercancías ni establecer paradas en apartaderos intermedios.

En el anexo 3 se muestran los horarios completos de paso de todos los trenes por cada punto singular.

Según la malla de explotación planteada ningún tren realiza parada en el apartadero 2. No obstante, ambos apartaderos son necesarios para garantizar una adecuada flexibilidad de la explotación y para la gestión de incidencias.

Otro de los objetivos perseguidos ha sido reservar un horario para permitir la realización de labores de mantenimiento, obteniéndose las siguientes bandas de mantenimiento para cada una de las vías:

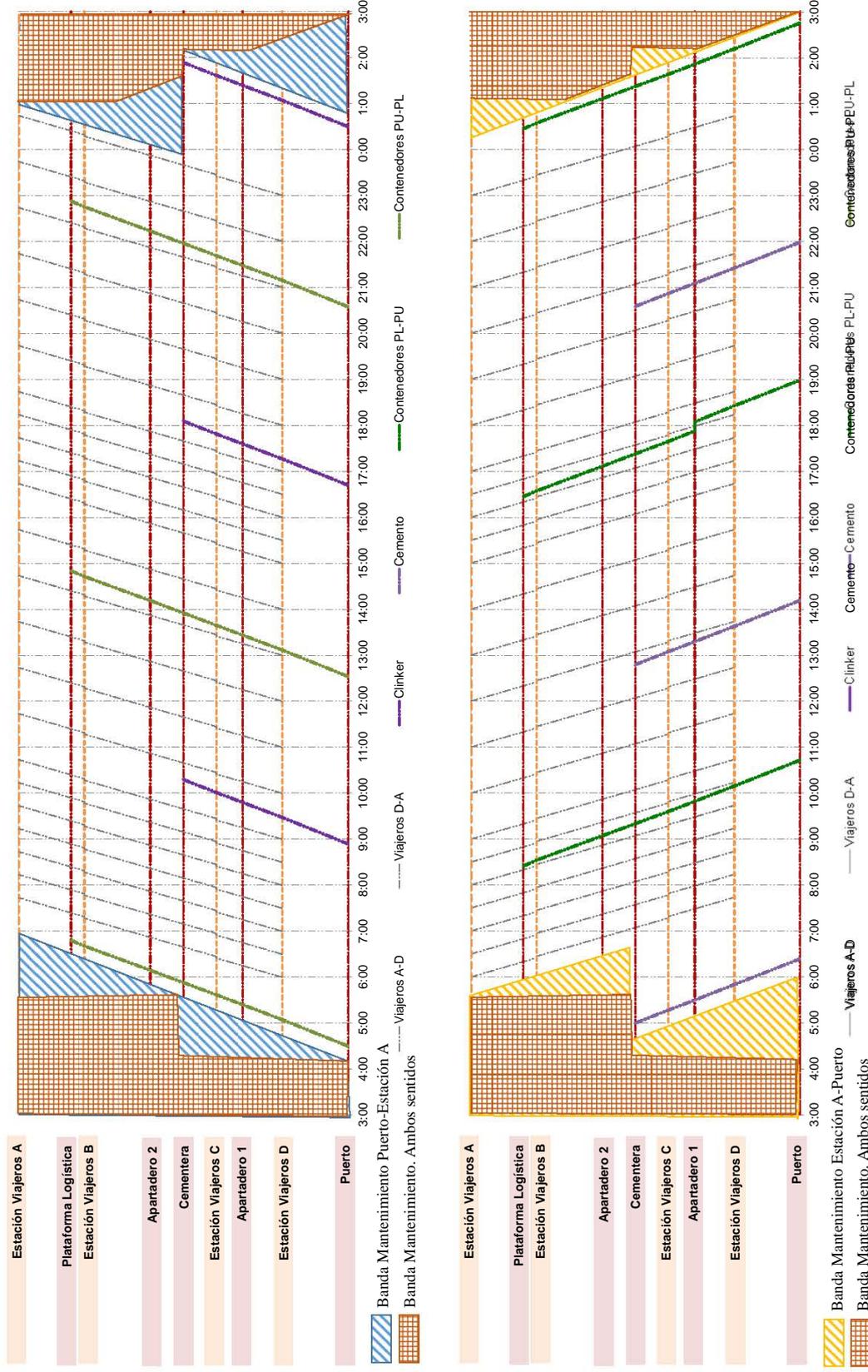
- Vía con sentido Puerto-Cementera-Plataforma Logística
 - Entre el puerto y la cementera: en torno a 3,5 horas
 - Entre la cementera y la estación de viajeros A: entre 5,5 y 6 horas
- Vía con sentido Plataforma Logística-Cementera-Puerto
 - Entre la estación de viajeros A y la cementera: 5 horas
 - Entre la cementera y el puerto: 3 horas

Dentro de estos intervalos, existen bandas en las que se solapan los periodos de mantenimiento en ambos sentidos, lo que permite realizar estas actividades en ambas vías de forma simultánea:

- Puerto-cementera: de 1 hora (próxima al puerto) a 1,5 horas (próxima a cementera)
- Cementera- estación A: de 4 horas (cementera) a 4,5 horas (próxima a estación A)

Máster en Sistemas Ferroviarios 2015/2016. Trabajo Fin de Máster
Incorporación de servicios ferroviarios de mercancías a una línea de viajeros

Figura 16 Malla de explotación por sentido con bandas de mantenimiento



5.5. Dimensionamiento de la flota

La última tarea del presente trabajo es el dimensionamiento del material rodante y los recursos para la correcta ejecución de la explotación propuesta.

El procedimiento consiste en determinar el número de locomotoras, vagones y maquinistas necesarios para operar los servicios descritos, a partir del tiempo de ciclo de cada uno de ellos y su frecuencia diaria.

5.5.1. Dimensionamiento del material rodante

En la siguiente tabla se resumen los tiempos de ciclo promedio para cada tren tipo:

Tabla 5 Tiempos de ciclo para los trenes tipo definidos

TREN TIPO	TIEMPO DE CICLO				
	Puerto-PL/Cementera	Carga y Desc. PL/Cementera	PL/Cem-Puerto	Carga y Desc. Puerto	Total
Contenedores	2:17:58	1:36:20	2:22:50	1:39:40	7:56:48
Graneles sólidos	1:23:54	2:30:00	1:23:50	2:30:00	7:47:45

El tiempo de ciclo de los vagones es la suma de los trayectos de ida y vuelta más los periodos necesarios para la carga y descarga de material en ambas terminales (puerto y cementera o plataforma logística)

A nivel general, el tiempo de carga y descarga en las terminales podría no considerarse como parte del tiempo de ciclo de las locomotoras (quedando éste constituido por los trayectos de ida y vuelta), ya que durante este periodo las locomotoras pueden ser utilizadas para otros trayectos. No obstante, para este caso concreto se ha considerado que el tiempo estimado para carga y descarga de los vagones no es lo suficientemente extenso como para que la locomotoras puedan realizar otros trayectos, asumiendo que permanecen en las terminales durante la carga y descarga de los vagones, y por tanto, incluyéndose el tiempo de esta actividad dentro del tiempo de ciclo tanto de los vagones como de las locomotoras.

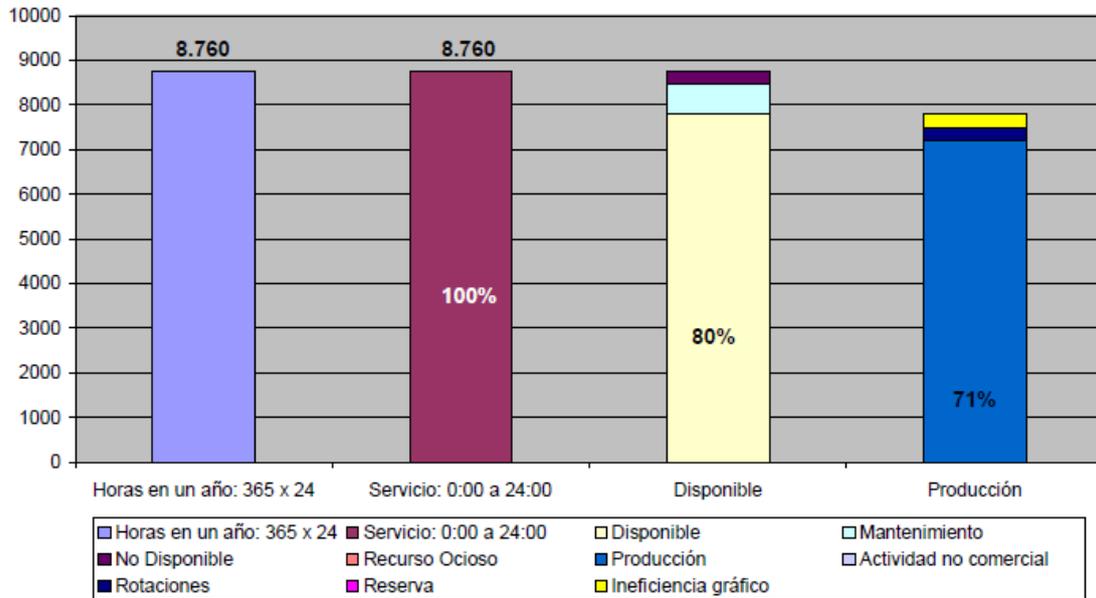
Trenes de contenedores

En el caso de la locomotora, con un tiempo de ciclo de 7:57 horas (7,95 horas), los 3 servicios diarios de ida y vuelta podrían ser cubiertos con una única unidad.

No obstante, es necesario tener en cuenta tanto el porcentaje de disponibilidad de las locomotoras como su tiempo de producción. Para ello, se han tomado como referencia los datos de la siguiente figura, que indican que el tiempo de producción de una locomotora de mercancías es del orden de un

71% del total, y de un 89% del tiempo que la locomotora está disponible (que es, a su vez, un 80% del total, quedando el restante 20% para tareas de mantenimiento o no disponible):

Figura 17 Distribución de tiempos para locomotoras de mercancías



Fuente: Documentación Máster en Sistemas Ferroviarios (ICAI) Asignatura Planificación y Programación

No obstante, estos datos de referencia están calculados bajo la hipótesis de que la locomotora circula 365 días al año, mientras que en la explotación planteada la locomotora opera 300 días al año.

Asumiendo que una parte importante de las labores de mantenimiento se pueden realizar en los 65 días en los que la locomotora no circula, se ha estimado un mayor porcentaje de disponibilidad (90%), lo que implica una tasa de producción cercana al 80%.

Teniendo en cuenta el tiempo neto de producción, serían necesarias “1,25” (1/80%) locomotoras para cubrir los servicios propuestos, lo que a efectos prácticos supone un mínimo de 2 locomotoras.

Tabla 6 Locomotoras mínimas necesarias para los servicios de contenedores

Horas/ciclo	Horas/día	Trenes/día	Locomotoras (sin margen)	Locomotoras (con margen)
7,95	24	3	1	2

Respecto al número de plataformas portacontenedores, la frecuencia de tres servicios por sentido y día se puede cubrir con una única composición, que cuenta con 12 plataformas. Se dimensiona el parque con un 20% de holgura con el objetivo de tener en cuenta las necesidades de mantenimiento, con lo que el número de plataformas necesarias asciende a 14 unidades.

Tabla 7 Plataformas mínimas necesarias para los servicios de contenedores

Horas/ciclo	Horas/día	Trenes/día	Composiciones	Plataformas/composición	Plataformas (sin margen)	Plataformas (20% margen)
7,95	24	3	1	12	12	14

Así mismo, cada composición consta de 36 contenedores. Considerando un 10% de holgura por motivos de rotación, reserva y mantenimiento, el parque de contenedores asciende a 40 unidades

Tabla 8 Plataformas mínimas necesarias para los servicios de contenedores

Horas/ciclo	Horas/día	Trenes/día	Composiciones	Contenedores/composición	Contenedores (sin margen)	Contenedores (20% margen)
7,95	24	3	1	36	36	40

Trenes de graneles sólidos (clínker/cemento)

En el caso de la locomotora, con un tiempo de ciclo de 7:48 horas (7,8 horas), los 3 servicios diarios de ida y vuelta podrían ser cubiertos con una única unidad.

Teniendo en cuenta el tiempo neto de producción, según los mismos parámetros que los utilizados para los servicios de contenedores, serían necesarias “1,25” (1/80%) unidades para cubrir los servicios propuestos, lo que a efectos prácticos supone un mínimo de 2 locomotoras.

Tabla 9 Locomotoras mínimas necesarias para los servicios de granel sólido

Horas/ciclo	Horas/día	Trenes/día	Locomotoras (sin margen)	Locomotoras (con margen)
7,95	24	3	1	2

Respecto al número de vagones, la frecuencia de 3 servicios por sentido y día se puede cubrir con una única composición, que cuenta con 8 tolvas. Se dimensiona el parque con un 20% de holgura con el objetivo de tener en cuenta las necesidades de mantenimiento, con lo que el número de tolvas necesarias asciende a 10.

Tabla 10 Plataformas mínimas necesarias para los servicios de contenedores

Horas/ciclo	Horas/día	Trenes/día	Composiciones	Tolvas/composición	Tolvas (sin margen)	Tolvas (20% margen)
7,80	24	3	1	8	8	10

Flota total

Se observa que teniendo en cuenta el tiempo de producción de las locomotoras son necesarias al menos 2 unidades para cada tipo de servicio, teniendo en cuenta los márgenes.

No obstante, al tratarse de la misma locomotora para ambos tipos de servicio y operarse en el mismo ámbito geográfico, este cálculo puede hacerse de manera conjunta, con lo que se necesitarían un mínimo de 2 locomotoras (una para cada tipo de servicio) sin tener en cuenta los márgenes, que pasarían a 3 locomotoras (“2,5” (2/80%)) teniendo en cuenta las ratios de disponibilidad y producción citadas anteriormente.

A continuación se muestra, a modo de resumen, la flota de material rodante necesaria para la explotación ferroviaria:

- 3 locomotoras Bitrac 3600 de CAF, serie 601.
- 14 plataformas portacontenedores tipo MMC/MMC1
- 40 contenedores (TEUs)
- 10 tolvas tipo TTC9

5.5.2. Dimensionamiento del número de maquinistas necesario

En el presente epígrafe se determina el número de maquinistas que se necesitan para la operación de los servicios de mercancías establecidos, considerando que tienen una jornada máxima de conducción de 5 horas diarias (con un máximo de 6,5 horas diarias de jornada total) y que trabajan 200 días al año.

Con la premisa de que cada maquinista acaba su jornada laboral en el mismo punto donde la empieza, se plantean turnos que abarcan un trayecto de ida y uno de vuelta, con un periodo intermedio para la carga y descarga de mercancías, en el que la locomotora permanece en la terminal correspondiente. De esta forma, se plantean las siguientes duraciones de los turnos de trabajo:

- Maquinista de tren de contenedores: turnos de 6:30 horas (con un máximo de 5 horas de conducción)
- Maquinista de tren de granel sólido: turnos de 5:30 horas (de los que 3 horas son de conducción)

Dada las diferencias horarias entre un tipo de servicio y el hecho de que son operados con el mismo tipo de locomotora, se propone que los maquinistas alternen entre ambos recorridos, con el objetivo de unificar condiciones y horas totales de trabajo a lo largo del año.

Las siguientes tablas reflejan las horas totales de trabajo al año para cubrir los servicios propuestos:

Tabla 11 Horas de trabajo necesarias al año

Tren	Horas/ trayecto I y V	Nº Trayectos I y V/ día	Días/año	Horas/año
Contenedores	6,5	3	300	5.850
Granel sólido	5,5	3	300	4.950
Total		6	300	10.800

Como se muestra en la anterior tabla, la prestación de los servicios de transporte de mercancías precisa de 10.800 horas de maquinistas al año, 5.850 para el transporte de contenedores y 4.950 para el granel sólido.

Con la hipótesis de que los maquinistas reparten sus 200 días de trabajo a partes iguales entre los servicios de transporte de contenedores (50%) y los de granel sólido (50%), se obtiene que cada maquinista trabaja un total de 1.200 horas anuales.

Tabla 12 Horas que trabaja al año cada maquinista

Tren	Horas/día	Días/año	Horas/año
Contenedores	6,5	100	650
Granel sólido	5,5	100	550
Total		200	1.200

Por lo tanto, la plantilla necesaria para operar los servicios de mercancías establecidos a lo largo de un año es de 9 maquinistas.

6. CONCLUSIONES

El estudio realizado arroja las siguientes conclusiones:

- Las condiciones de la infraestructura, vía doble electrificada, y de las vías de las terminales de mercancías, sin electrificar, hacen que el tipo de locomotora óptima para la explotación de los servicios de mercancías sea una diésel-eléctrica, frente a una de tracción diésel pura, que emite mayores emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero y tiene un menor rendimiento, y frente a una de alimentación exclusivamente eléctrica, que incrementaría considerablemente el tiempo de carga y descarga en las terminales de mercancías, debido a las maniobras asociadas al cambio de material tractor.

Además, el análisis comparativo entre la locomotora Bitrac 3.600 de Caf (tracción diésel-eléctrica) y la serie 253 de Bombardier (eléctrica) refleja que para una misma velocidad mínima, la carga máxima remolcable por la primera es superior.

- Respecto a las tolvas para el transporte de granel sólido, son preferibles los sistemas de carga y descarga neumáticos que los de gravedad, ya que el material está más aislado, las pérdidas son menores y se reduce la contaminación, los riesgos para la salud y los riesgos de atmósfera explosiva.
- Los valores de los tiempos de ciclo, suma de los tiempos de recorrido obtenidos a través de la simulación de marchas tipo y los tiempos de carga y descarga en las terminales de mercancías, permiten concluir que el encaje de los trenes de mercancías en la malla de viajeros es posible, optimizando las necesidades de material rodante (por horario, un mismo tren tipo puede hacer los tres trayectos de ida y vuelta de cada tipo de mercancía) y garantizando unas bandas horarias comprendidas entre las 3 y 6 horas para la realización de labores de mantenimiento.
- Para el caso concreto de los tiempos de carga y descarga, se consiguen valores apropiados para permitir la explotación del tráfico mixto, gracias a un adecuado dimensionamiento de los equipos de carga y descarga en terminales.
- Los apartaderos existentes, además de permitir el adelantamiento entre servicios ferroviarios que circulan a distintas velocidades, son necesarios para garantizar una adecuada flexibilidad de la explotación y para la gestión de incidencias.
- El volumen de transporte de mercancías captado por el ferrocarril a la carretera supone una reducción en el tráfico por carretera de 100 camiones de contenedores por sentido y día, considerando que cada contenedor transporte 1 TEU (10 toneladas) y 75 camiones de granel sólido por sentido y día, considerando una carga media por camión de 20 toneladas.

7. APORTACIONES

La principal aportación del estudio realizado es el planteamiento de incluir servicios ferroviarios de mercancías en la línea ferroviaria analizada, como alternativa al transporte de mercancías por carretera, consiguiendo una mejor optimización de los recursos y materiales además de una mayor eficiencia económica, social y medioambiental.

Así, con un total de 6 servicios ferroviarios de ida y vuelta al día de transporte de mercancías (3 para contenedores y 3 para graneles sólidos) entre los principales nodos generadores y atractores, se consigue disminuir el tráfico pesado en la autovía que discurre en paralelo al ferrocarril en 350 camiones diarios (200 de contenedores y 150 de granel sólido, para ambos sentidos de circulación), limitando así las externalidades negativas asociadas al transporte de mercancías por carretera, como pueden ser la congestión del viario, los altos niveles de contaminación acústica y ambiental, el deterioro de las infraestructuras viarias, debido al elevado peso de los camiones, además de riesgos para la seguridad en la circulación.

En el plano técnico, este trabajo expone la metodología a seguir para la realización de un plan de explotación ferroviario, detallando la información de partida necesaria, y explicando las diferentes tareas a desarrollar, su cronología y las interrelaciones entre ellas.

Otra aportación interesante del trabajo, es el análisis comparativo entre dos tipos de locomotoras para el problema planteado, evaluando la relación entre la potencia de estas locomotoras y la velocidad mínima exigida en rampa característica con la carga máxima que puede remolcar cada una de ellas. En concreto, se puede observar las variaciones en la carga máxima remolcable en función de la velocidad mínima exigida para cada tipo de locomotora.

También se describe el funcionamiento del software para la simulación de marchas tipo empleado (CRONOS), detallando la información necesaria a introducir en el programa y mostrando los resultados obtenidos.

Por otra parte, también se aporta información sobre los diferentes métodos y equipamientos necesarios para la carga y descarga de las mercancías (tanto contenedores como graneles sólidos) en las terminales, exponiendo de forma justificada las opciones elegidas para obtener tiempos y resultados adecuados.

ANEXO 1. MATERIAL RODANTE

Locomotoras

BITRAC - Serie 601			
Caf			
CARACTS. BÁSICAS	Pot. rég. eléctrico	4.450 kW	
	Clasif. UIC	Co'Co'	6 ejes
	Wloc =	130 t	1.275,3 kN
	Long loc =	22,4 m	
	v máx =	120 km/h	
ARRANQUE v = 0 km/h	Fm arranque =	440 kN	44,9 t
	μ_o =	0,34	
	Fadh arranque =	433,6 kN	44,2 t
RAMPA	v mínima =	37,0 km/h	
	Fm =	440,0 kN	44,9 t
	Fadh =	329,4 kN	33,6 t

Locomotora 253			
Bombardier			
CARACTS. BÁSICAS	Potencia	5.200 kW	
	Clasif. UIC	Bo'Bo'	4 ejes
	Wloc =	87 t	853,5 kN
	Long loc =	18,9 m	
	v máx =	140 km/h	
ARRANQUE v = 0 km/h	Fm arranque =	300 kN	30,6 t
	μ_o =	0,34	
	Fadh arranque =	290,2 kN	29,58 t
RAMPA	v mínima =	62,0 km/h	
	Fm =	300,0 kN	30,6 t
	Fadh =	202,0 kN	20,6 t

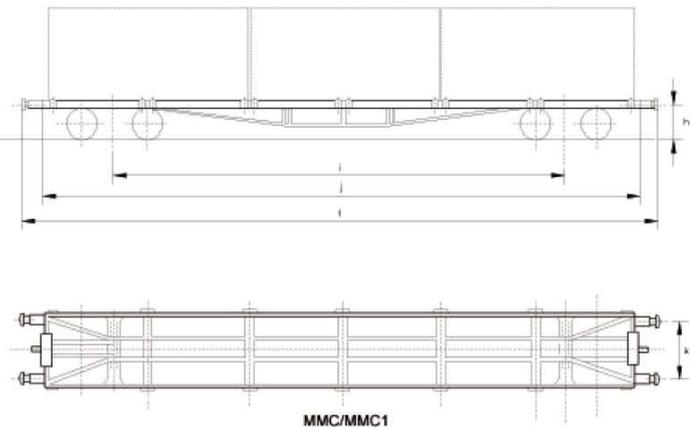
Plataforma

Portacontenedores

Serie Internacional: Sgs
Tipo: MMC/MMC1(*)



Numeración	Nacional MMC	452.001 a 452.410	452.502 a 452.750(*)
	Internacional	81714540000-5 a 397-5	32714542000-3 a 249-6(*)
Características Generales			
Carga Máxima t	58/60(#)		61
Tara Media t	21/20(#)		19
Freno	Atre Comprimido		
Velocidad Máxima km/h	100		
Long. entre Topes m (f)	19,90		
Altura Máxima m (g)	-		
Altura Apoyo Contenedores m (h)	1,21		
Empate m (i)	14,60		
Dimensiones Interiores			
Largo m (j)	18,66		
Ancho m (k)	2,10		
Superficie Útil m ²	39,0		
Otras Características			
Cambiador de Potencia	Manual	Automático	
Aptos Tráfico Internacional	No	Sí	
Año de Construcción	1.971/72 y 1.974/75	1.978	



Capacidad y Distribución de los Contenedores en el Vagón (Los vgs. 81--)		
Nº Contenedores	Long. Contenedor (pies)	Ejemplos Posibles Cargas
3	20	Carga Máx. según posi: 11-36-11 t./c.u. - Tipo 100
2	40-20	Carga Máx. respectº.: 37-20 t./c.u. - Tipo 100
2	30	Carga Máx.º.: 29,0 t./c.u. - Tipo 100.
2	20-30	Carga Máx.º. respectº.: 23-31 t./c.u. - Tipo 100
2	20	Carga Máx.º.: 22,0 t./c.u. - Tipo 100
1	45	Centrado: Carga Máx.º.: 44,0 t. - Tipo 100
1	40	Centrado: Carga Máx.º.: 44,0 t. - Tipo 100
Capacidad y Distribución de los Contenedores en el Vagón (Los vgs. 32--)		
Nº Contenedores	Long. Contenedor (pies)	Ejemplos Posibles Cargas
3	20	Carga Máx.º. según posi: 12-36-12 t./c.u. - Tipo 100
2	40-20	Carga Máx.º. respectº.: 40-20 t./c.u. - Tipo 100
2	30	Carga Máx.º.: 30,0 t./c.u. - Tipo 100
2	20-30	Carga Máx.º. respectº.: 25-34 t./c.u. - Tipo 100
1	45	Centrado: Carga Máx.º.: 44,0 t. - Tipo 100
1	40	Centrado: Carga Máx.º.: 44,0 t. - Tipo 100

Aplicaciones Comerciales

-MMC: Transporte de contenedores.

Dispone de 10 clavijas dobles ISO, y 4clavijas sencillas ISO situadas en los extremos.

Capacidad máxima 60' <>3 TEU's (1 de 40' centrado)

-MMC1(*): Transporte de contenedores.

Capacidad máxima 60' <>3 TEU's (1 de 40' no centrado)

Vagones Alternativos

Vagones de la serie MMC.

Observaciones

Bogies Y21-Cse.

(*): Vagones tipo MMC1, integrados pero dispersos. dentro de la numeración reseñada.

(#)Números del 81714540299-3 a 8174540397-5 (452.301 a 452.410).

No tiene piso.

renfe
Mercancías

Tolva

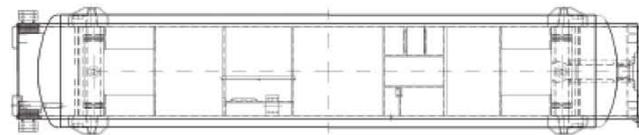
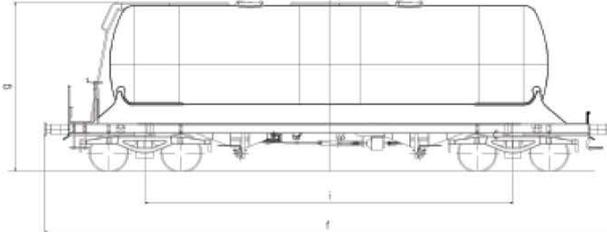
Cerrada para transporte de cemento y cenizas.

Serie Internacional: Uacns

Tipo: TTC9



Numeración	Nacional TT	220.051 a 220.110
	Internacional	32719326001-2 a 060-8
Características Generales		
Carga Máxima t		66,9
Tara Media t		23,1
Freno		Aire Comprimido
Velocidad Máxima km/h		100
Long. entre Topes m (f)		14,24
Altura Máxima m (g)		4,29
Altura Boca Descarg. m (h)		0,443
Empate m (i)		9,20
Volumen Útil m ³		67
Otras Características		
Nº Bocas de Carga		2
Diámetro Bocas de Carga		488 mm
Nº Tubos de Descarga		4
Diámetro Tubos Descarga		102 mm
Nº Tubos Entrada Aire Cº		2
Diámetro T. Entrada Aire Cº		50,8 mm
Presión de Trabajo		2 kg/cm ²
Año de Construcción		2.003



TTC9

Aplicaciones Comerciales

Transporte de cemento y cenizas de densidad 1g/cm³

Observaciones

Totalmente preparados para tráfico internacional.

La descarga se efectúa con ayuda de una fuente de alimentación exterior neumática a una presión de 2kg/cm².

Dispone de válvula de pesada en un bogie.

Bogies Y21 Pse.

renfe
Mercancías

ANEXO 2. SIMULACIÓN DE MARCHAS TIPO

Transporte de contenedores sin paradas

Figura 18 Trayecto desde el Puerto a la Plataforma Logística sin paradas

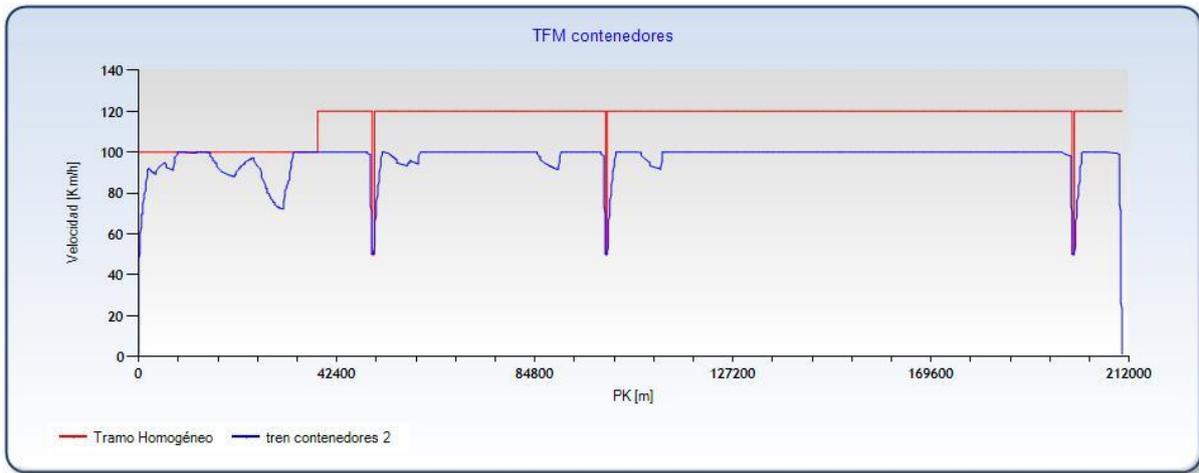
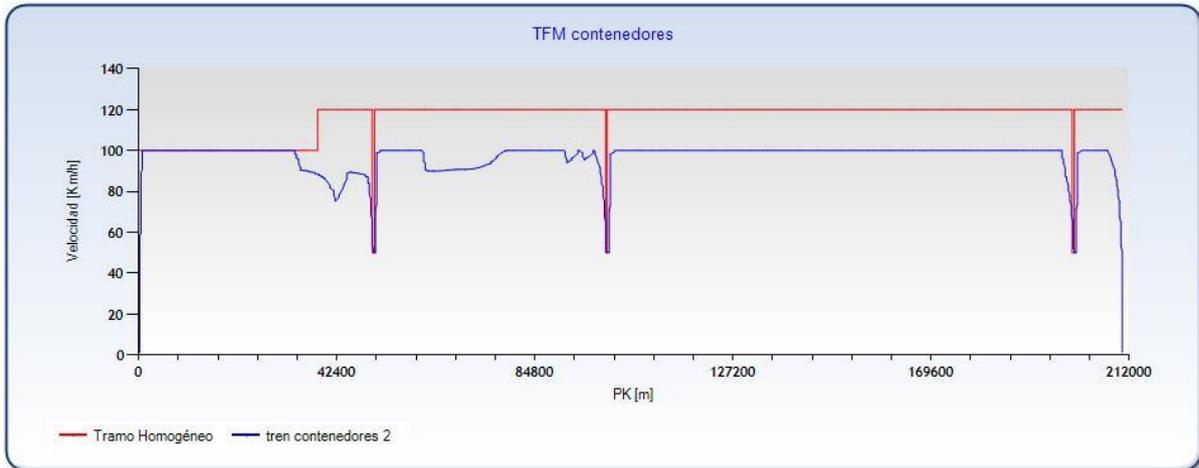


Figura 19 Trayecto desde la Plataforma Logística al Puerto sin paradas



Transporte de contenedores con paradas

Figura 20 Trayecto desde el Puerto a la Plataforma Logística con paradas en apartaderos

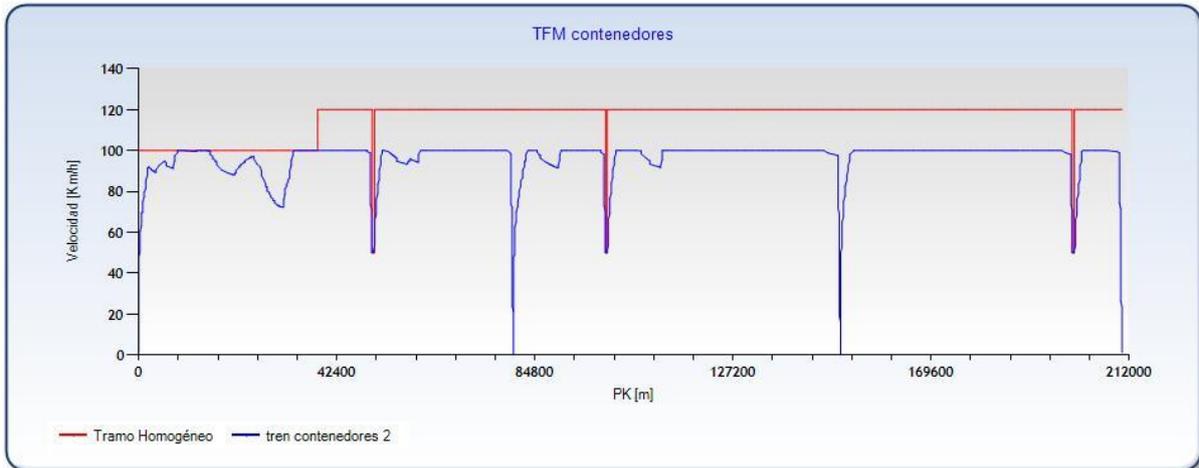
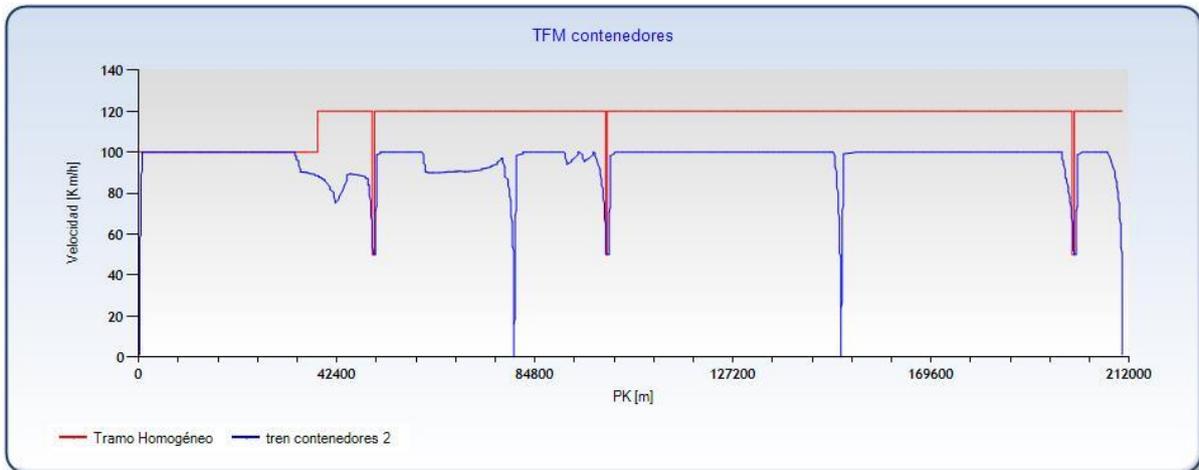


Figura 21 Trayecto desde la Plataforma Logística al Puerto con paradas en apartaderos



Transporte de graneles sólidos sin paradas

Figura 22 Trayecto desde el Puerto a la Cementera sin paradas

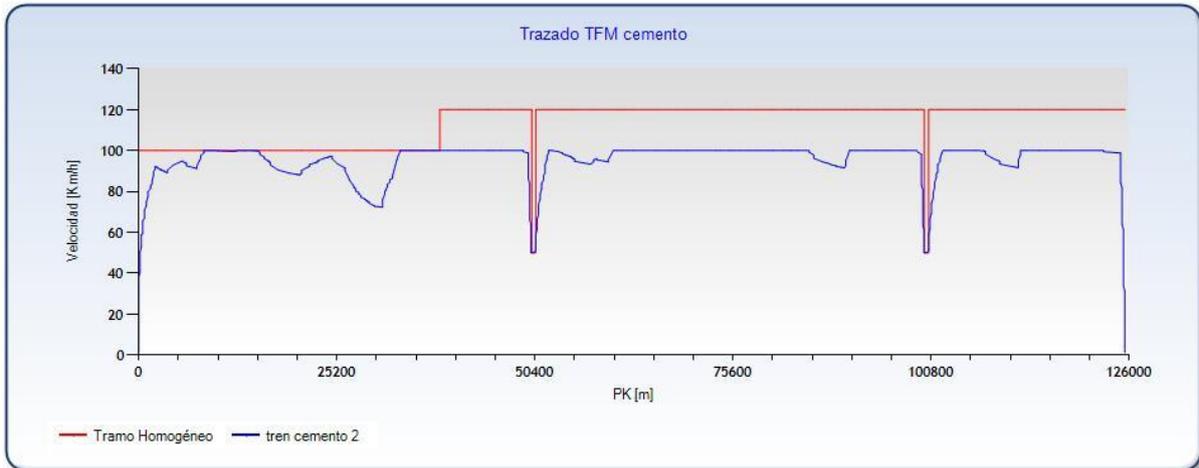
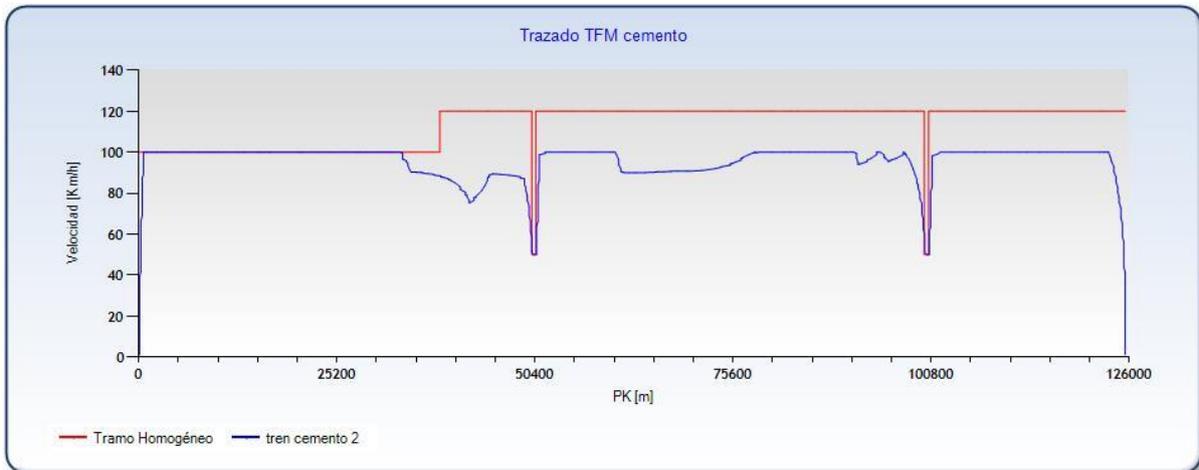


Figura 23 Trayecto desde la Cementera al Puerto sin paradas



Transporte de graneles sólidos con paradas

Figura 24 Trayecto desde el Puerto a la Cementera con paradas en apartaderos

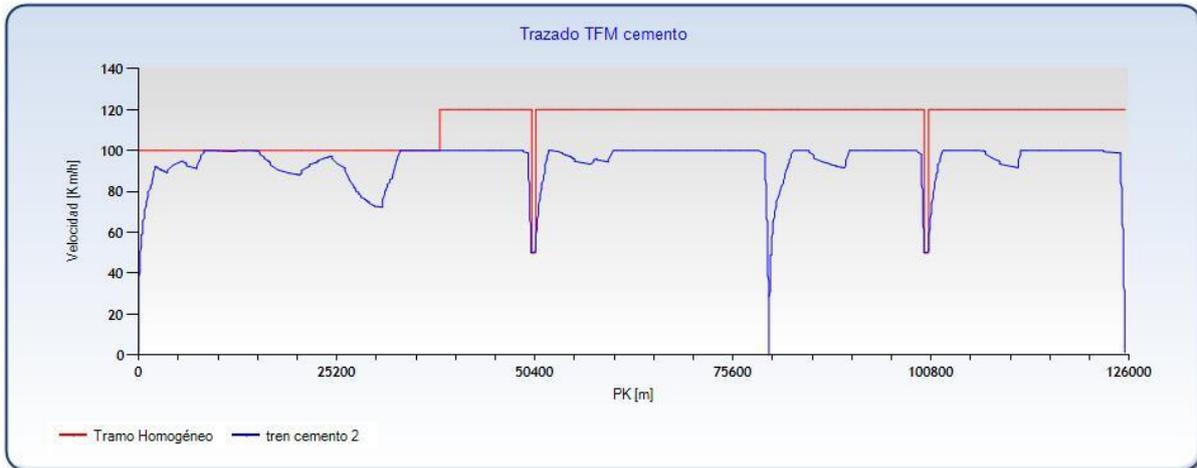
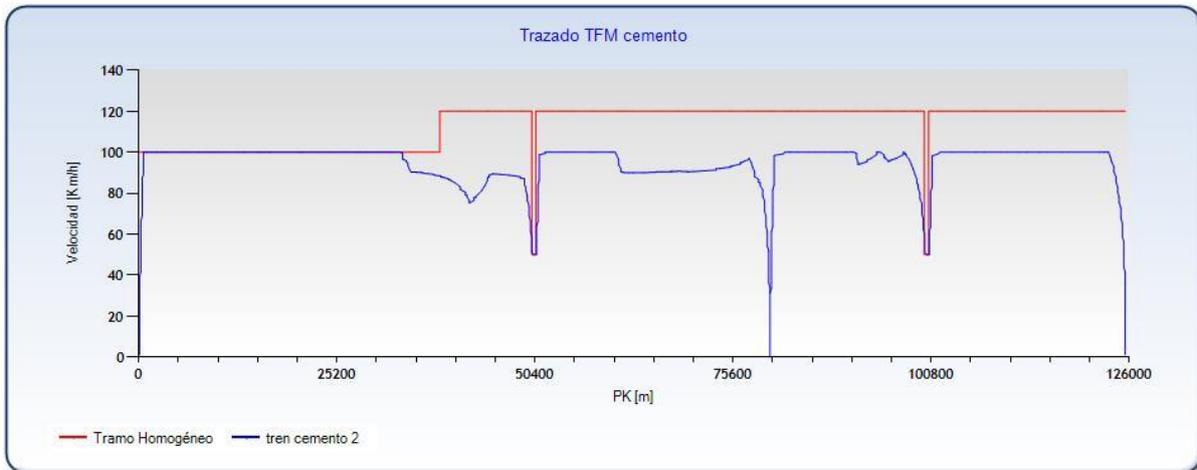


Figura 25 Trayecto desde la Cementera al Puerto con paradas en apartaderos



ANEXO 3: HORARIOS DE LOS SERVICIOS FERROVIARIOS

Horarios de los servicios ferroviarios de viajeros

Viajeros A-D

	Estación	PK	Hora
1	Estación A	250,0	6:00:00
	Estación B	200,0	6:25:00
	Estación B	200,0	6:27:00
	Estación C	100,0	7:17:00
	Estación C	100,0	7:19:00
	Estación D	50,0	7:44:00
2	Estación A	250,0	6:30:00
	Estación B	200,0	6:55:00
	Estación B	200,0	6:57:00
	Estación C	100,0	7:47:00
	Estación C	100,0	7:49:00
	Estación D	50,0	8:14:00
3	Estación A	250,0	7:00:00
	Estación B	200,0	7:25:00
	Estación B	200,0	7:27:00
	Estación C	100,0	8:17:00
	Estación C	100,0	8:19:00
	Estación D	50,0	8:44:00
4	Estación A	250,0	7:30:00
	Estación B	200,0	7:55:00
	Estación B	200,0	7:57:00
	Estación C	100,0	8:47:00
	Estación C	100,0	8:49:00
	Estación D	50,0	9:14:00
5	Estación A	250,0	8:00:00
	Estación B	200,0	8:25:00
	Estación B	200,0	8:27:00
	Estación C	100,0	9:17:00
	Estación C	100,0	9:19:00
	Estación D	50,0	9:44:00
6	Estación A	250,0	8:30:00
	Estación B	200,0	8:55:00
	Estación B	200,0	8:57:00
	Estación C	100,0	9:47:00
	Estación C	100,0	9:49:00
	Estación D	50,0	10:14:00
7	Estación A	250,0	9:00:00
	Estación B	200,0	9:25:00
	Estación B	200,0	9:27:00
	Estación C	100,0	10:17:00
	Estación C	100,0	10:19:00
	Estación D	50,0	10:44:00
8	Estación A	250,0	10:00:00
	Estación B	200,0	10:25:00
	Estación B	200,0	10:27:00
	Estación C	100,0	11:17:00
	Estación C	100,0	11:19:00
	Estación D	50,0	11:44:00

Viajeros D-A

	Estación	PK	Hora
1	Estación D	50,0	6:00:00
	Estación C	100,0	6:25:00
	Estación C	100,0	6:27:00
	Estación B	200,0	7:17:00
	Estación B	200,0	7:19:00
	Estación A	250,0	7:44:00
2	Estación D	50,0	6:30:00
	Estación C	100,0	6:55:00
	Estación C	100,0	6:57:00
	Estación B	200,0	7:47:00
	Estación B	200,0	7:49:00
	Estación A	250,0	8:14:00
3	Estación D	50,0	7:00:00
	Estación C	100,0	7:25:00
	Estación C	100,0	7:27:00
	Estación B	200,0	8:17:00
	Estación B	200,0	8:19:00
	Estación A	250,0	8:44:00
4	Estación D	50,0	7:30:00
	Estación C	100,0	7:55:00
	Estación C	100,0	7:57:00
	Estación B	200,0	8:47:00
	Estación B	200,0	8:49:00
	Estación A	250,0	9:14:00
5	Estación D	50,0	8:00:00
	Estación C	100,0	8:25:00
	Estación C	100,0	8:27:00
	Estación B	200,0	9:17:00
	Estación B	200,0	9:19:00
	Estación A	250,0	9:44:00
6	Estación D	50,0	8:30:00
	Estación C	100,0	8:55:00
	Estación C	100,0	8:57:00
	Estación B	200,0	9:47:00
	Estación B	200,0	9:49:00
	Estación A	250,0	10:14:00
7	Estación D	50,0	9:00:00
	Estación C	100,0	9:25:00
	Estación C	100,0	9:27:00
	Estación B	200,0	10:17:00
	Estación B	200,0	10:19:00
	Estación A	250,0	10:44:00
8	Estación D	50,0	10:00:00
	Estación C	100,0	10:25:00
	Estación C	100,0	10:27:00
	Estación B	200,0	11:17:00
	Estación B	200,0	11:19:00
	Estación A	250,0	11:44:00

Viajeros A-D

	Estación	PK	Hora
9	Estación A	250,0	11:00:00
	Estación B	200,0	11:25:00
	Estación B	200,0	11:27:00
	Estación C	100,0	12:17:00
	Estación C	100,0	12:19:00
	Estación D	50,0	12:44:00
10	Estación A	250,0	12:00:00
	Estación B	200,0	12:25:00
	Estación B	200,0	12:27:00
	Estación C	100,0	13:17:00
	Estación C	100,0	13:19:00
	Estación D	50,0	13:44:00
11	Estación A	250,0	13:00:00
	Estación B	200,0	13:25:00
	Estación B	200,0	13:27:00
	Estación C	100,0	14:17:00
	Estación C	100,0	14:19:00
	Estación D	50,0	14:44:00
12	Estación A	250,0	14:00:00
	Estación B	200,0	14:25:00
	Estación B	200,0	14:27:00
	Estación C	100,0	15:17:00
	Estación C	100,0	15:19:00
	Estación D	50,0	15:44:00
13	Estación A	250,0	15:00:00
	Estación B	200,0	15:25:00
	Estación B	200,0	15:27:00
	Estación C	100,0	16:17:00
	Estación C	100,0	16:19:00
	Estación D	50,0	16:44:00
14	Estación A	250,0	15:30:00
	Estación B	200,0	15:55:00
	Estación B	200,0	15:57:00
	Estación C	100,0	16:47:00
	Estación C	100,0	16:49:00
	Estación D	50,0	17:14:00
15	Estación A	250,0	16:00:00
	Estación B	200,0	16:25:00
	Estación B	200,0	16:27:00
	Estación C	100,0	17:17:00
	Estación C	100,0	17:19:00
	Estación D	50,0	17:44:00
16	Estación A	250,0	16:30:00
	Estación B	200,0	16:55:00
	Estación B	200,0	16:57:00
	Estación C	100,0	17:47:00
	Estación C	100,0	17:49:00
	Estación D	50,0	18:14:00

Viajeros D-A

	Estación	PK	Hora
9	Estación D	50,0	11:00:00
	Estación C	100,0	11:25:00
	Estación C	100,0	11:27:00
	Estación B	200,0	12:17:00
	Estación B	200,0	12:19:00
	Estación A	250,0	12:44:00
10	Estación D	50,0	12:00:00
	Estación C	100,0	12:25:00
	Estación C	100,0	12:27:00
	Estación B	200,0	13:17:00
	Estación B	200,0	13:19:00
	Estación A	250,0	13:44:00
11	Estación D	50,0	13:00:00
	Estación C	100,0	13:25:00
	Estación C	100,0	13:27:00
	Estación B	200,0	14:17:00
	Estación B	200,0	14:19:00
	Estación A	250,0	14:44:00
12	Estación D	50,0	14:00:00
	Estación C	100,0	14:25:00
	Estación C	100,0	14:27:00
	Estación B	200,0	15:17:00
	Estación B	200,0	15:19:00
	Estación A	250,0	15:44:00
13	Estación D	50,0	15:00:00
	Estación C	100,0	15:25:00
	Estación C	100,0	15:27:00
	Estación B	200,0	16:17:00
	Estación B	200,0	16:19:00
	Estación A	250,0	16:44:00
14	Estación D	50,0	15:30:00
	Estación C	100,0	15:55:00
	Estación C	100,0	15:57:00
	Estación B	200,0	16:47:00
	Estación B	200,0	16:49:00
	Estación A	250,0	17:14:00
15	Estación D	50,0	16:00:00
	Estación C	100,0	16:25:00
	Estación C	100,0	16:27:00
	Estación B	200,0	17:17:00
	Estación B	200,0	17:19:00
	Estación A	250,0	17:44:00
16	Estación D	50,0	16:30:00
	Estación C	100,0	16:55:00
	Estación C	100,0	16:57:00
	Estación B	200,0	17:47:00
	Estación B	200,0	17:49:00
	Estación A	250,0	18:14:00

Viajeros A-D

	Estación	PK	Hora
17	Estación A	250,0	17:00:00
	Estación B	200,0	17:25:00
	Estación B	200,0	17:27:00
	Estación C	100,0	18:17:00
	Estación C	100,0	18:19:00
	Estación D	50,0	18:44:00
18	Estación A	250,0	18:00:00
	Estación B	200,0	18:25:00
	Estación B	200,0	18:27:00
	Estación C	100,0	19:17:00
	Estación C	100,0	19:19:00
	Estación D	50,0	19:44:00
19	Estación A	250,0	19:00:00
	Estación B	200,0	19:25:00
	Estación B	200,0	19:27:00
	Estación C	100,0	20:17:00
	Estación C	100,0	20:19:00
	Estación D	50,0	20:44:00
20	Estación A	250,0	20:00:00
	Estación B	200,0	20:25:00
	Estación B	200,0	20:27:00
	Estación C	100,0	21:17:00
	Estación C	100,0	21:19:00
	Estación D	50,0	21:44:00
21	Estación A	250,0	21:00:00
	Estación B	200,0	21:25:00
	Estación B	200,0	21:27:00
	Estación C	100,0	22:17:00
	Estación C	100,0	22:19:00
	Estación D	50,0	22:44:00
22	Estación A	250,0	22:00:00
	Estación B	200,0	22:25:00
	Estación B	200,0	22:27:00
	Estación C	100,0	23:17:00
	Estación C	100,0	23:19:00
	Estación D	50,0	23:44:00
23	Estación A	250,0	23:00:00
	Estación B	200,0	23:25:00
	Estación B	200,0	23:27:00
	Estación C	100,0	0:17:00
	Estación C	100,0	0:19:00
	Estación D	50,0	0:44:00

Viajeros D-A

	Estación	PK	Hora
17	Estación D	50,0	17:00:00
	Estación C	100,0	17:25:00
	Estación C	100,0	17:27:00
	Estación B	200,0	18:17:00
	Estación B	200,0	18:19:00
	Estación A	250,0	18:44:00
18	Estación D	50,0	18:00:00
	Estación C	100,0	18:25:00
	Estación C	100,0	18:27:00
	Estación B	200,0	19:17:00
	Estación B	200,0	19:19:00
	Estación A	250,0	19:44:00
19	Estación D	50,0	19:00:00
	Estación C	100,0	19:25:00
	Estación C	100,0	19:27:00
	Estación B	200,0	20:17:00
	Estación B	200,0	20:19:00
	Estación A	250,0	20:44:00
20	Estación D	50,0	20:00:00
	Estación C	100,0	20:25:00
	Estación C	100,0	20:27:00
	Estación B	200,0	21:17:00
	Estación B	200,0	21:19:00
	Estación A	250,0	21:44:00
21	Estación D	50,0	21:00:00
	Estación C	100,0	21:25:00
	Estación C	100,0	21:27:00
	Estación B	200,0	22:17:00
	Estación B	200,0	22:19:00
	Estación A	250,0	22:44:00
22	Estación D	50,0	22:00:00
	Estación C	100,0	22:25:00
	Estación C	100,0	22:27:00
	Estación B	200,0	23:17:00
	Estación B	200,0	23:19:00
	Estación A	250,0	23:44:00
23	Estación D	50,0	23:00:00
	Estación C	100,0	23:25:00
	Estación C	100,0	23:27:00
	Estación B	200,0	0:17:00
	Estación B	200,0	0:19:00
	Estación A	250,0	0:44:00

Horarios de los servicios ferroviarios de transporte de contenedores

Contenedores
P.Logística-Puerto

	Estación	PK	Hora
1	Plataforma Logística	210,0	8:24:58
	Estación B	200,0	8:32:27
	Estación B	200,0	8:32:27
	Apartadero 2	150,0	9:04:26
	Apartadero 2	150,0	9:04:26
	Estación C	100,0	9:36:05
	Estación C	100,0	9:36:05
	Apartadero 1	80,0	9:49:15
	Apartadero 1	80,0	9:49:15
	Estación D	50,0	10:09:16
	Estación D	50,0	10:09:16
	Puerto	0,0	10:43:05

Contenedores
Puerto-P.Logística

	Estación	PK	Hora
1	Puerto	0,0	4:30:00
	Estación D	50,0	5:04:37
	Estación D	50,0	5:04:37
	Apartadero 1	80,0	5:24:05
	Apartadero 1	80,0	5:24:05
	Estación C	100,0	5:37:04
	Estación C	100,0	5:37:04
	Apartadero 2	150,0	6:09:06
	Apartadero 2	150,0	6:09:06
	Estación B	200,0	6:40:44
	Estación B	200,0	6:40:44
	Plataforma Logística	210,0	6:47:58

2	Plataforma Logística	210,0	16:27:04
	Estación B	200,0	16:34:32
	Estación B	200,0	16:34:32
	Apartadero 2	150,0	17:06:53
	Apartadero 2	150,0	17:06:53
	Estación C	100,0	17:39:09
	Estación C	100,0	17:39:09
	Apartadero 1	80,0	17:52:41
	Apartadero 1	80,0	18:04:41
	Estación D	50,0	18:25:31
	Estación D	50,0	18:25:31
	Puerto	0,0	18:59:20

2	Puerto	0,0	12:32:05
	Estación D	50,0	13:06:42
	Estación D	50,0	13:06:42
	Apartadero 1	80,0	13:26:10
	Apartadero 1	80,0	13:26:10
	Estación C	100,0	13:39:10
	Estación C	100,0	13:39:10
	Apartadero 2	150,0	14:11:11
	Apartadero 2	150,0	14:11:11
	Estación B	200,0	14:42:49
	Estación B	200,0	14:42:49
	Plataforma Logística	210,0	14:50:04

3	Plataforma Logística	210,0	0:27:19
	Estación B	200,0	0:34:47
	Estación B	200,0	0:34:47
	Apartadero 2	150,0	1:06:46
	Apartadero 2	150,0	1:06:46
	Estación C	100,0	1:38:25
	Estación C	100,0	1:38:25
	Apartadero 1	80,0	1:51:36
	Apartadero 1	80,0	1:51:36
	Estación D	50,0	2:11:36
	Estación D	50,0	2:11:36
	Puerto	0,0	2:45:25

3	Puerto	0,0	20:34:20
	Estación D	50,0	21:08:57
	Estación D	50,0	21:08:57
	Apartadero 1	80,0	21:28:25
	Apartadero 1	80,0	21:28:25
	Estación C	100,0	21:41:25
	Estación C	100,0	21:41:25
	Apartadero 2	150,0	22:13:26
	Apartadero 2	150,0	22:13:26
	Estación B	200,0	22:45:04
	Estación B	200,0	22:45:04
	Plataforma Logística	210,0	22:52:19

Horarios de los servicios ferroviarios de transporte de graneles sólidos

**Cemento
Cementera-Puerto**

	Estación	PK	Hora
1	Cementera	125,0	5:00:00
	Estación C	100,0	5:16:50
	Estación C	100,0	5:16:50
	Apartadero 1	80,0	5:30:01
	Apartadero 1	80,0	5:30:01
	Estación D	50,0	5:50:01
	Estación D	50,0	5:50:01
	Puerto	0,0	6:23:50

2	Cementera	125,0	12:47:45
	Estación C	100,0	13:04:35
	Estación C	100,0	13:04:35
	Apartadero 1	80,0	13:17:45
	Apartadero 1	80,0	13:17:45
	Estación D	50,0	13:37:46
	Estación D	50,0	13:37:46
	Puerto	0,0	14:11:35

3	Cementera	125,0	20:35:30
	Estación C	100,0	20:52:20
	Estación C	100,0	20:52:20
	Apartadero 1	80,0	21:05:30
	Apartadero 1	80,0	21:05:30
	Estación D	50,0	21:25:31
	Estación D	50,0	21:25:31
	Puerto	0,0	21:59:20

**Clinker
Puerto-Cementera**

	Estación	PK	Hora
1	Puerto	0,0	8:53:50
	Estación D	50,0	9:28:27
	Estación D	50,0	9:28:27
	Apartadero 1	80,0	9:47:55
	Apartadero 1	80,0	9:47:55
	Estación C	100,0	10:00:55
	Estación C	100,0	10:00:55
	Cementera	125,0	10:17:45

2	Puerto	0,0	16:41:35
	Estación D	50,0	17:16:12
	Estación D	50,0	17:16:12
	Apartadero 1	80,0	17:35:40
	Apartadero 1	80,0	17:35:40
	Estación C	100,0	17:48:40
	Estación C	100,0	17:48:40
	Cementera	125,0	18:05:30

3	Puerto	0,0	0:29:20
	Estación D	50,0	1:03:56
	Estación D	50,0	1:03:56
	Apartadero 1	80,0	1:23:25
	Apartadero 1	80,0	1:23:25
	Estación C	100,0	1:36:24
	Estación C	100,0	1:36:24
	Cementera	125,0	1:53:14