



Máster Universitario en
Sistemas Ferroviarios

DISEÑO DE TERMINALES LOGÍSTICAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO:

Máster Universitario en Sistemas Ferroviarios
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA ICAI

Autor: Javier Ramírez Socorro

Director/es: Alfonso Parra Pascual

TÍTULO: DISEÑO DE TERMINALES LOGÍSTICAS

AUTOR: Javier Ramírez Socorro
Firma:

DIRECTOR: Alfonso Parra Pascual
Firma:

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. TIPOS DE TERMINALES	4
3.1. Instalaciones técnicas.....	4
3.1.1. Terminales tipo HUB	4
3.1.2. Terminales técnicas transfronterizas	4
3.2. Instalaciones logísticas de tratamiento de mercancías.....	5
3.2.1. Terminales intermodales	5
3.2.2. Terminales especializadas	5
4. MARCO CONTEXTUAL FERROVIARIO	7
4.1. Situación territorial de la terminal	7
4.2. Características técnicas de la infraestructura ferroviaria	7
4.3. Capacidad de la infraestructura y su impacto en la terminal	8
4.4. Tráfico ferroviario actual	9
5. DISEÑO DE LA TERMINAL LOGÍSTICA: ÁREAS.....	10
5.1. Instalaciones ferroviarias	10
5.1.1. Vías de recepción y expedición (instalaciones técnicas).....	10
5.1.2. Vías de carga y descarga	10
5.1.3. Ramales de conexión.....	11
5.1.4. Otras instalaciones.....	11
5.2. Instalaciones no ferroviarias	11
5.2.1. Área de almacenamiento	11
5.2.2. Zona de carga y descarga	11
5.2.3. Viales de servicio	11
5.2.4. Otras instalaciones.....	12
5.3. Diseño de las disciplinas ferroviarias en las terminales.....	12
5.3.1. Trazado ferroviario en las terminales	12
5.3.2. Electrificación en terminales	12
5.3.3. Superestructura de vía en terminales	12
5.3.4. Señalización ferroviaria.....	13
5.4. Desarrollo de los tipos de terminales	13
5.4.1. Terminales de contenedores (terminal intermodal).....	13
5.4.2. Autopista ferroviaria (terminal intermodal)	14
5.4.3. Autopista ferroviaria Ro-Ro (terminal intermodal).....	14

5.4.4.	Terminales de vehículos ligeros (terminal especializada).....	14
5.4.5.	Terminales de graneles sólidos/líquidos (terminal especializada).....	15
5.4.6.	Terminales para trenes de bobinas.....	15
5.5.	Ejemplos de los tipos de terminal	15
5.5.1.	Abroñigal (Terminal Intermodal)	16
5.5.2.	Zaragoza Plaza	19
5.5.3.	Noain	22
5.5.4.	Puerto de Valencia.....	25
6.	HIPÓTESIS DE EXPLOTACIÓN	28
6.1.	Introducción.....	28
6.2.	Hipótesis relativas al material móvil.....	28
6.3.	Hipótesis relativas a los tiempos.....	28
6.4.	Hipótesis relativas a la operativa	29
7.	MATERIAL RODANTE – TREN TIPO	30
7.1.	Cálculo de los cuadros de cargas máximas de las locomotoras.....	30
7.2.	Locomotora tipo S-253 (eléctrica).....	33
7.3.	Locomotora tipo S-333.3 (diésel)	33
7.4.	Locomotora tipo S-256	33
7.5.	Cuadros de cargas máximas.....	34
7.5.1.	S-253	34
7.5.2.	S-333	35
7.5.3.	S-256: gancho normal.....	36
7.5.4.	S-256: gancho de alta resistencia	37
8.	APROXIMACION A LA CAPACIDAD FERROVIARIA	38
8.1.	Hipótesis	38
8.2.	Tiempo de rotación	38
8.3.	Metodologías de cálculo de capacidad de las vías de carga/descarga	39
8.3.1.	Enfoque conservador	39
8.3.2.	Enfoque moderado.....	40
8.3.3.	Enfoque agresivo	40
8.3.4.	Comparación entre métodos	41
8.4.	Vías de recepción/expedición	41
8.5.	Ramales de conexión	42
9.	CAPACIDAD DE LAS DISTINTAS INSTALACIONES	43
9.1.1.	Automóviles	44

9.1.2.	Graneles líquidos	49
9.1.3.	Contenedores	53
9.1.4.	Semitrailers.....	61
9.2.	Interpretación de las tablas de capacidad.....	69
9.3.	Consideraciones y conclusiones por tipo de terminal.....	69
9.3.1.	Automóviles	69
9.3.2.	Graneles líquidos.....	69
9.3.3.	Reachstackers	69
9.3.4.	Grúas pórtico	69
10.	CONCLUSIONES Y APORTACIONES.....	71
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	72

1. INTRODUCCIÓN

La literatura específica sobre el diseño de terminales logísticas ferroviarias es escasa. Lo más habitual es encontrar ciertos cálculos —no demasiado desarrollados— en los anexos de estudios funcionales o de proyectos constructivos, más que en libros o artículos técnicos dedicados expresamente a esta materia.

Además, estos cálculos suelen centrarse en estimaciones de gran escala, fundamentalmente asociadas a las vías de carga y descarga, dejando en un segundo plano otros componentes esenciales de una terminal ferroviaria de mercancías.

Siendo la bibliografía en relación con estas infraestructuras escasa, se ha dedicado unas páginas a comentar el texto de las 2 principales fuentes de documentación relativas al diseño de terminales ferroviarias.

El libro “Transporte ferroviario de mercancías” [1], constituye un desarrollo teórico que aborda, a través de diversos capítulos, aspectos clave del sector con el objetivo de ofrecer una visión global. Estos capítulos combinan descripciones técnicas con aportaciones de opinión por parte de los autores. Un ejemplo representativo es el capítulo dedicado a la infraestructura, en el que se introducen de manera general los principales sistemas ferroviarios, concluyendo con una reflexión sobre las necesidades actuales del sector.

Dentro de esta fuente bibliográfica destaca especialmente el capítulo titulado Las terminales de mercancías y los aparatos de manutención, ya que es uno de los pocos que dedica algunas páginas al diseño de terminales. En él se propone una clasificación acertada de los distintos tipos de terminales y se describen los elementos habituales que las componen. En este TFM se retoma dicha clasificación, diferenciando entre instalaciones ferroviarias y no ferroviarias dentro del ámbito terminal.

Una excepción notable es el documento “Recomendaciones, metodologías y estándares para el diseño técnico de terminales ferropuarias” [2], que propone un procedimiento metodológico de diseño para este tipo de instalaciones. Aunque el enfoque se centra principalmente en el ámbito ferropuario, sus planteamientos resultan aplicables también a terminales interiores o puertos secos.

Esta metodología está orientada al intercambio intermodal de mercancías, especialmente contenedores. El procedimiento comienza con el dimensionamiento de los equipos de manipulación a partir del volumen anual de TEUs a mover, considerando dos tecnologías: grúas pórtico y grúas móviles (reachstackers).

Este planteamiento parece especialmente adecuado para el caso de las grúas pórtico, cuyo elevado coste de adquisición justifica un análisis más detallado en fases tempranas del diseño. La metodología parte del dimensionamiento de los equipos como paso previo al cálculo de las vías necesarias, estableciendo así una relación directa entre maquinaria y necesidades de infraestructura. Este enfoque prioriza la adquisición de los medios de manipulación frente a la infraestructura, cuando en realidad estos últimos suelen representar un mayor coste económico, especialmente en entornos ferropuarios donde el precio del suelo es considerablemente alto.

Aunque no se define un tren tipo, la metodología incorpora parámetros y ajustes relevantes, como la diferenciación entre movimientos directos e indirectos de UTIs hacia las zonas de acopio temporal junto a las vías, lo que permite afinar el dimensionamiento funcional. Sin embargo, el método propuesto no parece completamente alineado con la lógica planteada en este TFM, ya que la determinación final del número de vías se realiza consiguiendo la capacidad necesaria de tratar trenes.

En cuanto al desarrollo matemático, cabe señalar que la metodología puede dar lugar a resultados poco realistas cuando los tiempos de manipulación son elevados, ya que el número de trenes diarios que podrían asignarse a cada vía de transbordo podría resultar inferior a uno, lo que distorsiona la utilidad práctica del cálculo.

El documento establece una proporción 1:1 entre vías de transbordo y de recepción/expedición, aunque esta relación no siempre se ajusta a la realidad y conviene verificarla mediante cálculos como los propuestos en este TFM. También se recomienda considerar tiempos de rotación entre 1 y 2 horas, valor que aquí se ha justificado mediante una metodología propia. Por último, la forma en que el documento calcula la longitud de trenes es poco clara, lo que dificulta su aplicación rigurosa.

Aparte de la bibliografía referenciada, se podría destacar “Recomendaciones, metodologías y estándares para el diseño técnico de terminales ferroporcuarias” [3], si bien el texto no profundiza en demasía de las distintas instalaciones de una terminal ni la justificación de las mismas.

Por último, existe un artículo “*Comparative evaluation of existing and innovative rail-road freight transport terminals*” [4] que describe el diseño de una terminal intermodal, abordándose desde una perspectiva integral que considera tanto restricciones externas (ubicación, accesibilidad, disponibilidad de suelo) como condicionantes internos (longitud y número de vías, tipo de equipos, altura de apilamiento, etc.). en este TFM se profundiza en algunos de los conceptos que se mencionan, si bien se desarrollan haciendo referencia a la información usualmente disponible para realizar un estudio de estas características.

2. OBJETIVOS

El presente Trabajo Fin de Máster tiene como objetivo principal establecer una metodología práctica y fundamentada para el diseño de terminales logísticas ferroviarias, centrada especialmente en la estimación de su capacidad ferroviaria y en los elementos clave que condicionan su funcionalidad. Para ello, se parte de una revisión de fuentes bibliográficas relevantes, contrastadas con documentación técnica y normativa empleada en proyectos reales.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Identificar y clasificar los distintos tipos de terminales de mercancías, diferenciando sus componentes ferroviarios y no ferroviarios.
- Analizar los parámetros que condicionan el diseño funcional y operativo de una terminal, tales como el tipo de tren, el tiempo de tratamiento, los equipos de manipulación y las configuraciones de vía.
- Proponer y comparar metodologías para el cálculo de la capacidad ferroviaria, incluyendo enfoques conservador, moderado y agresivo, aplicables a diferentes escenarios de diseño.
- Desarrollar herramientas y fórmulas útiles para la estimación de elementos clave como el número de vías necesarias, los tiempos de rotación (Trot) y la longitud de las vías, incorporando criterios derivados tanto de la experiencia profesional como de referencias académicas recientes.

3. TIPOS DE TERMINALES

3.1. Instalaciones técnicas

Dentro del sistema ferroviario, existen determinadas instalaciones que, aunque implican el tratamiento de mercancías, no responden a una lógica logística clásica, sino a criterios técnicos, estratégicos o regulatorios. En este contexto, pueden distinguirse dos grandes tipos de terminales técnicas [1]:

3.1.1. Terminales tipo HUB

Las terminales clasificadas como HUB desempeñan un papel clave dentro de la infraestructura ferroviaria de mercancías, al servir como nodos para trenes de mercancías que provienen de diversos corredores. Su finalidad es facilitar la distribución eficiente de las composiciones ferroviarias hacia múltiples destinos. Estas instalaciones hacen posible:

- Agrupar vagones o unidades logísticas según el destino final.
- Reconfigurar trenes para optimizar el uso de los surcos ferroviarios.
- Establecer una conexión fluida entre servicios principales y secundarios.

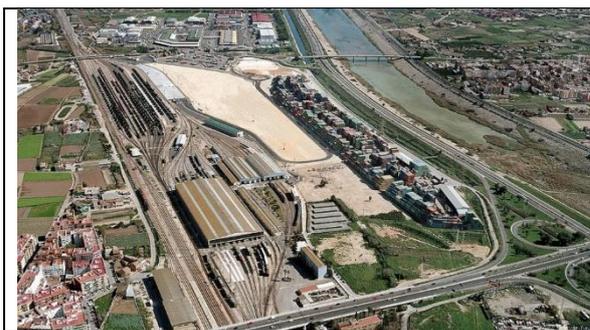
Aunque suelen operar con trenes completos, las terminales HUB están preparadas para permitir maniobras complejas y gestionar volúmenes elevados de mercancías. Se ubican habitualmente en enclaves logísticos estratégicos a nivel nacional o europeo, como es el caso de Zaragoza Plaza o Valencia Fuente de San Luis.

3.1.2. Terminales técnicas transfronterizas

Estas terminales se sitúan en puntos de cruce entre redes ferroviarias nacionales y tienen como objetivo resolver problemas derivados de la interoperabilidad ferroviaria, tales como:

- Cambio de ancho de vía (como ocurre entre España y Francia).
- Transbordo de mercancías cuando no es posible la circulación directa.
- Revisión documental y controles aduaneros.
- Sustitución de locomotoras o cambio de operador ferroviario.
- Adaptación a sistemas de electrificación o señalización diferentes.

Aunque no son terminales logísticas en sentido estricto, su actividad condiciona el diseño y la eficiencia de los corredores internacionales de mercancías, un ejemplo representativo sería Hendaya / Irún, en el contexto hispanofrancés.



Fuente de san Luis (Fuente: Europapress)



Vista aérea de Irún – Hendaya (Fuente: alamy)

3.2. Instalaciones logísticas de tratamiento de mercancías

Las instalaciones logísticas tienen como objetivo principal el tratamiento físico de mercancías transportadas por ferrocarril. Actúan como nodos de transferencia modal, permitiendo el intercambio entre el modo ferroviario y otros modos. Aunque el modo rodado sigue siendo el más habitual en este intercambio, el transporte marítimo ha adquirido una relevancia creciente en entornos intermodales.

El diseño de estas instalaciones se orienta a garantizar operaciones seguras, eficaces y adecuadas al tipo de carga, teniendo en cuenta aspectos como la frecuencia de circulación, los volúmenes a manipular y los equipos disponibles para el manejo de la mercancía.

Dentro de esta categoría se han distinguido 2 tipos: terminales intermodales y terminales especializadas. Las terminales intermodales se han ido imponiendo en el panorama internacional de transporte de mercancías, con el foco puesto en la intermodalidad de cara a facilitar el transbordo ágil de mercancías.

Las terminales especializadas suelen ser más acotadas en tamaño y se reducen a ciertas relaciones concretas producto de una necesidad marcada a largo plazo.

3.2.1. Terminales intermodales

Son instalaciones concebidas para la manipulación de unidades de transporte intermodal (UTIs), como contenedores ISO, cajas móviles o semitrailers. Están diseñadas para realizar operaciones de carga y descarga entre trenes y camiones, manteniendo la unidad de carga sin ruptura.

Características principales:

- Funcionan con medios de elevación como reachstackers, grúas pórtico móviles (RTG), grúas puente (RMG) o sistemas mixtos.
- Su diseño incluye vías de tratamiento de trenes, zonas de almacenamiento de UTIs, playas de maniobra y accesos rodados.
- Permiten operaciones secuenciales o simultáneas de tratamiento ferroviario y rutero, dependiendo del grado de automatización y layout.



Abroñigal (Fuente: Transportexxi)



Puerto de Valencia (20 minutos)

3.2.2. Terminales especializadas

Son instalaciones orientadas al tratamiento de mercancías específicas que, por su naturaleza o características físicas, requieren una infraestructura y unos medios de manipulación adaptados. Algunos ejemplos habituales son:

- **Graneles sólidos o líquidos:** terminales con silos, tolvas o sistemas de bombeo.
- **Automóviles:** equipadas con rampas, muelles y zonas de estacionamiento.
- **Productos siderúrgicos:** manipulación de bobinas, perfiles o chapas con grúas de gran capacidad.
- **Mercancía forestal o industrial:** como madera en bruto, papel, productos químicos, etc.



Puerto de Huelva: Decal (Fuente: Decal)



Puerto de Barcelona (Fuente: cadena de suministro)

Estas terminales suelen tener un diseño menos estandarizado que las intermodales, y están optimizadas para maximizar la eficiencia operativa en el tratamiento de un flujo concreto, generalmente vinculado a un cliente o sector productivo determinado.

4. MARCO CONTEXTUAL FERROVIARIO

Una de las claves a la hora de realizar un estudio de diseño de una terminal reside en una buena contextualización de la terminal ferroviaria, es decir, plasmar los condicionantes a gran escala de la terminal ferroviaria. El objetivo de esta sección es determinar la compatibilidad de la terminal proyectada con la red ferroviaria y la caracterización del tren tipo que va a operar o con el que diseñar las instalaciones ferroviarias.

4.1. Situación territorial de la terminal

Este apartado tiene como objetivo contextualizar la ubicación ferroviaria de la terminal objeto de estudio. Para ello, se deben elaborar un **plano de situación** que permite identificar su localización geográfica dentro del sistema ferroviario nacional, así como las principales líneas que la conectan con otros nodos logísticos relevantes.

La caracterización del entorno ferroviario incluye tanto el análisis de las infraestructuras adyacentes como los condicionantes físicos del trazado, como la orografía o la presencia de elementos singulares (túneles, viaductos, etc.), que puedan influir en la operación ferroviaria y, por ende, en el diseño de la terminal.

En una fase ideal del proyecto, este análisis se complementaría con un **estudio de demanda** que permita identificar los principales **orígenes y destinos** de los flujos ferroviarios asociados. En su defecto, pueden establecerse hipótesis de tráfico a partir de criterios definidos conjuntamente con el cliente o promotor del proyecto, dado que el volumen, tipo y dirección de los tráficos condicionarán decisivamente el diseño funcional de la instalación.

4.2. Características técnicas de la infraestructura ferroviaria

La línea ferroviaria a la que se conecta la terminal define muchas de las restricciones operativas que deben considerarse. A continuación, se recopilan las principales características técnicas relevantes:

Señalización: El sistema instalado en la línea (por ejemplo, Bloqueo Automático en vía única gestionado mediante Control de Tráfico Centralizado —CTC—, con sistema de respaldo tipo ASFA) proporciona un **marco orientativo de la capacidad de la línea** por la que discurre y las **frecuencias admisibles** de circulación ferroviaria.

Electrificación: La existencia o ausencia de electrificación, así como su tipo (25 kV AC, 3 kV DC, etc.), condiciona el uso de **tracción eléctrica o diésel**. Aunque en muchos casos el posicionamiento final de las composiciones en las vías de carga/descarga se realiza con locomotoras diésel, la electrificación de la línea principal puede ser un factor crítico para la eficiencia energética del sistema.

Longitud admisible de trenes: La Declaración sobre la Red de ADIF recoge la **longitud máxima admitida** por cada línea, un dato fundamental para dimensionar la longitud útil de las vías de tratamiento en la terminal.

Rampa característica: La pendiente media representativa del trazado (no confundir con la pendiente máxima), calculada según lo indicado en la NAP 1210, afecta directamente al

tonelaje bruto remolcado (TBR) admisible por las composiciones que acceden a la terminal. Este factor incide especialmente en líneas con tráficos pesados o montañosos.

4.3. Capacidad de la infraestructura y su impacto en la terminal

Aunque el análisis de capacidad de la terminal se aborda de forma independiente al de la línea general, es necesario tener en cuenta las condiciones de interfaz entre ambas infraestructuras, especialmente en aspectos como los tiempos de recepción y expedición, que condicionan la programación de trenes.

La capacidad de la vía general puede llegar a ser un factor limitante para el aprovechamiento de la terminal, por lo que resulta conveniente analizar:

El número de surcos disponibles en la línea (según el Manual de Capacidad publicado por ADIF [5]).

El grado de saturación del tramo ferroviario, consultable a través del CIRTRA, donde se recoge el uso actual de la red y la coexistencia con otras instalaciones logísticas cercanas que compiten por los mismos surcos.



Línea:	160 PALENCIA - SANTANDER
Tramo:	PALENCIA - MATAPORQUERA
Vigencia:	19/12/2024

Características :		Clasif.	B2	Kilómetros	109.8
Equip. Línea	<input checked="" type="checkbox"/> Tren Tierra <input type="checkbox"/> GSM-R <input checked="" type="checkbox"/> Asfa <input type="checkbox"/> LZB <input type="checkbox"/> Erms 1 <input type="checkbox"/> Erms 2 <input type="checkbox"/> Atp				
Descripción	Vía única electrificada a 3 kv.				
Bloqueo	BAU con CTC				
B Mantenimto	De 2:00h a 5:00h en Palencia. De 2:05h a 5:05h en Mataporquera.				
Condiciones de Acceso					

Cupos de surcos por tipo de tráfico :									
Sentido : MATAPORQUERA									
	0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Tot
Mod	ML	BM	ML	ML	ML	ML	ML	ML	-
VLD	1	0	1	1	1	1	1	1	7
VCR	0	0	1	1	1	1	1	1	6
Merc	2	2	3	3	3	3	3	3	22
Tot	3	2	5	5	5	5	5	5	35

Sentido : PALENCIA									
	0-3 h	3-6 h	6-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Tot
Mod	ML	BM	ML	ML	ML	ML	ML	ML	-
VLD	1	0	1	1	1	1	1	1	7
VCR	0	0	1	1	1	1	1	1	6
Merc	2	1	3	3	3	3	3	3	21
Tot	3	1	5	5	5	5	5	5	34

Fuente: Manual de capacidad [5]

4.4. Tráfico ferroviario actual

Como complemento al análisis de capacidad, es útil representar gráficamente una malla tentativa de servicios ferroviarios que circulan por la línea, incluyendo:

- Servicios de viajeros regulares, identificados mediante los horarios publicados por Renfe u otros operadores.
- Servicios de mercancías actuales o potenciales, incluyendo los operadores habilitados en régimen de competencia en los tramos liberalizados.

Esta visión permite dimensionar mejor las ventanas de paso disponibles para los trenes de mercancías asociados a la terminal y anticipar posibles conflictos operativos.

5. DISEÑO DE LA TERMINAL LOGÍSTICA: ÁREAS

En el diseño de una instalación logística ferroviaria, se ha considerado fundamental diferenciar entre los elementos ferroviarios, que constituyen la infraestructura básica para la operación del tren, y las instalaciones complementarias, que permiten el desarrollo eficiente de las actividades de manipulación, acceso y gestión logística.

Para ambos casos es fundamental describir al operativa prevista para cada tipo de terminal, porque inciden de manera decisiva en el diseño de la terminal.

5.1. Instalaciones ferroviarias

Los elementos ferroviarios dentro de una instalación logística tienden a repetirse de forma estructural, dado que responden a una misma lógica operativa. Por un lado, se tiene el proceso de tratamiento del tren y, por otro lado, las operaciones que soportan que sea posible.

Se pueden agrupar en tres grandes componentes, cada uno con una función específica y con implicaciones directas sobre la capacidad operativa de la terminal.

5.1.1. Vías de recepción y expedición (instalaciones técnicas)

Son las vías en las que se reciben o despachan los trenes desde y hacia la red general. Representan el espacio ferroviario reservado para permitir la llegada o salida de trenes completos.

Estas vías suelen estar señalizadas, estando parte de las vías sujetas a control operativo por parte del gestor de circulación o del operador ferroviario, que debe garantizar su disponibilidad. En caso contrario, los trenes deben ser regulados o apartados antes de llegar a la terminal.

La distribución de este haz suele dejar el entre eje mínimo para ahorrar el máximo espacio posible, ya que en longitudinalmente ocupan un gran espacio. El encaje geométrico de un peine de vías requiere bastante espacio por la limitación de los radios y el encaje de los aparatos para acceder a las vías.

Suelen ser haces de vías en los que los trenes son recepcionados y esperan antes de acceder a las vías de carga/descarga, si bien en estas vías pueden realizarse operaciones sobre el tren: partir o componer trenes si fuera necesario. Una vez tratados se mantienen en estas vías, liberando espacio de las vías de carga/descarga y que otro tren pueda acceder a ellas.

5.1.2. Vías de carga y descarga

Son las vías donde se realiza el intercambio modal de mercancías. Constituyen la zona operativa por excelencia de la terminal, en la que se ejecutan las operaciones de descarga, carga o ambas de forma secuencial o simultánea.

El número y longitud de estas vías condicionan directamente la capacidad de tratamiento de la instalación y es entorno a lo que debería girar el dimensionamiento de esta.

Según el tipo de terminal, variará la necesidad de espacios alrededor de la vía y la distancia entre vías destinadas al tratamiento del tren.

5.1.3. *Ramales de conexión*

Son los tramos de vía que conectan las vías de recepción/expedición con las vías de carga y descarga, así como con la vía general. Es un elemento crítico en el diseño ferroviario, pues todas las circulaciones pasan por estos elementos y, muchos de ellos, en varias ocasiones por un mismo ramal. Es imprescindible realizar un cálculo de la cantidad de movimientos que es capaz de absorber para proyectar más ramales y conexiones.

5.1.4. *Otras instalaciones*

Existen otras vías que suelen estar presentes las terminales, muchas veces integradas en el área de recepción/expedición, las vías estrelladero, mangos de maniobra y vías de estacionamiento para locomotoras.

Es posible encontrar otras instalaciones menos habituales, como algún edificio técnico para el mantenimiento de locomotoras. También es posible encontrar alguna zona destinado a situar el material que necesita ser reparado.

5.2. *Instalaciones no ferroviarias*

Como parte de las instalaciones no ferroviarias encontraremos áreas y elementos que, sin formar parte del sistema ferroviario estrictamente hablando, son imprescindibles para el desarrollo de la actividad logística asociada al transporte ferroviario. Se proyectan de acuerdo con criterios de funcionalidad, seguridad y eficiencia operativa.

5.2.1. *Área de almacenamiento*

Por regla general son de 2 tipos en función de si están inmediatamente junto a las vías o una distancia muy corta o si, por el contrario, se encuentran más separados. En función de la importancia de la terminal o del tipo de terminal es posible encontrar ambas áreas de almacenamiento o ambas.

El tipo de terminal y mercancía a tratar condiciona las características de estos acopios, para terminales de vehículos tendremos silos, en terminales de contenedores podremos tener una pequeña área que es más cercana en el caso de las grúas pórtico... en definitiva, existen muchas configuraciones posibles.

5.2.2. *Zona de carga y descarga*

Área específica para la manipulación directa entre ferrocarril y carretera, donde operan los equipos de transferencia de carga. En esta área es posible que exista interacción con material rodado, que debe tenerse en cuenta para así proyectar espacios.

5.2.3. *Viales de servicio*

Se debe pensar una red de carreteras dentro de la terminal con corredores internos que permitan la circulación de vehículos pesados dentro de la instalación, estos deberán llegar a las áreas de almacenamiento o las zonas de carga/descarga pertinentes para garantizar el desarrollo de las actividades logísticas de la terminal.

5.2.4. Otras instalaciones

Se describen a continuación algunas instalaciones que pueden tener distinta ubicación y que pueden estar o no presentes en una terminal.

- Zona de espera y regulación de vehículos, para camiones que esperan su turno de carga o descarga. Especialmente útil cuando existen picos de entrada/salida y de cara a laminar la existencia de algún tipo de control
- Zona de inspección / control documental: cabina o módulo donde se revisan documentos de transporte, aduanas, seguridad.
- Zona de pesaje: básculas fijas o móviles para controlar carga neta. Especialmente en terminales con mercancía a granel o clientes que exijan trazabilidad de peso.
- Edificios técnicos, incluyendo alguna zona de servicios al personal: aseos, comedor, oficina de operadores, vestuarios, etc. Si bien no es parte operativa directa, puede ser exigencia del promotor o del marco normativo.
- Zona técnica de mantenimiento de UTIs o vehículos (si aplica).

5.3. Diseño de las disciplinas ferroviarias en las terminales

5.3.1. Trazado ferroviario en las terminales

El trazado ferroviario en las terminales debe adaptarse a las operaciones previstas, garantizando radios mínimos compatibles con la normativa de interoperabilidad y diseño de trazado ferroviario [6] y facilitando las maniobras del material rodante. Si bien no es estrictamente necesario, disponer de mayores entre ejes —especialmente en las vías de carga y descarga— resulta altamente recomendable que los entre ejes superen los 4 m en las vías de recepción expedición y los 5,0 m en las vías de carga descarga, si bien el número definitivo dependerá del tipo de terminal (quizá con grúas pórtico se podría reducir esa distancia).

5.3.2. Electrificación en terminales

La electrificación en terminales debe analizarse en función del tipo de operación prevista. En general, las vías de carga y descarga requieren libertad para el movimiento de Unidades de Transporte Intermodal (UTI), por lo que suele evitarse la electrificación en esa zona. Una solución frecuente consiste en electrificar únicamente hasta el haz de recepción y expedición, utilizando locomotoras diésel o medios auxiliares para cubrir el último tramo hasta la zona de carga/descarga.

Esta configuración permite evitar interferencias con la catenaria durante las operaciones de manipulación, al tiempo que reduce costes de infraestructura y mantenimiento. Las locomotoras diésel, además, pueden estar autorizadas para realizar directamente estas maniobras, eliminando la necesidad de tractoras específicas.

5.3.3. Superestructura de vía en terminales

En los entornos portuarios y logísticos, donde las vías ferroviarias comparten espacio con el tráfico rodado o zonas de operación intermodal, es habitual utilizar superestructuras transitables. Para ello, se recurre frecuentemente a la vía estuchada, una solución que permite permeabilizar el conjunto y asegurar una transición adecuada entre modos, garantizando la durabilidad del firme y la seguridad de las maniobras.

Sin embargo, la vía en placa se evita siempre que es posible, debido a su mayor coste de instalación. Esto es especialmente importante en el haz de recepción y expedición, donde la vía convencional con traviesa sobre balasto permite una mayor adaptabilidad y facilita futuras reconfiguraciones del trazado.

5.3.4. Señalización ferroviaria

En terminales logísticas puede resultar conveniente señalar parcialmente el haz de recepción/expedición para facilitar la entrada de trenes desde la red ferroviaria convencional y, en caso de contemplar sistemas de señalización, su diseño debe anticiparse a las maniobras que se prevé realizar en la terminal, evitando soluciones incongruentes o sobredimensionadas que comprometan la funcionalidad del conjunto.

Por otro lado, las operaciones ferroviarias en terminales logísticas suelen implicar tiempos de carga y descarga prolongados, lo que reduce la necesidad de señalización ferroviaria en este tipo de vías. Por tanto, la mayoría de las terminales no disponen de sistemas completos de señalización, lo que permite contener los costes sin comprometer la operativa básica. Como alternativa, es común dotar a los aparatos de vía de telemando, lo que permite su manejo remoto desde el puesto de control, evitando intervenciones manuales directas sobre las marmitas.

5.4. Desarrollo de los tipos de terminales

Se desarrollan a continuación los tipos de terminales más frecuentes de tratamiento de trenes acorde a la clasificación presentada en apartados anteriores. Como se había comentado es muy importante la descripción de la **operativa** en los tipos de terminales, **medios de manipulación** y descripción del **área de almacenamiento y zona de carga/descarga**.

5.4.1. Terminales de contenedores (terminal intermodal)

Los trenes tratados en este tipo de terminales están compuestos por vagones plataforma portacontenedores. Los equipos de manipulación más común incluyen grúas apiladoras (reachstackers) y grúas pórtico, siendo frecuente su uso combinado. En algunos casos también se emplean straddle carriers o mafís para el movimiento horizontal entre áreas de carga.

La operativa vendrá condicionada por los equipos utilizados para las operaciones de carga y descarga, con grúas pórtico se realizará desde la parte superior mientras que con grúas móviles se trata desde el lateral de la composición, en ambos casos ya sea para transferencia directa tren – camión o tren – área de almacenamiento.

Desde el punto de vista espacial, las grúas apiladoras requieren andenes técnicos junto a las vías de carga. Junto al andén técnico suele haber un área de almacenamiento en los que se depositan los contenedores cuando no se hace una transferencia directa al camión. Es posible que esa área de almacenamiento junto a las vías sea más pequeña, combinándose con otra área más alejada apoyándose en medios auxiliares que forman un carrusel.

En el caso de grúas pórtico, se busca agrupar las vías lo más próximas posible para reducir la luz del vano. El haz de vías debe contemplar además áreas de acopio acordes con la estadia media de las UTIs y viales para circulación de camiones. En general, no se

recomienda más de 3-4 vías tratadas en paralelo, ya que la limitación de grúas pórtico en un haz de vías limita la capacidad.

5.4.2. Autopista ferroviaria (terminal intermodal)

Este sistema permite el transporte de semitrailers completos sobre tren, sin la cabeza tractora de línea. Los vagones utilizados acogen 2 semitrailers enfrentados, lo cual penaliza la operación, ya que para la manipulación es muy posible que haya que girarlos en algún momento. En caso de no hacerlo general flujos opuestos una vez posicionados en los viales.

Los medios de manipulación son los mismos que en las terminales de contenedores, si bien en terminales con grúas móviles la operativa difiere por la configuración de los vagones existentes para este tipo de tráfico, que obligan a andenes técnicos superiores y a una mayor coordinación para la carga y la descarga.

Para terminales con grúas pórtico requiere de algo más de tiempo de manipulación por el giro que debe hacerse sobre el semitrailers, pero la configuración funcional es la misma que en el caso anterior.

5.4.3. Autopista ferroviaria Ro-Ro (terminal intermodal)

Este sistema permite el transporte de semitrailers completos sobre tren, sin necesidad de grúas ni manipulación de la carga. Existen dos modalidades: carga lateral y carga frontal.

En la carga frontal, los semitrailers acceden al tren a través de rampas especiales, mientras que en la carga lateral se emplean plataformas móviles o foso central para nivelar el acceso. En ambos casos, se requiere la asistencia de tractores biviales o similares para posicionar los vehículos sobre los vagones.

El espacio anexo necesario depende del sistema: en carga lateral se requiere una plataforma nivelada continua, mientras que en carga frontal es imprescindible contar con un vial recto en prolongación del tren. Además, se necesitan zonas de espera y preparación para los camiones y sus semitrailers, con capacidad de rotación rápida.

5.4.4. Terminales de vehículos ligeros (terminal especializada)

Al contrario de lo que pueda suceder en terminales intermodales, las terminales especializadas es más habitual que tengan una operación única de carga o descarga.

Este tipo de terminales opera trenes compuestos por vagones porta-coches de dos niveles, con acceso por un extremo. La carga y descarga se realiza de forma frontal, circulando los coches por el interior de la composición hasta ocupar su posición. La operación requiere rampas de acceso en cabecera y vehículos auxiliares que permitan trasladar a los conductores hasta el punto inicial una vez completan cada ciclo.

No se necesitan grandes espacios laterales junto a las vías, ya que toda la operación se realiza longitudinalmente. Sin embargo, sí son necesarios viales paralelos para el movimiento de vehículos y conductores. El almacenamiento previo o posterior de los coches se realiza en explanadas de gran superficie o silos de varios niveles, en función del volumen de tráfico. En general, más de dos vías tratadas en paralelo pueden generar conflictos de seguridad, especialmente si los operarios deben cruzar entre trenes.

5.4.5. Terminales de graneles sólidos/líquidos (terminal especializada)

Los trenes tratados están compuestos por vagones tolva u otros vagones abiertos. En el caso de graneles sólidos la carga puede realizarse mediante cintas transportadoras (fijas o móviles) o grúas; y la descarga puede ser por gravedad cuando existe algún foso, lateralmente, mediante sistemas neumáticos o con medios manuales. En el caso de graneles líquidos tanto la carga como la descarga suele ser con medios neumáticos.

En instalaciones con cinta fija, el tren puede avanzar progresivamente mientras se realiza la carga/descarga. Alternativamente, en instalaciones móviles, el equipo se desplaza longitudinalmente sobre un tren estacionado.

Desde el punto de vista espacial puede haber bastante variabilidad. Estas terminales suelen situarse junto a zonas industriales, por lo que es posible que los espacios disponibles estén adaptados a otra instalación que tengan al lado.

En lo que se refiere a granes sólidos dependerá del tipo de operación, con un punto fijo de carga o descarga se requerirá un ancho mayor en justo alrededor de esa zona que permita el acceso y la instalación de carga, que podrá tener el área de almacenamiento más o menos retirado.

Cuando la instalación de carga o descarga es fija el andén técnico será necesario a lo largo de toda la longitud. Para medios neumáticos será necesario más estrecho, mientras que con medios mecánicos puede alcanzar anchos considerables, ya que el área de almacenamiento suele estar próximo.

5.4.6. Terminales para trenes de bobinas

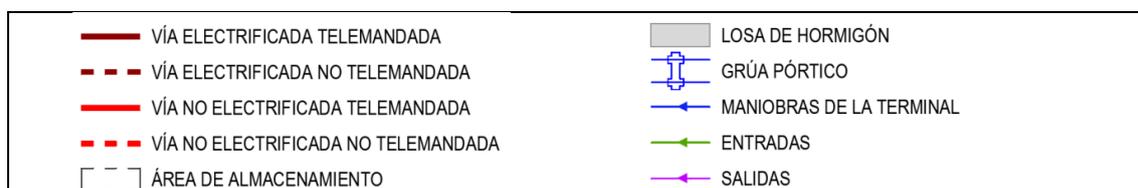
Estas terminales operan trenes compuestos por vagones portabobinas, especialmente diseñados con cunas de sujeción. Se trata de mercancías de gran peso por unidad, por lo que los trenes suelen ser más cortos y de alta carga por eje.

La manipulación se realiza mediante grúas equipadas con ganchos especiales, adaptadas al manejo de cargas cilíndricas. Generalmente, la operación es unidireccional (solo carga o solo descarga), ya que las bobinas suelen tener origen y destino definidos.

En cuanto al entorno operativo, las bobinas se almacenan sobre losas de hormigón o zonas reforzadas, sin apilamiento en altura, por lo que la ocupación en planta es elevada. No se requiere un ancho de andén excesivo, pero sí accesos adecuados para grúas y vehículos industriales. El tiempo de manipulación puede estimarse entre 5 y 6 minutos por bobina, con distancias de recorrido más cortas que en contenedores.

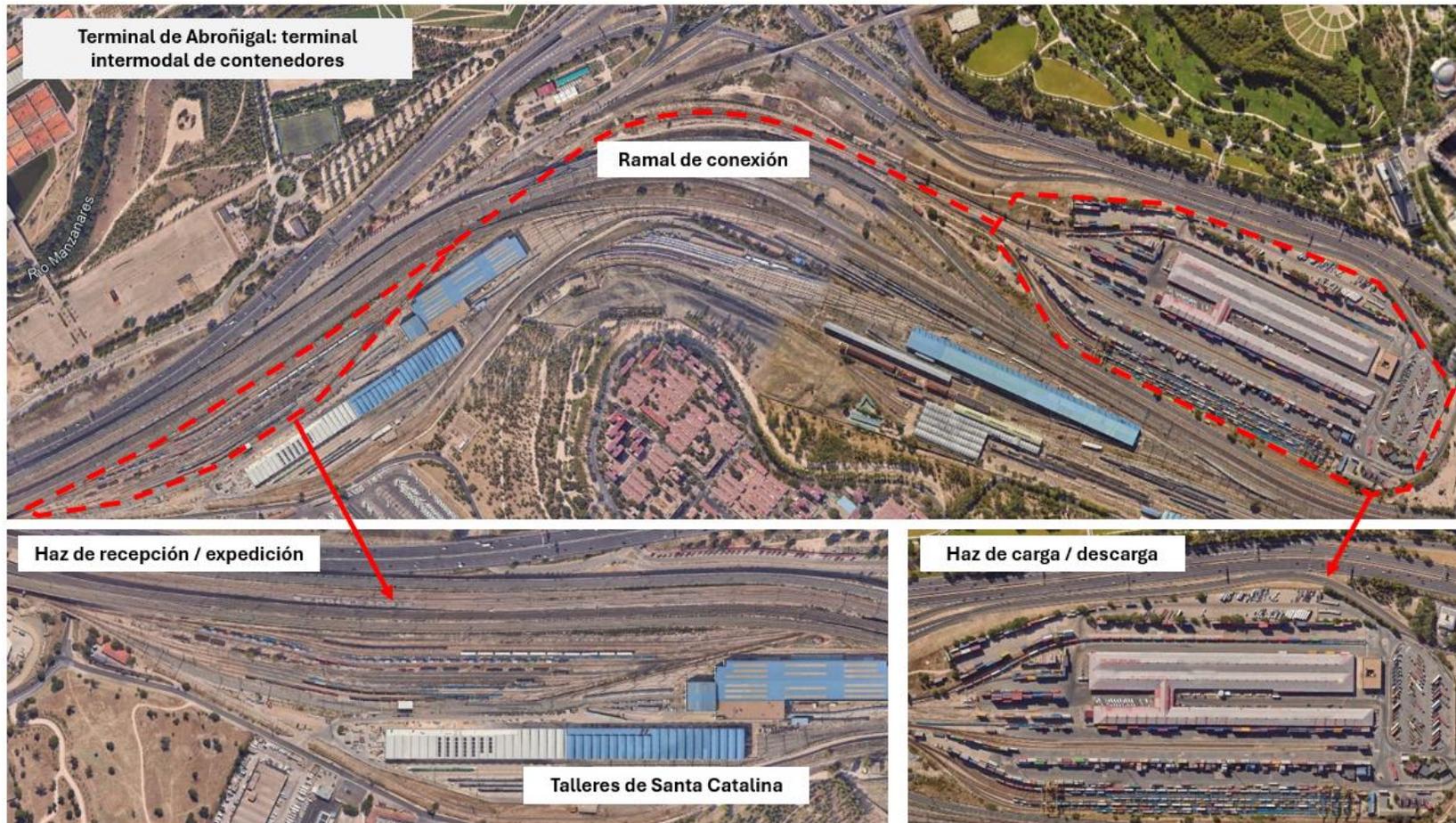
5.5. Ejemplos de los tipos de terminal

Leyenda:



5.5.1. *Abroñigal (Terminal Intermodal)*

5.5.1.1. *Vista aérea*

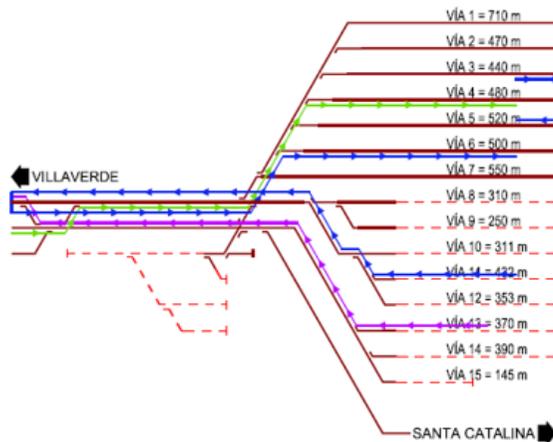


Fuente: Google Earth

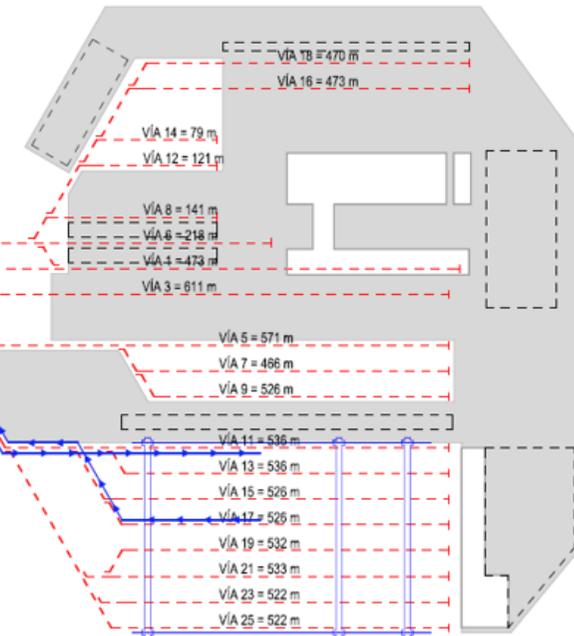
5.5.1.2. Esquema de movimientos

Esquema de movimientos. La disposición del haz de recepción / expedición y el haz de carga descarga está en serie. Esto permite segregar con relativa facilidad las maniobras internas de la terminal con las entradas y salidas.

Entradas y salidas. Aunque son numerosas las vías de entrada y salida, se pueden gestionar con bastante facilidad los cizallamientos. En este caso se han generado movimientos que los producen para mostrar que hay que prestar atención sobre el juego de escapes de la entrada.



Maniobras. Las maniobras entre el haz de carga y descarga genera cizallamientos. Al realizar los movimientos operacionales típicos se ve que la zona más utilizada es la parte de las vías 1 – 2. Aunque existe un pequeño tramo en vía única hasta que se estaciona el tren bajo las grúas pórtico, no tiene una longitud muy significativa

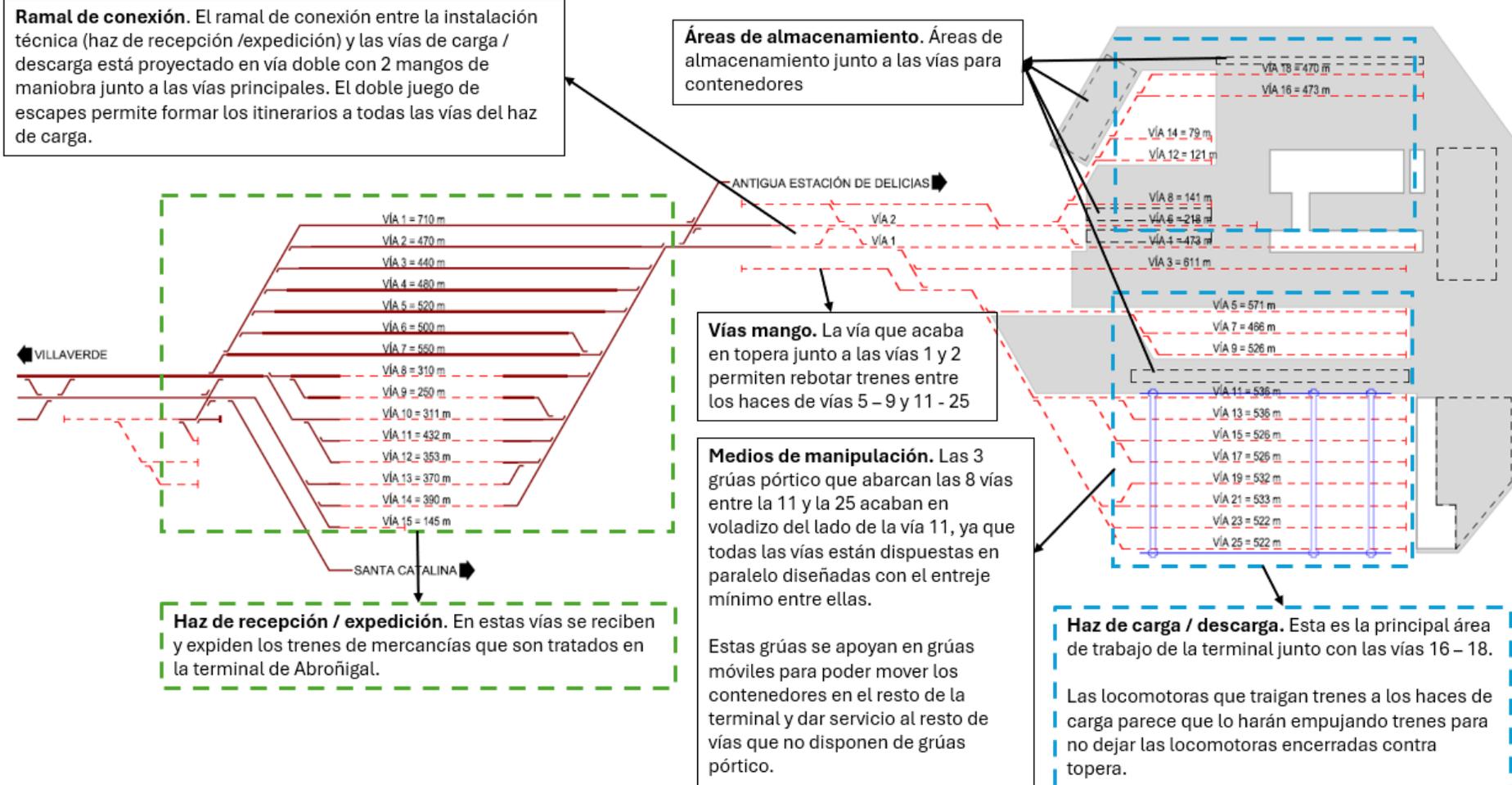


Infraestructura. Parte de las vías de recepción /expedición están telemandadas, lo que permite la detección del tren y formar los itinerarios desde el Puesto de Mando. Además, hay parte de las vías electrificadas en el haz de recepción expedición, así como otras no. Sin embargo, en el haz de carga descarga todas las vías están sin electrificar ni señalizar, lo que facilita la maniobrabilidad de las composiciones y su tratamiento.

Infraestructura. La vía en placa se proyecta donde es imprescindible porque se requiera permeabilidad. En este caso, se ha proyectado en muy pocas vías, principalmente en las vías 16 – 18 de carga, que se trabajan con grúas móviles, mientras que el haz de vías 11 – 25 se mantiene en balasto por la presencia de la grúa en voladizo.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Adif

5.5.1.3. Esquema de vías

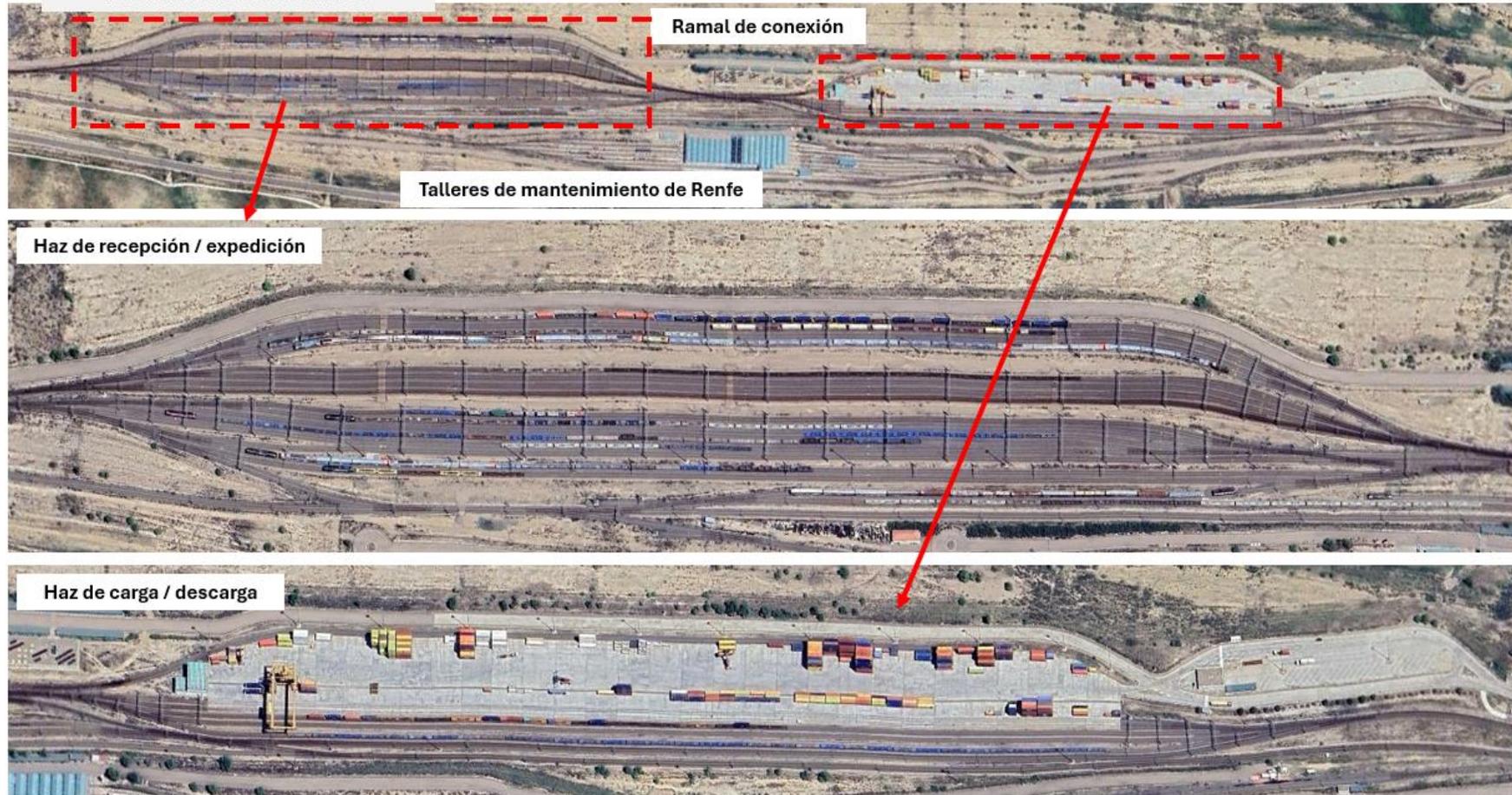


Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Adif

5.5.2. Zaragoza Plaza

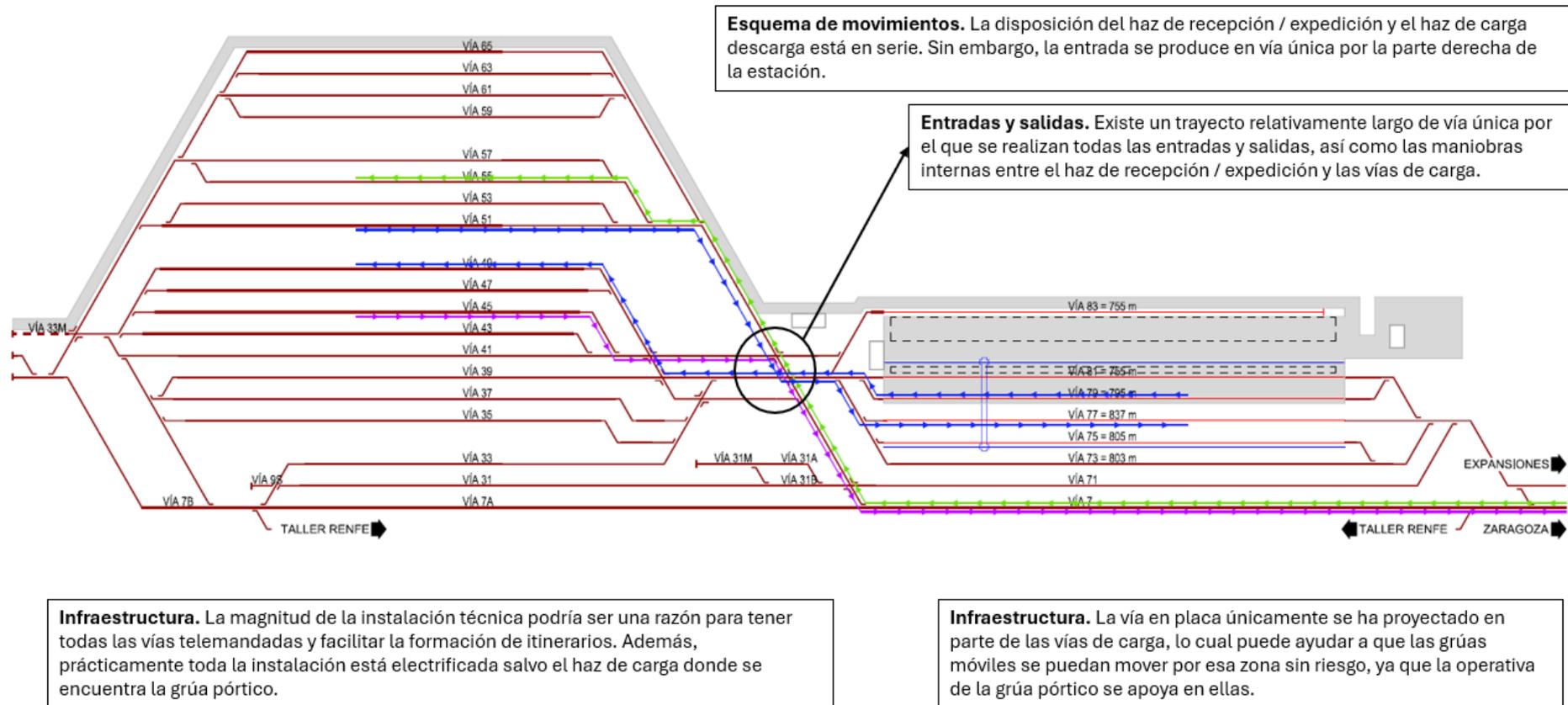
5.5.2.1. Vista aérea

Terminal de Zaragoza Plaza: terminal intermodal de contenedores



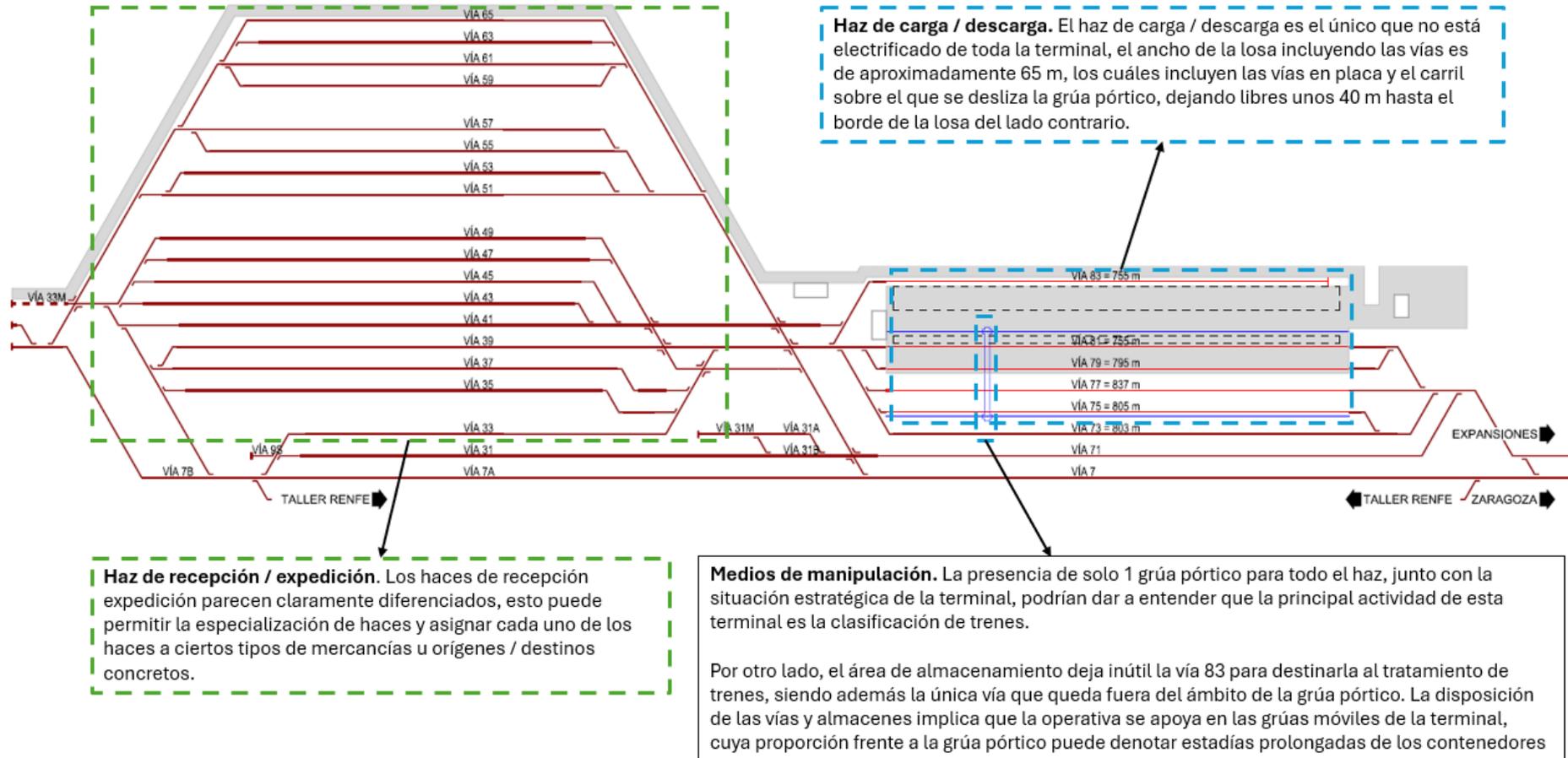
Fuente: Google Earth

5.5.2.2. Esquema de movimientos



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Adif

5.5.2.3. Esquema de vías

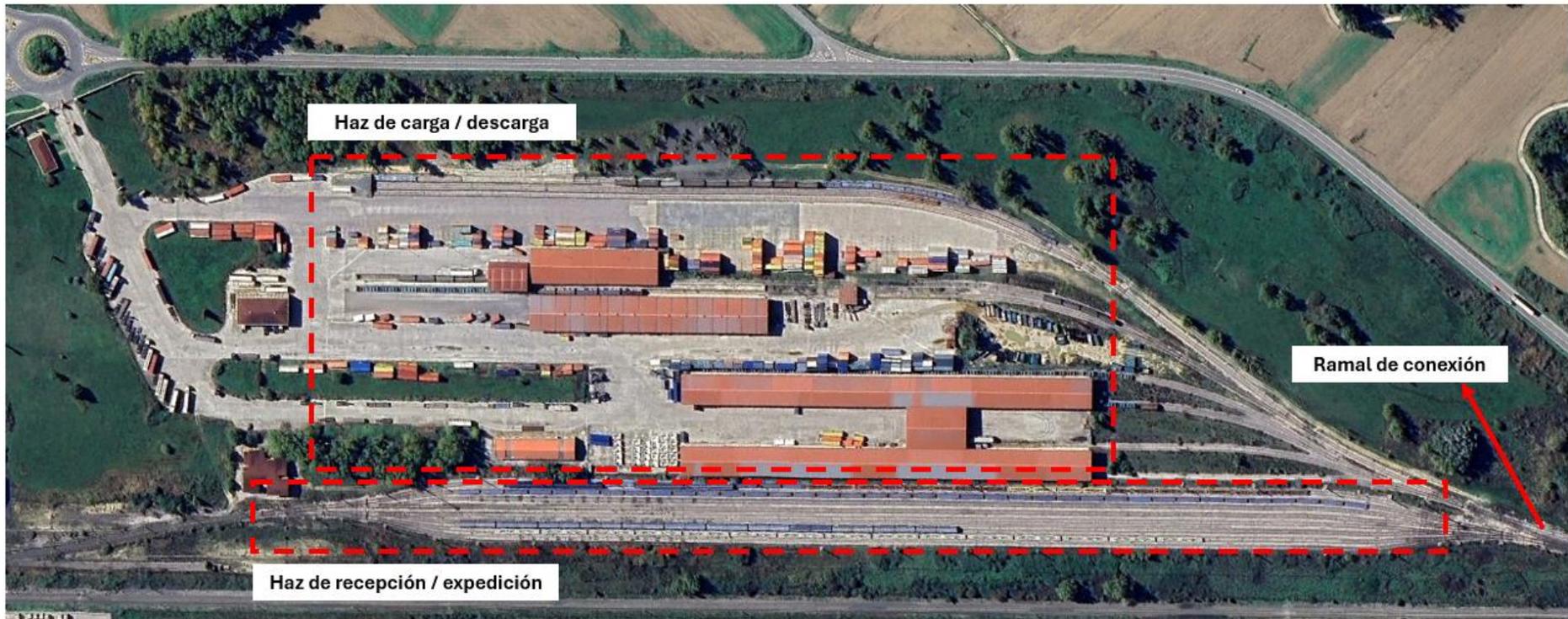


Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Adif

5.5.3. Noain

5.5.3.1. Vista aérea

Terminal de Noain: terminal intermodal
de contenedores

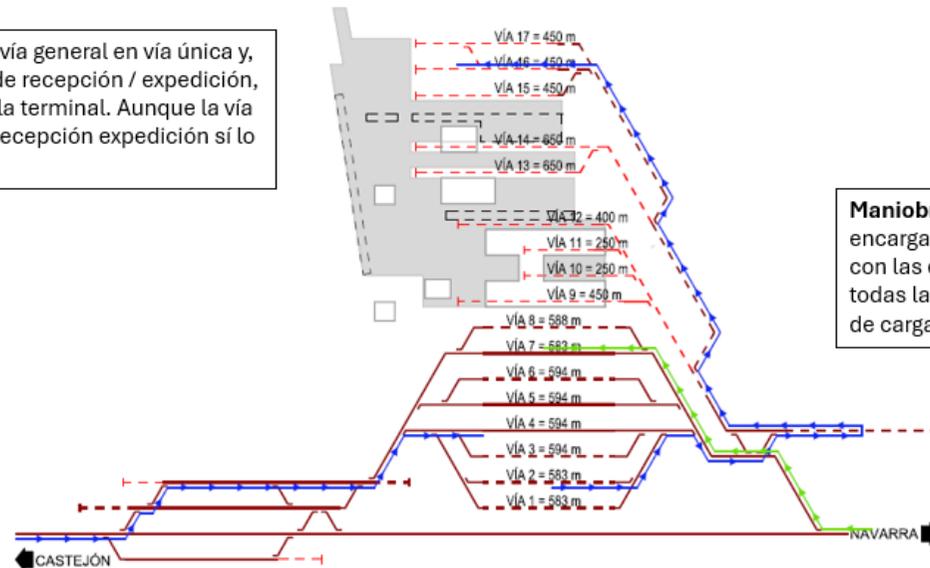


Fuente: Google Earth

5.5.3.2. Esquema de movimientos

Esquema de movimientos. La disposición del haz de recepción / expedición y el haz de carga descarga está en paralelo, si bien la terminal conecta a una vía general en vía única, lo que da a entender que no estará muy exigido en movimientos el ramal de conexión

Entradas y salidas. Al estar proyectada la vía general en vía única y, dada la cantidad de vías de la instalación de recepción / expedición, no parece que vaya a haber problemas en la terminal. Aunque la vía de carga / descarga no sea pasante, la de recepción expedición sí lo es.



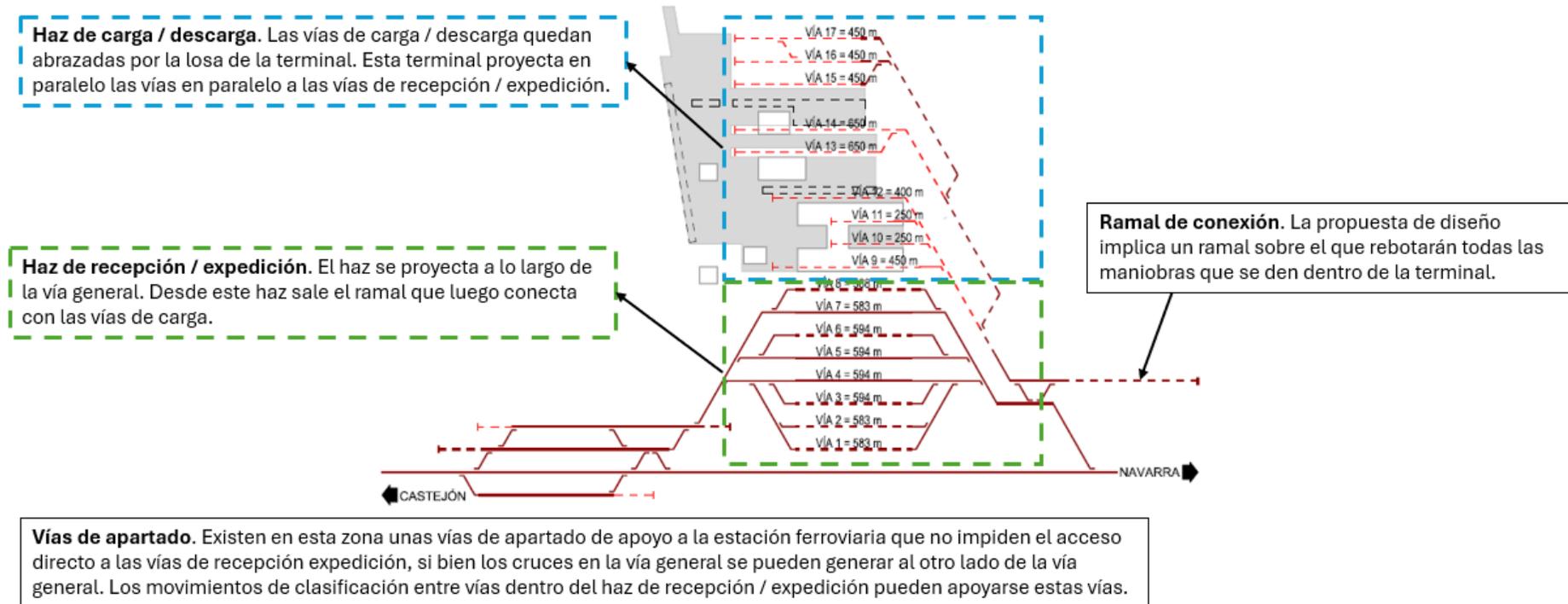
Maniobras. En esta terminal este ramal es el encargado de conectar las vías de carga / descarga con las de recepción / expedición, sobre él rebotan todas las composiciones, por lo que para las 9 vías de carga todos los trenes pasan por este ramal.

Infraestructura. Las vías de apartado junto a la vía general están electrificadas y telemandadas prácticamente en su totalidad. El haz de recepción también está electrificado, aunque no todas las vías están telemandadas. El haz de carga descarga está sin electrificar por la naturaleza de la mercancía y sin telemandar.

Infraestructura. Prácticamente no se ha provisto vía en placa, se han proyectado muelles desde donde trabajan las grúas móviles para depositar o extraer la mercancía de los trenes.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Adif

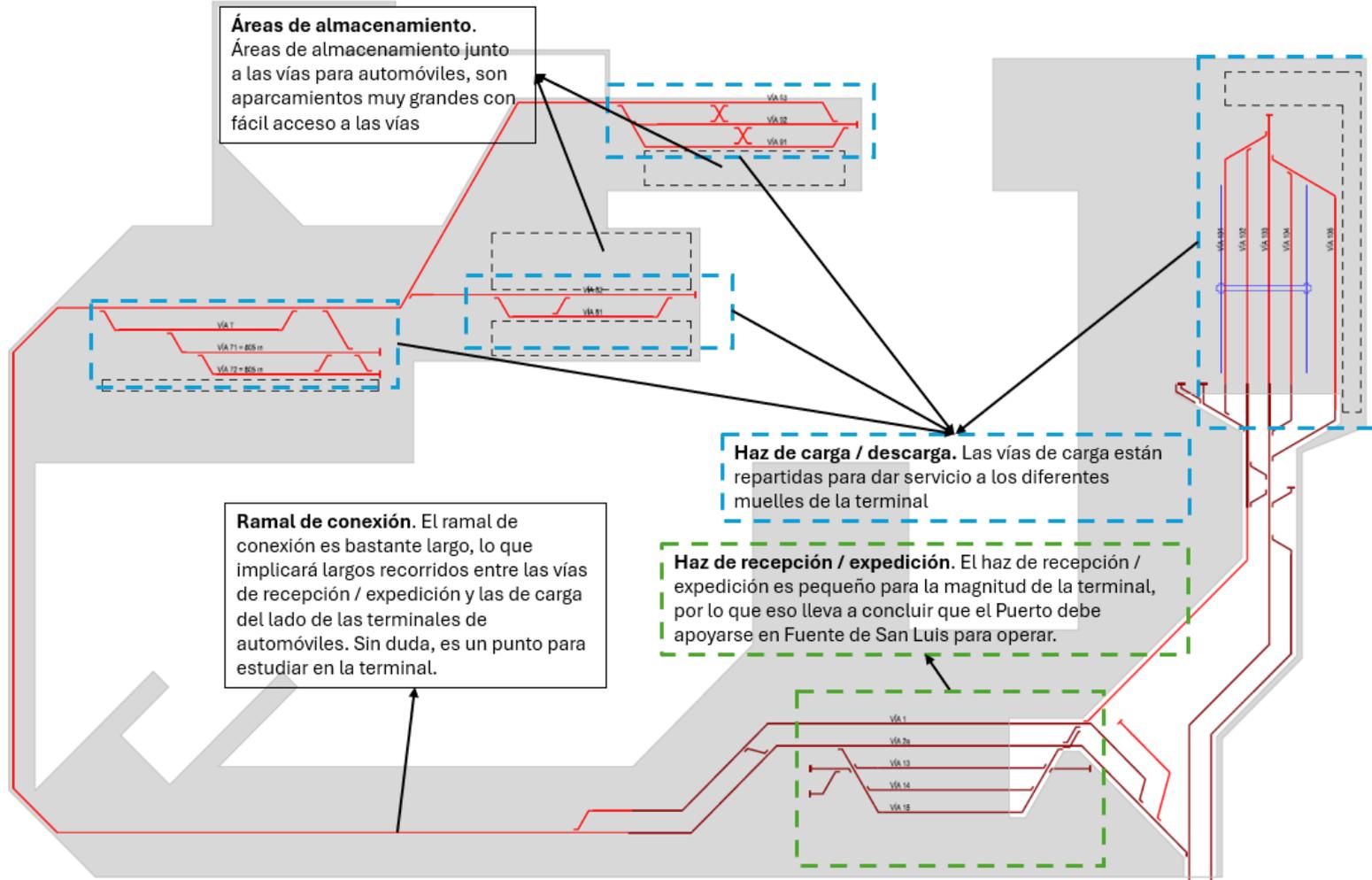
5.5.3.3. Esquema de vías



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Adif

5.5.4.3. Esquema de vías

No se ha podido identificar en la fuente de documentación si las vías están telemandadas o no:



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la consigna del Puerto [7]

6. HIPÓTESIS DE EXPLOTACIÓN

6.1. Introducción

El objetivo de las hipótesis de explotación es definir los parámetros que marcan un estudio de dimensionamiento de la terminal o del cálculo de capacidad en condiciones intensivas, asegurando la coherencia y trazabilidad de los resultados obtenidos. Estas hipótesis deben servir para establecer un marco de referencia claro y reproducible, que evite desviaciones interpretativas durante el desarrollo del estudio.

Un aspecto clave en esta fase es la validación y consenso de las hipótesis con el cliente o promotor, ya que los parámetros asumidos condicionan el dimensionamiento final de la instalación.

Las hipótesis se agrupan en función de su naturaleza: material móvil, tiempos operativos y condiciones de funcionamiento. Los parámetros que se salgan de lo habitual pueden tener repercusiones en el desarrollo de los cálculos o pueden obligar a tocar ciertos parámetros.

Por ejemplo: el tren tipo servirá para definir la longitud útil de las vías; la maquinaria disponible, garantizar la operativa de la terminal; y los medios auxiliares de tracción, permitirá realizar las maniobras planificadas.

6.2. Hipótesis relativas al material móvil

Tren tipo: Es necesario definir el tipo de tren o trenes que serán considerados en el estudio, incluyendo su longitud, tipo de carga, peso bruto remolcado (TBR) y configuración de vagones. En muchos casos, el cliente ya opera composiciones estándar que pueden tomarse como referencia.

Equipos y maquinaria disponibles: Los medios de manipulación (reachstackers, grúas, carretillas, etc.) determinan el tiempo de tratamiento por tren, por lo que su tipología y número deben considerarse desde el inicio.

Medios auxiliares de tracción: en las terminales puede haber locomotoras o vehículos biviales. Suelen ser plan locomotoras de maniobras tipo serie 311 (distancia entre topes: 14,2 m), habituales en maniobras internas de terminal. Los vehículos biviales son especialmente útiles en configuraciones con vías en topera o espacios reducidos.

Es recomendable comprobar que la potencia de los medios de tracción auxiliares es suficiente para movilizar las composiciones previstas, especialmente si los ramales de conexión presentan pendientes significativas.

6.3. Hipótesis relativas a los tiempos

Horario operativo: El rango habitual de funcionamiento de una terminal ferroviaria logística oscila entre 16 y 24 horas diarias, pudiendo variar según la zona de la instalación (recepción, tratamiento, expedición...).

Tiempo de manipulación de la mercancía: es conveniente ser claro con esta hipótesis, ya que condiciona completamente los resultados. En función del tipo de terminal, se expresará en tiempo de manipulación por UTI, llenado de cada vagón... que permite obtener el tiempo de tratamiento del tren tipo.

Tiempo medio de espera de surco: Representa el tiempo que un tren permanece a la espera del surco de entrada o de salida, condicionado por la asignación de capacidad en la red ferroviaria (ya sea Adif u otra administración). Este tiempo actúa como interfaz entre la operación de la terminal y la red ferroviaria.

6.4. Hipótesis relativas a la operativa

Se asume un **reparto equilibrado de tráfico**s en ambos sentidos y una cadencia regular de llegada y salida. Esto simplifica el dimensionamiento y evita considerar operativas en batería, que exigirían mayor número de vías disponibles.

Se prevé que **una vía de la playa de recepción/expedición permanezca libre** como margen operativo ante imprevistos o contingencias, aunque esta condición puede ajustarse en función del nivel de fiabilidad requerido.

Se considera que el estacionamiento de los trenes debe **permitir siempre la retirada de la locomotora**, evitando configuraciones que la dejen encerrada contra una topera. Esta condición es crítica para mantener la fluidez operativa.

Se asume que la **longitud del tren a la entrada y a la salida es la misma**. En caso de fraccionamiento durante el tratamiento, se contempla su recomposición previa a la expedición.

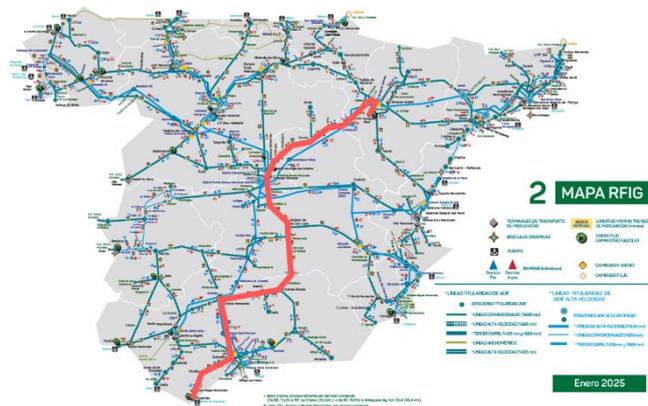
7. MATERIAL RODANTE – TREN TIPO

El primer paso para dimensionar adecuadamente una terminal ferroviaria logística es definir el material rodante tipo, es decir, las composiciones que serán tratadas de forma habitual en la instalación. Esta definición no se limita a un único tipo de tren necesariamente, ya que es posible que distintas zonas de la terminal operen con composiciones y cargas diferenciadas.

El tren tipo lo componen vagones y locomotoras, es importante comprender su configuración para poder evaluar la idoneidad de la infraestructura proyectada. En relación con los vagones suele haber más rigidez en función de la carga a tratar o transportar.

Partiendo del marco contextual ferroviario es posible determinar el tren tipo, tomando como referencia una locomotora y los vagones adecuados para la terminal ferroviaria que se está proyectando.

Origen - Destino	Algeciras-Zaragoza
Tracción	Eléctrica
i_{\max} sentido par [%]	24
i_{\max} sentido impar [%]	23
Longitud_{max} [m]	500/550
Tipo de Carga	Semitrailers



Es importante cuando se habla de locomotoras entender cuál es el parámetro fundamental: la carga máxima que pueden transportar que, junto a los datos provenientes de la contextualización ferroviaria, ayudarán a definir el tren tipo. Con la rampa máxima y el tipo de tracción se puede consultar los **cuadros de cargas máximas** de cada locomotora. En España estos cuadros de cargas máximas están parametrizados y definidos, si bien conviene conocer su origen y cómo calcularlos. Además, con la información de la declaración sobre la red, se podrá determinar su **longitud máxima**.

7.1. Cálculo de los cuadros de cargas máximas de las locomotoras

Para calcular el cuadro de cargas máximas, se han de hacer una serie de comprobaciones en distintos puntos de la gráfica de esfuerzo – velocidad de las locomotoras, tanto en el arranque como en al final del régimen uniforme.

Al margen de las cargas calculadas, puede haber limitaciones de carga por parte de la administración ferroviaria. En el caso de España, se aplica una limitación de la carga remolcada máxima de 2.500 toneladas.

Para definir correctamente la carga máxima que puede remolcar un tren, deben aplicarse las siguientes fórmulas tanto en arranque como en marcha [8]:

- Esfuerzo del tren en arranque:

$$Q = \frac{F}{a_r + g \cdot i + r_{arr} + r_{tren}} - peso_{locomotora}$$

Donde:

- F: Esfuerzo en arranque del tren [KN]
- a_r : aceleración residual en arranque [KN/t]
- g: gravedad, tomada como $9,81 \text{ m/s}^2$
- i: rampa [$\% \cdot 10^{-3}$]
- r_{arr} : resistencia en arranque del tren [KN/t]
- r_{tren} : resistencia del tren. En este caso suele asumirse el parámetro A de la fórmula de resistencia igual en locomotoras y vagones [KN/t]

- Esfuerzo de los enganches en arranque

$$Q = \frac{F}{i + r_{arr}}$$

Donde:

- F: Esfuerzo del gancho en arranque
- i: rampa
- r_{arr} : resistencia en arranque del tren

- Esfuerzo del tren en marcha

$$Q = \frac{F - (a_r + r_{locomotora} + g \cdot i) \cdot peso_{locomotora}}{a_r + g \cdot i + r_{vagones}}$$

Donde:

- F: Esfuerzo en marcha del tren
- a_r : aceleración residual en marcha
- $r_{locomotora}$: resistencia de la locomotora
- g: gravedad, tomada como $9,81 \text{ m/s}^2$
- i: rampa
- $r_{vagones}$: resistencia de los vagones

- Esfuerzo de los enganches en marcha

$$Q = \frac{F}{i + r_{tren} + 1}$$

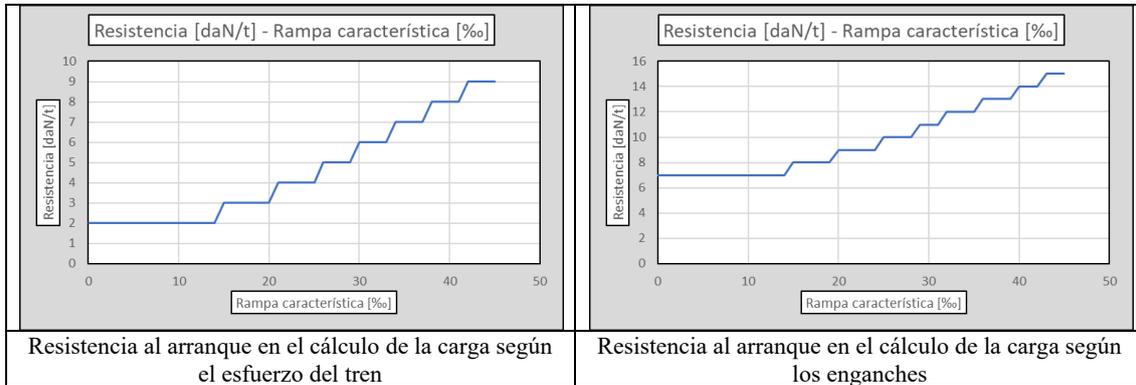
Donde:

- F: Esfuerzo del gancho en marcha
- i: rampa
- r_{arr} : resistencia en arranque del tren

Algunas consideraciones de los parámetros utilizados, los esfuerzos residuales en arranque y en marcha suelen ser distintos, exigiéndose en arranque $2,5 \text{ daN/t}$, lo que equivale a $0,025 \text{ m/s}^2$ por tonelada, mientras que en marcha es de $0,5 \text{ daN/t}$. Estos valores

suelen incrementarse para composiciones con doble tracción, hasta 3 daN/t y 1 daN/t por tonelada respectivamente.

En relación con la resistencia en arranque, suele adoptarse la siguiente distribución. Existen diferencias a la hora de considerar las resistencias al arranque según se calcule según el esfuerzo del tren o del límite de los enganches:



La resistencia de los vagones y de la locomotora:

- Resistencia de la locomotora:

$$r_{locomotora} = 0,65 + \frac{13 \cdot ejes}{peso_{locomotora}} + 0,01 \cdot v + \frac{0,03}{peso_{locomotora}} \cdot v^2$$

- Resistencia de los vagones:

$$r_{vagones} = 2 + \frac{1}{1600} \cdot v^2$$

Donde:

- $r_{locomotora}$: resistencia de la locomotora [daN/t]
- $r_{vagones}$: resistencia de los vagones [daN/t]
- $peso_{locomotora}$: peso de la locomotora en [t]

Si aplicamos las fórmulas para todas las velocidades con la limitación que resulte del cálculo anterior, se podrán trazar las curvas de carga máxima en función de la rampa y velocidad, que serán utilizadas posteriormente para evaluar la viabilidad de las conexiones ferroviarias con origen/destino la terminal.

Algunas consideraciones sobre el material remolcado es la tensión a la que trabajan. Cuando lo hacen sobre redes a 3 KV existen limitaciones de corriente debido a las caídas de tensión que provocan las cargas en la línea eléctrico que es posible que no afecten a una única locomotora eléctrica, pero en composición doble pueden manifestarse.

Por otro lado, otro parámetro a considerar es el peso adherente, los cálculos de cargas máximas se realizan con unos esfuerzos adherentes relativamente altos que se manifiestan en condiciones idóneas de tracción. También relacionado con este concepto, es posible

que una locomotora con menor potencia pueda remolcar más carga que otra con mayor potencia si tiene mayor peso adherente.

7.2. Locomotora tipo S-253 (eléctrica)

La locomotora S-253, propiedad de Renfe Mercancías, representa uno de los modelos más comunes en tracción eléctrica. Se trata de una locomotora Bo-Bo (cuatro ejes motrices), con las siguientes características:

- Potencia nominal: 5.200 kW [9]
- Esfuerzo de tracción máximo en arranque: 300 kN
- Esfuerzo adherente máximo en arranque: 343 kN
- Esfuerzo de tracción máximo en marcha: 300 kN
- Esfuerzo adherente máximo en marcha: 278 kN
- Régimen continuo: 62 km/h

7.3. Locomotora tipo S-333.3 (diésel)

En cuanto a la tracción diésel, el modelo más representativo es la S-333.3, también de Renfe Mercancías, configurada habitualmente para servicios de media y larga distancia en líneas no electrificadas con una configuración Co-Co y presenta las siguientes características:

- Potencia nominal: 2.460 kW [9]
- Esfuerzo de tracción máximo en arranque: 343 kN
- Esfuerzo adherente máximo en arranque: 403 kN
- Esfuerzo de tracción máximo en marcha: 323 kN
- Esfuerzo adherente máximo en marcha: 373 kN
- Régimen continuo: 21 km/h

El rendimiento del motor, al ser una locomotora diésel representa una fracción de la potencia disponible, con un rendimiento máximo a llanta: 80 % a partir de 40–50 km/h. Tiene mayor peso adherente por eje, lo que mejora su comportamiento en tracción a baja velocidad y en doble composición no ve limitado su esfuerzo por limitaciones de corriente al ser diésel.

7.4. Locomotora tipo S-256

Esta locomotora eléctrica evoluciona la S-253, implementando un peso adherente mucho mayor por la disposición de los bogies en la locomotora, permitiendo la instalación de mayor potencia y pudiendo remolcar mayores cargas, entre las características que la definen:

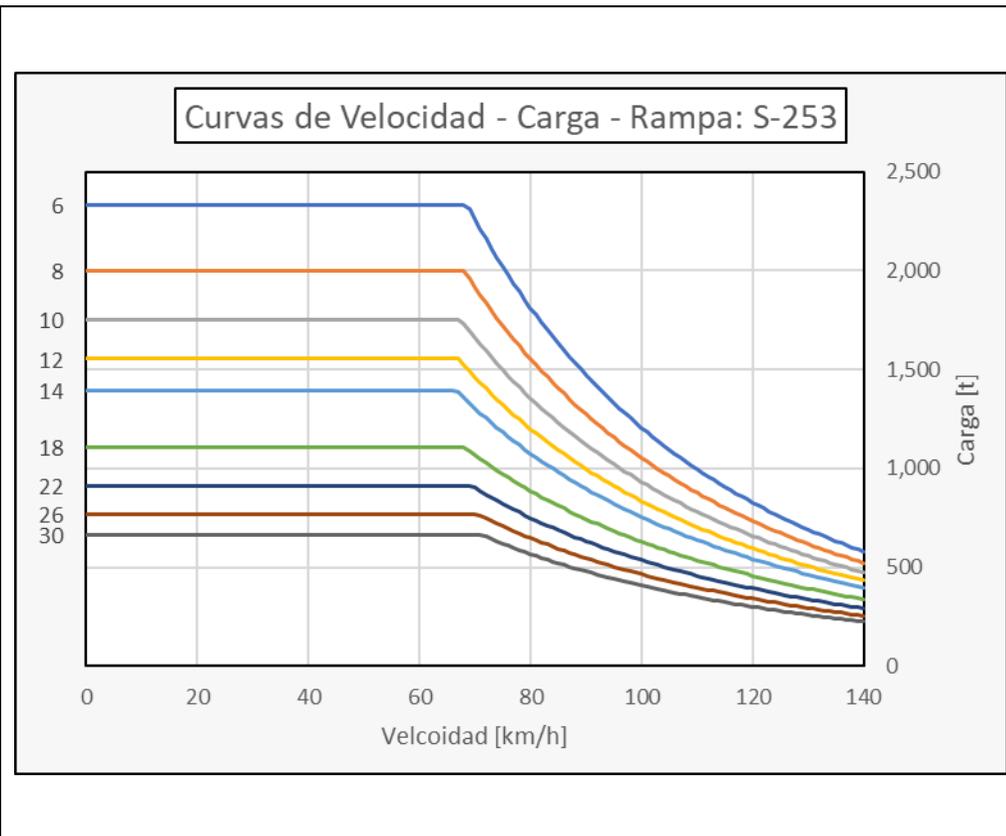
- Potencia nominal: 6.400 kW [9]
- Esfuerzo de tracción máximo en arranque: 410 kN
- Esfuerzo adherente máximo en arranque: 470 kN
- Esfuerzo de tracción máximo en marcha: 410 kN
- Esfuerzo adherente máximo en marcha: 380 kN
- Régimen continuo: 56 km/h

7.5. Cuadros de cargas máximas

Se muestran en este apartado los resultados de la aplicación de las fórmulas especificadas en apartados anteriores, con lo que se obtendrá las cargas máximas remolcable por cada composición.

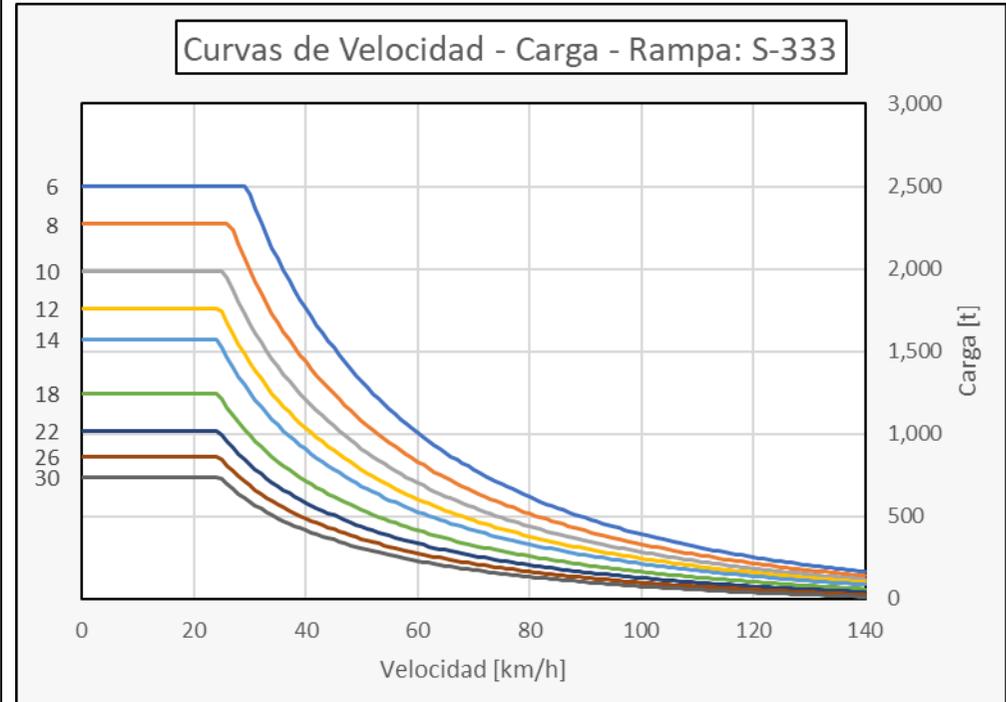
7.5.1. S-253

Rampa ficticia [mm/m]	Carga arrancable			Carga remolcable			Carga Máxima	
	Régimen Máximo	Adherencia Arranque	Límite enganches	Régimen continuo	Adherencia marcha	Límites enganches	Carga Máxima	Concepto que limita
0	4,527	5,189	5,143	5,970	5,524	6,616	4,527	Régimen Máximo
1	3,922	4,497	4,500	4,966	4,595	5,589	3,922	Régimen Máximo
2	3,457	3,965	4,000	4,248	3,929	4,838	3,457	Régimen Máximo
3	3,089	3,544	3,600	3,709	3,430	4,265	3,089	Régimen Máximo
4	2,790	3,202	3,273	3,288	3,040	3,813	2,790	Régimen Máximo
5	2,542	2,919	3,000	2,952	2,729	3,448	2,542	Régimen Máximo
6	2,334	2,681	2,769	2,677	2,473	3,147	2,334	Régimen Máximo
7	2,156	2,478	2,572	2,447	2,261	2,894	2,156	Régimen Máximo
8	2,003	2,303	2,400	2,252	2,080	2,678	2,003	Régimen Máximo
9	1,869	2,150	2,250	2,086	1,926	2,493	1,869	Régimen Máximo
10	1,751	2,015	2,118	1,941	1,792	2,332	1,751	Régimen Máximo
11	1,647	1,896	2,000	1,815	1,675	2,190	1,647	Régimen Máximo
12	1,554	1,789	1,895	1,703	1,571	2,064	1,554	Régimen Máximo
13	1,470	1,694	1,800	1,604	1,479	1,952	1,470	Régimen Máximo
14	1,395	1,607	1,714	1,515	1,397	1,852	1,395	Régimen Máximo
15	1,262	1,456	1,565	1,435	1,323	1,761	1,262	Régimen Máximo
16	1,205	1,391	1,500	1,362	1,256	1,679	1,205	Régimen Máximo
17	1,153	1,331	1,440	1,297	1,195	1,604	1,153	Régimen Máximo
18	1,104	1,275	1,385	1,237	1,139	1,536	1,104	Régimen Máximo
19	1,060	1,224	1,333	1,181	1,088	1,473	1,060	Régimen Máximo
20	1,018	1,177	1,286	1,131	1,041	1,415	1,018	Régimen Máximo
21	943	1,091	1,200	1,084	998	1,362	943	Régimen Máximo
22	909	1,052	1,161	1,041	958	1,312	909	Régimen Máximo
23	878	1,016	1,125	1,000	920	1,266	878	Régimen Máximo
24	848	982	1,091	963	886	1,223	848	Régimen Máximo
25	820	951	1,059	928	853	1,183	820	Régimen Máximo
26	769	892	1,000	895	823	1,145	769	Régimen Máximo
27	746	865	973	864	794	1,110	746	Régimen Máximo
28	724	840	947	836	768	1,077	724	Régimen Máximo
29	703	816	923	808	743	1,045	703	Régimen Máximo
30	663	771	878	783	719	1,016	663	Régimen Máximo



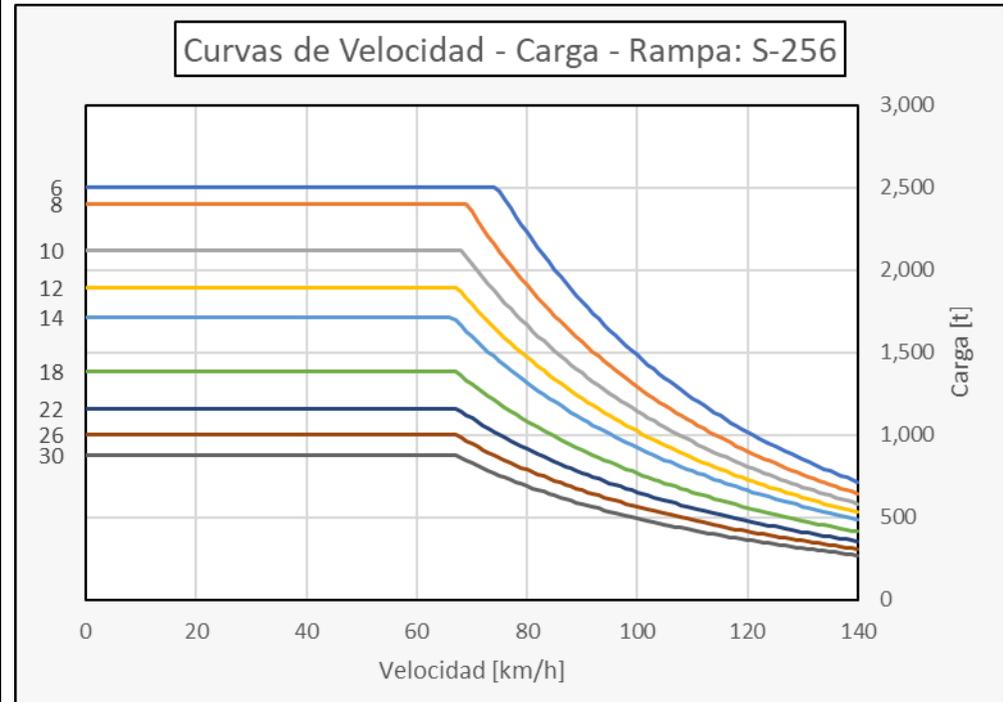
7.5.2. S-333

Rampa ficticia [mm/m]	Carga arrancable			Carga remolcable			Carga Máxima	
	Régimen Máximo	Adherencia Arranque	Límite enganches	Régimen continuo	Adherencia marcha	Límites enganches	Carga Máxima	Concepto que limita
0	5,157	6,080	5,143	11,567	13,385	11,077	5,143	Límite enganches
1	4,465	5,267	4,500	8,494	9,834	8,471	4,465	Régimen Máximo
2	3,933	4,642	4,000	6,700	7,762	6,857	3,933	Régimen Máximo
3	3,512	4,148	3,600	5,525	6,403	5,760	3,512	Régimen Máximo
4	3,170	3,746	3,273	4,695	5,445	4,966	3,170	Régimen Máximo
5	2,887	3,414	3,000	4,078	4,731	4,364	2,887	Régimen Máximo
6	2,649	3,134	2,769	3,601	4,180	3,892	2,649	Régimen Máximo
7	2,446	2,895	2,572	3,222	3,742	3,512	2,446	Régimen Máximo
8	2,271	2,689	2,400	2,912	3,384	3,200	2,271	Régimen Máximo
9	2,118	2,509	2,250	2,656	3,087	2,939	2,118	Régimen Máximo
10	1,983	2,351	2,118	2,439	2,837	2,717	1,983	Régimen Máximo
11	1,864	2,211	2,000	2,253	2,623	2,526	1,864	Régimen Máximo
12	1,757	2,086	1,895	2,093	2,437	2,361	1,757	Régimen Máximo
13	1,662	1,973	1,800	1,953	2,276	2,215	1,662	Régimen Máximo
14	1,575	1,872	1,714	1,830	2,133	2,087	1,575	Régimen Máximo
15	1,424	1,694	1,565	1,720	2,006	1,973	1,424	Régimen Máximo
16	1,359	1,617	1,500	1,622	1,893	1,870	1,359	Régimen Máximo
17	1,299	1,547	1,440	1,534	1,792	1,778	1,299	Régimen Máximo
18	1,243	1,482	1,385	1,455	1,700	1,694	1,243	Régimen Máximo
19	1,192	1,422	1,333	1,383	1,616	1,618	1,192	Régimen Máximo
20	1,145	1,366	1,286	1,317	1,540	1,548	1,145	Régimen Máximo
21	1,059	1,265	1,200	1,256	1,470	1,485	1,059	Régimen Máximo
22	1,020	1,220	1,161	1,201	1,406	1,426	1,020	Régimen Máximo
23	984	1,177	1,125	1,150	1,347	1,371	984	Régimen Máximo
24	950	1,138	1,091	1,102	1,292	1,321	950	Régimen Máximo
25	919	1,100	1,059	1,058	1,242	1,274	919	Régimen Máximo
26	860	1,031	1,000	1,017	1,194	1,231	860	Régimen Máximo
27	833	1,000	973	979	1,150	1,190	833	Régimen Máximo
28	808	970	947	944	1,109	1,152	808	Régimen Máximo
29	784	942	923	910	1,070	1,116	784	Régimen Máximo
30	739	889	878	879	1,034	1,083	739	Régimen Máximo



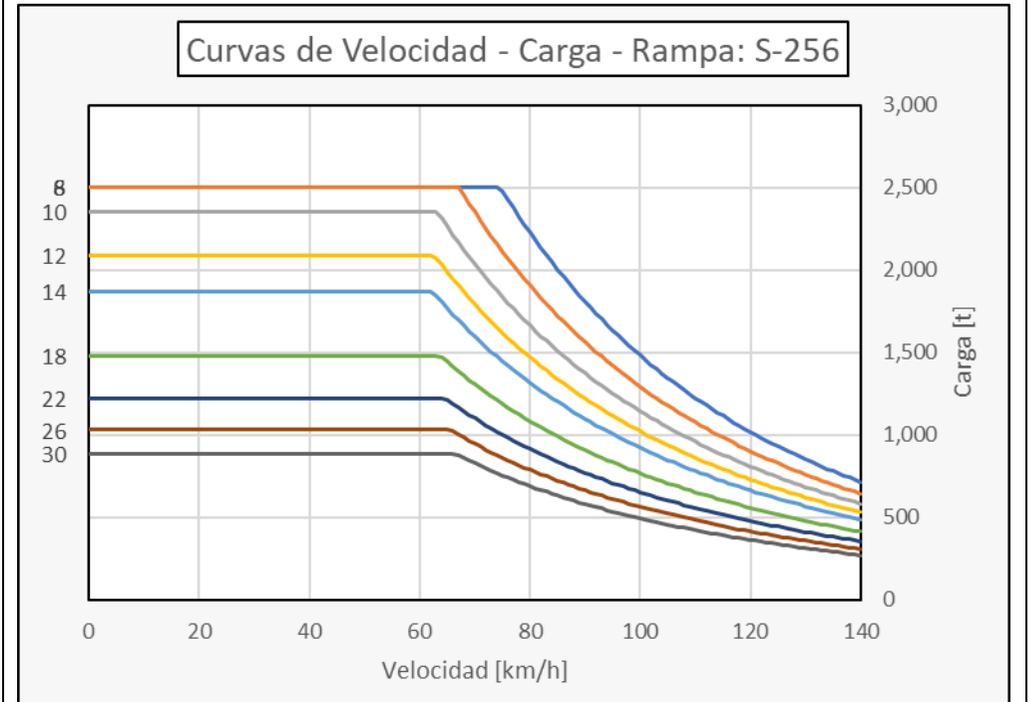
7.5.3. S-256: gancho normal

Rampa ficticia [mm/m]	Carga arrancable			Carga remolcable			Carga Máxima	
	Régimen	Adherencia	Límite	Régimen	Adherencia	Límites	Carga Máxima	Concepto que limita
	Máximo	Arranque	enganches	continuo	marcha	enganches		
0	6,188	7,111	5,143	9,054	8,382	7,258	5,143	Límite enganches
1	5,342	6,142	4,500	7,400	6,849	6,041	4,500	Límite enganches
2	4,697	5,402	4,000	6,252	5,784	5,173	4,000	Límite enganches
3	4,188	4,818	3,600	5,407	5,002	4,523	3,600	Límite enganches
4	3,776	4,346	3,273	4,760	4,403	4,018	3,273	Límite enganches
5	3,436	3,956	3,000	4,249	3,929	3,615	3,000	Límite enganches
6	3,151	3,629	2,769	3,835	3,545	3,285	2,769	Límite enganches
7	2,908	3,351	2,572	3,492	3,228	3,010	2,572	Límite enganches
8	2,698	3,111	2,400	3,204	2,961	2,778	2,400	Límite enganches
9	2,516	2,902	2,250	2,959	2,733	2,579	2,250	Límite enganches
10	2,356	2,718	2,118	2,747	2,537	2,407	2,118	Límite enganches
11	2,214	2,556	2,000	2,563	2,366	2,256	2,000	Límite enganches
12	2,088	2,411	1,895	2,401	2,216	2,123	1,895	Límite enganches
13	1,974	2,281	1,800	2,257	2,083	2,005	1,800	Límite enganches
14	1,872	2,163	1,714	2,129	1,964	1,899	1,714	Límite enganches
15	1,695	1,961	1,565	2,014	1,857	1,804	1,565	Límite enganches
16	1,618	1,872	1,500	1,910	1,761	1,718	1,500	Límite enganches
17	1,547	1,790	1,440	1,816	1,674	1,639	1,440	Límite enganches
18	1,481	1,715	1,385	1,730	1,594	1,568	1,385	Límite enganches
19	1,421	1,646	1,333	1,651	1,522	1,503	1,333	Límite enganches
20	1,364	1,582	1,286	1,579	1,455	1,442	1,286	Límite enganches
21	1,264	1,466	1,200	1,513	1,393	1,387	1,200	Límite enganches
22	1,218	1,414	1,161	1,451	1,336	1,335	1,161	Límite enganches
23	1,176	1,366	1,125	1,394	1,283	1,288	1,125	Límite enganches
24	1,136	1,320	1,091	1,341	1,234	1,243	1,091	Límite enganches
25	1,098	1,277	1,059	1,292	1,188	1,202	1,059	Límite enganches
26	1,030	1,198	1,000	1,245	1,145	1,163	1,000	Límite enganches
27	998	1,162	973	1,202	1,105	1,126	973	Límite enganches
28	968	1,128	947	1,162	1,068	1,092	947	Límite enganches
29	940	1,095	923	1,123	1,032	1,060	923	Límite enganches
30	888	1,035	878	1,087	999	1,030	878	Límite enganches



7.5.4. S-256: gancho de alta resistencia

Rampa ficticia [mm/m]	Carga arrancable			Carga remolcable			Carga Máxima	
	Régimen Máximo	Adherencia Arranque	Límite enganches	Régimen continuo	Adherencia marcha	Límites enganches	Carga Máxima	Concepto que limita
0	6,188	7,111	8,000	9,054	8,382	11,290	6,188	Régimen Máximo
1	5,342	6,142	7,000	7,400	6,849	9,396	5,342	Régimen Máximo
2	4,697	5,402	6,222	6,252	5,784	8,046	4,697	Régimen Máximo
3	4,188	4,818	5,600	5,407	5,002	7,035	4,188	Régimen Máximo
4	3,776	4,346	5,091	4,760	4,403	6,250	3,776	Régimen Máximo
5	3,436	3,956	4,667	4,249	3,929	5,623	3,436	Régimen Máximo
6	3,151	3,629	4,308	3,835	3,545	5,110	3,151	Régimen Máximo
7	2,908	3,351	4,000	3,492	3,228	4,682	2,908	Régimen Máximo
8	2,698	3,111	3,733	3,204	2,961	4,321	2,698	Régimen Máximo
9	2,516	2,902	3,500	2,959	2,733	4,011	2,516	Régimen Máximo
10	2,356	2,718	3,294	2,747	2,537	3,743	2,356	Régimen Máximo
11	2,214	2,556	3,111	2,563	2,366	3,509	2,214	Régimen Máximo
12	2,088	2,411	2,947	2,401	2,216	3,302	2,088	Régimen Máximo
13	1,974	2,281	2,800	2,257	2,083	3,118	1,974	Régimen Máximo
14	1,872	2,163	2,667	2,129	1,964	2,954	1,872	Régimen Máximo
15	1,695	1,961	2,435	2,014	1,857	2,806	1,695	Régimen Máximo
16	1,618	1,872	2,333	1,910	1,761	2,672	1,618	Régimen Máximo
17	1,547	1,790	2,240	1,816	1,674	2,550	1,547	Régimen Máximo
18	1,481	1,715	2,154	1,730	1,594	2,439	1,481	Régimen Máximo
19	1,421	1,646	2,074	1,651	1,522	2,337	1,421	Régimen Máximo
20	1,364	1,582	2,000	1,579	1,455	2,244	1,364	Régimen Máximo
21	1,264	1,466	1,867	1,513	1,393	2,157	1,264	Régimen Máximo
22	1,218	1,414	1,806	1,451	1,336	2,077	1,218	Régimen Máximo
23	1,176	1,366	1,750	1,394	1,283	2,003	1,176	Régimen Máximo
24	1,136	1,320	1,697	1,341	1,234	1,934	1,136	Régimen Máximo
25	1,098	1,277	1,647	1,292	1,188	1,869	1,098	Régimen Máximo
26	1,030	1,198	1,556	1,245	1,145	1,809	1,030	Régimen Máximo
27	998	1,162	1,514	1,202	1,105	1,752	998	Régimen Máximo
28	968	1,128	1,474	1,162	1,068	1,699	968	Régimen Máximo
29	940	1,095	1,436	1,123	1,032	1,649	940	Régimen Máximo
30	888	1,035	1,366	1,087	999	1,602	888	Régimen Máximo



8. APROXIMACION A LA CAPACIDAD FERROVIARIA

8.1. Hipótesis

A la hora de diseñar una terminal es habitual transformar la demanda anual en una demanda diaria máxima que se va a presentar en la terminal en un plazo de 30 años, un tiempo que representa la vida útil mínima que debe tener una actuación de la infraestructura. La pretensión es poder evaluar la reserva de terrenos e ir creciendo paulatinamente conforme se vayan cumpliendo las expectativas de la demanda.

El cálculo de capacidad pretende dar respuesta a las necesidades de la demanda calculada. El cálculo de la capacidad ferroviaria se basa en los supuestos técnicos que se han descrito en apartados anteriores y que afectan notablemente a los resultados. Estos pueden variar en función del diseño, los equipos disponibles y la configuración de cada terminal.

Un aspecto que considerar en el cálculo de la capacidad de cualquier infraestructura ferroviaria es la distinción entre capacidad teórica y capacidad real. Normalmente la capacidad real se encuentra en el rango del 60 – 80% de la capacidad teórica calculada. Este valor es fruto de la experiencia y puede variar de una situación a otra.

Las vías de carga/descarga son el elemento principal sobre el que gira el diseño de una terminal ya que es el propósito para el que son construida, el tratamiento de las mercancías. El resto de las instalaciones suelen girar a partir de los resultados que se dirimen de esta instalación.

8.2. Tiempo de rotación

El tiempo de rotación hace referencia a la suma de todos aquellos tiempos que no son parte del proceso de carga y descarga. Estos tiempos suelen ser fijos y no deben variar al hacer un análisis de una terminal logística o ferropuertaria.

Los tiempos de rotación pueden ser diferentes si hay que contemplar el fraccionamiento de trenes, puesto que el número de maniobras se incrementa considerablemente.

Los tiempos que lo componen **a la llegada del tren** son:

- **Tiempo de recepción:** este tiempo no es posible de gestionar por la propia terminal, dependerá de la circulación en vía general y de la capacidad del administrador de infraestructura para conceder surcos a los mercantes. La estimación del tiempo necesario podría medirse teniendo en consideración el tiempo que pasa entre un surco de mercancías y el siguiente en la malla, o la cantidad de surcos totales disponibles en un día dividido entre las horas de explotación (habría que considerar si hay otras terminales logísticas en vía general que puedan penalizar este tiempo). En cualquier caso, debe ser un tiempo consensuado puesto que tiene una incidencia notoria en la capacidad.
- **Freno de estacionamiento:** el tiempo dedicado a poner los calces previos a desacoplar la locomotora
- **Desacople de la locomotora:** es un tiempo modesto para liberar la locomotora y que pueda abandonar la instalación por alguna vía libre

A la salida del tren:

- **Acople de la locomotora:** una vez tratado el tren, debe considerarse un pequeño tiempo para acoplar el material de tracción
- **Comprobación de la tubería de frenado:** duración de las pruebas para poder autorizar la circulación del tren. Este tiempo suele variar en función de la longitud del tren.
- **Tiempo de expedición:** este tiempo es conceptualmente, análogo al primero, ya que no depende de la propia terminal, sino de la capacidad de la vía general para aceptar trenes mercantes.

Tiempo que permanece la vía libre:

- **Intervalo mínimo de seguimiento:** uno de los más importantes y no siempre considerado es el intervalo mínimo de seguimiento, que tiene gran repercusión sobre la trabajabilidad de la vía, ya que puede alcanzar valores relativamente altos, especialmente en terminales logísticas. Este concepto involucra tanto la salida y liberación de la vía de un tren que ha sido tratado hasta la llegada y posicionamiento del tren siguiente, así como el tiempo que ha de pasar entre medias. En definitiva, es el tiempo que la vía está necesariamente libre en lo que se reemplaza el tren a tratar.

El tiempo de rotación será la suma de los 3 tiempos que se han descrito, y que puede representar un tiempo considerablemente alto en la explotación ferroviaria de una terminal.

8.3. Metodologías de cálculo de capacidad de las vías de carga/descarga

La capacidad de las vías de carga puede estimarse mediante diferentes metodologías que varían en función de la filosofía de cálculo adoptada. Se han considerado tres enfoques: conservador, moderado y agresivo.

El tiempo de tratamiento de un tren es el que varía más significativamente en función de las hipótesis de explotación planteadas. Pudiendo haber cambios significativos en los resultados. Es importante identificar adecuadamente el tratamiento que se le dará al tren para obtener un resultado lógico para la terminal.

8.3.1. Enfoque conservador

Este método calcula la capacidad considerando la asignación directa de un número determinado de equipos por vía. El cálculo se realiza por vía individual y no a nivel de terminal completa, lo que puede dar lugar a resultados erróneos o subestimados cuando se incrementa el número de vías.

Si el equipo está fijo en una vía y no puede trabajar sobre otras vías esta será la forma de determinar la capacidad ferroviaria, que podría ser el caso de graneles sólidos o líquidos en operaciones con trenes bien estacionados sobre una vía o desplazándose sobre un punto fijo para ser cargados.

La capacidad ferroviaria es intuitiva en este caso:

$$\text{Capacidad} = \text{vías} \times \text{Entero} \left(\frac{T_{\text{trabajo}}}{T_t + T_r} \right)$$

$$T_t = \frac{T_{t \text{ con 1 equipo}}}{\text{equipos/vías}}$$

Donde:

- T_{trabajo} : Tiempo de trabajo de la terminal
- T_t : Tiempo de tratamiento de 1 tren individual
- $T_{t \text{ con 1 equipo}}$: Tiempo de tratamiento de 1 tren individual dedicándole 1 equipo
- T_r : Tiempo de rotación

Este método presenta una limitación significativa: si el número de equipos por vía es bajo, la capacidad calculada disminuye o incluso se anula conforme crecen las vías y se mantienen los equipos, algo que no siempre refleja la realidad operativa. Además, la capacidad se incrementa en escalones poco realistas al aumentar discretamente el número de equipos.

8.3.2. Enfoque moderado

En este caso, el cálculo se realiza a nivel de terminal completa, considerando la capacidad global del conjunto de vías y equipos. De este modo, se evita la penalización por incremento de vías que presenta el enfoque anterior.

$$\text{Capacidad} = \text{Entero} \left(\text{vías} \times \frac{T_{\text{trabajo}}}{T_t + T_r} \right)$$

$$T_t = \frac{T_{t \text{ con 1 equipo}}}{\text{equipos/vías}}$$

Donde:

- T_{trabajo} : Tiempo de trabajo de la terminal
- T_t : Tiempo de tratamiento de 1 tren individual
- $T_{t \text{ con 1 equipo}}$: Tiempo de tratamiento de 1 tren individual dedicándole 1 equipo
- T_r : Tiempo de rotación

Este método presenta resultados más estables y coherentes con el aumento de vías o equipos. Sin embargo, considera parte del tiempo disponible del equipo como inactivo debido al tiempo de rotación de los trenes, lo que puede penalizar ligeramente la estimación.

8.3.3. Enfoque agresivo

El método agresivo representa la capacidad máxima teórica que puede alcanzarse en condiciones óptimas. Resulta particularmente adecuado para evaluar la capacidad de zonas de carga cuando el tiempo de rotación es alto, ya que separa claramente el efecto de los equipos y el de las vías.

Se calcula como el mínimo entre dos valores. Uno de los valores estudia la disponibilidad de infraestructura para tratar el material rodante, mientras que el otro término evalúa la disponibilidad de los medios de manipulación:

$$Capacidad = Entero \left(\text{Min} \left(\frac{vías \times T_{trabajo}}{\frac{T_{t \text{ con 1 equipo}}}{equipos} + T_r}; \frac{equipos \times T_{trabajo}}{T_{t \text{ con 1 equipo}} + T_d} \right) \right)$$

Donde:

- $T_{trabajo}$: Tiempo de trabajo de la terminal
- $T_{t \text{ con 1 equipo}}$: Tiempo de tratamiento de 1 tren individual dedicándole 1 equipo
- T_r : Tiempo de rotación
- T_d : tiempo de desplazamiento entre vías de 1 equipo, es decir, el tiempo que necesita 1 equipo (si es móvil) para comenzar a trabajar sobre otra vía una vez finaliza el trabajo sobre un tren.

Este enfoque elimina el efecto del tiempo de rotación sobre la disponibilidad del equipo, bajo la hipótesis de que el cambio de vía depende de T_d . Por ello, se denomina agresivo, aunque en muchos casos es el que más se aproxima a la capacidad teórica de una terminal.

8.3.4. Comparación entre métodos

El enfoque conservador se utiliza para estimaciones preliminares con márgenes de seguridad elevados, aunque puede subestimar la capacidad real.

El enfoque moderado refleja de forma más equilibrada la operación real de una terminal, considerando su funcionamiento global, y es útil para diseño funcional.

El enfoque agresivo busca aproximarse a la máxima capacidad operativa posible, bajo condiciones ideales, por lo que se considera una buena referencia para conocer los límites superiores del sistema.

8.4. Vías de recepción/expedición

La mejora que introduce una instalación técnica en la capacidad de una terminal logística es sencilla pero fundamental: permite trasladar los tiempos de recepción y expedición fuera de las vías de carga y descarga, descargando así de ocupación a las vías productivas.

El objetivo es liberar las vías de producción (carga/descarga) del tiempo improductivo asociado a operaciones de entrada y salida de trenes. De este modo:

- Las vías de recepción y expedición asumen esas funciones transitorias, optimizando el uso de las vías operativas reales.
- Estas vías no requieren los mismos estándares de diseño (por ejemplo, no necesitan grandes entre ejes ni espacio de operación con maquinaria), y pueden disponerse en peine, aumentando su número según necesidades.

Este cambio reduce el tiempo de rotación de las vías de carga/descarga, lo que incrementa directamente la capacidad operativa de la terminal.

En el diseño, es habitual dejar una vía adicional de reserva en el haz de recepción/expedición, para gestionar incidencias. El cálculo de capacidad de estas vías suele ser directo y depende, principalmente, del nivel de fraccionamiento de los trenes y del número de maniobras necesarias.

$$Capacidad = Entero \left(vías \times \frac{T_{trabajo}}{T_r} \right)$$

8.5. Ramales de conexión

Los ramales de conexión entre las vías de carga/descarga y las vías de recepción/expedición desempeñan un papel crucial en la capacidad operativa de una terminal logística. Este concepto puede extenderse a todos aquellos elementos del diseño sobre los que pivota la conexión interna del flujo ferroviario, como:

- Vías mango o de maniobra.
- Estrechamientos de haz de vías (reducción de múltiples vías de tratamiento a una sola de expedición).
- Enlaces únicos que comunican zonas funcionales de la terminal.

Se trata, en definitiva, de puntos localizados del diseño que, por su configuración o limitación física, pueden comprometer la capacidad ferroviaria si no se dimensionan adecuadamente.

Desde un punto de vista metodológico, la clave está en traducir la ocupación de estos elementos en tiempo y, a partir de ahí, calcular la capacidad que realmente aportan al conjunto de la terminal. Cuanto más restrictivo sea el elemento —por ejemplo, un ramal en vía única con movimientos cruzados—, mayor será su impacto negativo sobre el número de trenes que pueden tratarse en un horizonte temporal determinado.

Por este motivo, un diseño eficiente deberá minimizar los puntos de conflicto y asegurar que estos enlaces no se conviertan en cuellos de botella, especialmente en terminales con alta rotación o necesidad de maniobras frecuentes.

$$Capacidad = Entero \left(\frac{T_{trabajo}}{T_{itinerarios} + T_{formación\ de\ itinerarios}} \right)$$

En este caso, aunque la formulación es sencilla, sí que cada caso requiere un estudio específico concreto de la capacidad, similar a lo que se haría en una vía general.

9. CAPACIDAD DE LAS DISTINTAS INSTALACIONES

El objetivo de este apartado es determinar la idoneidad de las vías proyectadas, comprobando si son capaces de cumplir las expectativas de demanda. En este TFM se ha optado por evaluar la capacidad para luego ser capaces de compararla con la demanda.

En este capítulo se muestran cálculos de varios tipos de instalaciones, aplicando la formulación descrita en el anterior apartado y aplicando las hipótesis descritas en este TFM.

Entre las hipótesis de partida de los cálculos de capacidad están los mencionados anteriormente

- Reparto equilibrado de tráfico
- Una vía de la playa de recepción/expedición permanezca libre
- Permitir siempre la retirada de la locomotora
- Longitud del tren a la entrada y a la salida es la misma

Para cada una de las terminales propuestas, se completarán las hipótesis para calcular luego la capacidad operativa siguiendo las fórmulas arriba descritas. Definiendo el tren tipo que acude a la terminal, con su respectiva locomotora y la cantidad de vagones disponibles.

Se definirá la operativa ferroviaria y de tratamiento del tren, que servirán de contexto para determinar y comentar las instalaciones ferroviarias y no ferroviarias necesarias en cada una de las terminales estudiadas.

Las terminales sobre las que desarrollará todo el estudio son:

- Automóviles
- Graneles líquidos
- Contenedores
- Semitrailers

9.1.1. Automóviles

9.1.1.1. Terminal: tren tipo

La terminal que vamos a estudiar es la del puerto de Valencia, suponiendo orígenes – destino para itinerarios Valencia – Pinto (Madrid).

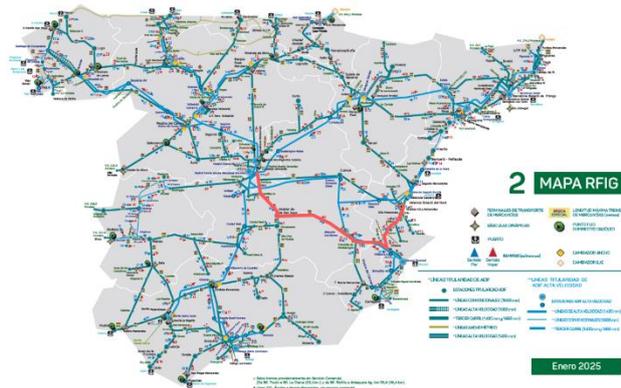


Puerto de Valencia: vías de carga/descarga. Fuente: Google Earth

El tren tipo estará formado por material remolcador y vagones porta-automóviles, a partir de la información disponible compondremos el tren tipo con los condicionantes descritos durante el TFM.

De la contextualización ferroviaria, incluyendo la documentación de la declaración sobre la red [11]:

Origen - Destino	Valencia-Pinto
Tracción	Eléctrica = S-253
i_{max} sentido par [%]	22
i_{max} sentido impar [%]	22
Longitud_{max} [m]	500/750
Tipo de Carga	Automóviles



De las características del material remolcado:

Características generales			Dimensiones		
Carga máxima	22	t	Sup. Inferior	72.57	m ²
Tara	38	t	Sup. Superior	69.43	m ²
Velocidad	100	km/h	L útil inferior	29.79	m
L entre topes	31	m	L útil superior	30.52	m



Fuente: Renfe

Para este tren tendríamos una carga máxima remolcable de 900 toneladas aproximadamente, por lo que considerando un coche de 1,4 t y 4,1 m de largo se puede llegar a componer el tren tipo: 1 locomotora S-253 y 16 vagones de 31 metros, lo que nos da un tren de 519 m. Dada la proximidad del tren a la longitud máxima normal, sería conveniente reducir en 1 vagón la composición para obtener finalmente **1 tren de 488 m con 15 vagones y 180 automóviles en la composición.**

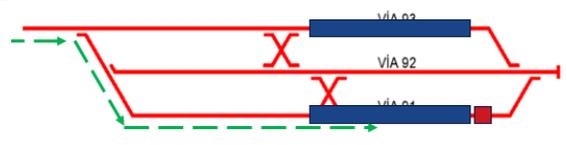
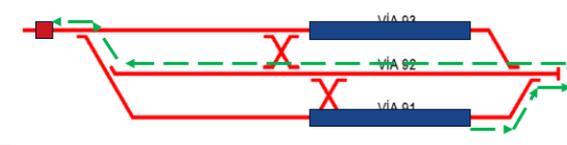
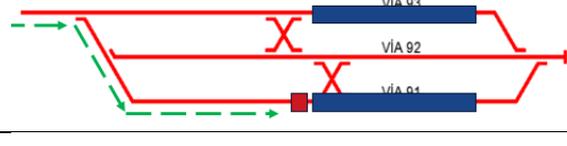
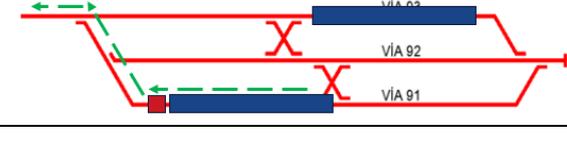
Los útiles que son necesarios son un vehículo por cuadrilla y las rampas de acceso al tren:



Fuente Ángel Mir

9.1.1.2. Descripción de la operativa ferroviaria

Las maniobras de la operativa ferroviaria se darían de la siguiente manera:

Maniobra	Descripción de la maniobra
	Entrada del tren + Posicionamiento + Freno de estacionamiento
	Desacople + Salida de la locomotora
	Llegada + Acople de la locomotora + Prueba de freno
	Salida del tren

En base a esto se podría calcular el tiempo de rotación acorde a lo descrito en apartados anteriores. Para el intervalo mínimo de seguimiento (IMS) se han estimado una distancia hasta el posible cruce de trenes y una velocidad media para llegar a ese tiempo:

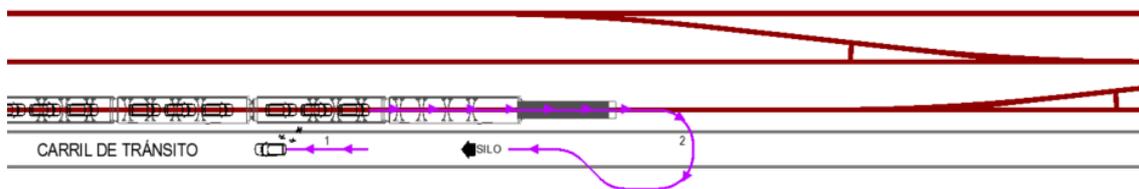
Tiempo de rotación	Unidad	Cantidad
Longitud del tren	m	488
Tiempo de recepción	h:mm:ss	0:60:00
Posicionamiento + Freno de estacionamiento	h:mm:ss	0:10:00
Desacople + salida de la locomotora	h:mm:ss	0:00:00
Llegada + acople de la locomotora	h:mm:ss	0:00:00
Prueba de freno	h:mm:ss	0:20:00

Tiempo de rotación	Unidad	Cantidad
IMS	h:mm:ss	0:45:00
Tiempo total	h:mm:ss	2:15:00

9.1.1.3. Operación de tratamiento

Para tratar el tren se pueden resumir las maniobras en 2 sencillos pasos:

1. Un operario conduce a los que descargan los vehículos del tren junto al tren para que estos vayan a por un vehículo accediendo por el lateral.
2. Una vez dentro de los vehículos a descargar los operarios conducen hacia el silo para, una vez aparcados los vehículos, ser recogidos por el operario que los devuelve a la maniobra anterior.



9.1.1.4. Espacios

En este caso, las vías proyectadas son 3, pero solo se puede trabajar sobre 2 de manera simultánea. La tercera vía está proyectada por ser una estación de carga en fondo de saco y poder sacar las locomotoras.

A nivel infraestructura, las vías deben cumplir con el gálibo y se debe proyectar un carril de tránsito junto a las vías exteriores, al menos en uno de los laterales del haz.

9.1.1.5. Consideraciones de cara al cálculo de capacidad:

Entre las consideraciones operativas podríamos establecer:

- Horas operativas por día: 16 h.
- Operación: carga o descarga.

Cada coche tendrá un tiempo de manipulación, la media del tiempo será aquel que va desde que el operario se sube al coche en el tren hasta que lo deposita en el silo y otro operario le lleva de vuelta al tren para iniciar de nuevo la operación. Cada operario que descarga equivaldría a 1 equipo en las fórmulas de capacidad.

Entre las hipótesis de explotación:

- Las vías útiles consideradas para esta terminal son 2.
- El tiempo de manipulación de cada automóvil está alrededor de 5 minutos para las distancias consideradas.
- Tiempo de rotación: 2:15 h:mm.

9.1.1.6. Resultados del cálculo de capacidad

Aplicando las fórmulas antes descritas, en función del método se obtendrá una u otra capacidad. A continuación, en las tablas se muestra en las filas la numeración de las vías útiles de la terminal y en columnas la cantidad de equipos que trabajan en la terminal.

Siendo cada operario el equivalente a 1 equipo, las columnas verdes marcan el trabajo por cuadrillas (3 operarios + 1 conductor que devuelve a los operarios al tren. Este último no trabaja sobre el tren). Se puede observar que conforme se despliegan más cuadrillas, más trenes se pueden tratar.

Una de las primeras conclusiones que se pueden sacar será que, en función de la cantidad de equipos dimensionados, tendremos una u otra capacidad. Es decir, la capacidad no es fija en función de la infraestructura provisionada.

se plantean los distintos modelos de capacidad descritos y, sin perjuicio de las conclusiones que se han podido sacar hasta ahora, se pueden seguir observando ciertos aspectos de las tablas mostradas. El modelo conservador, el más extendido en los cálculos de capacidad ferroviaria en los anejos de proyectos y la bibliografía didáctica, acaban dándose ciertas incoherencias por la formulación intrínseca del método. Conforme se aumentan las vías, debido a la disminución de la ratio equipos/vía es posible que dé lugar a una disminución de la capacidad.

Modelo Conservador															
vías/eq.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
2	0	0	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
3	0	0	0	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	9
4	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8
5	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10
6	0	0	0	0	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7	7	7	7	7	7
8	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	8	8

Con la metodología del modelo moderado se eliminan las incoherencias del modelo conservador, ya que se evalúa la terminal en su conjunto.

Modelo moderado															
vías/eq.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
2	0	1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	6	7	7	7
3	1	1	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	8	8	9
4	1	1	2	3	4	5	5	6	7	7	8	8	9	9	10
5	1	2	2	3	4	5	6	6	7	8	8	9	9	10	11
6	1	2	2	3	4	5	6	7	7	8	9	9	10	11	11
7	1	2	3	3	4	5	6	7	8	8	9	10	10	11	12
8	1	2	3	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	11	12

El modelo agresivo incrementa los resultados del modelo de capacidad, y es el que realmente da la máxima capacidad de las vías de carga / descarga:

Modelo agresivo															
vías/eq.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
2	1	2	3	4	5	6	7	7	8	8	8	9	9	9	9
3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	14
4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

La capacidad real suele estar en un orden de magnitud del 60 – 80% de la capacidad teórica calculada. En este caso, trabajando con 3 - 4 cuadrillas se podrían tratar 5 – 7 (se aproxima bastante al modelo moderado) trenes al día, es decir, mover unos 900 – 1260 vehículos al día.

9.1.2. Graneles líquidos

9.1.2.1. Terminal: tren tipo

La terminal que vamos a estudiar es la del puerto de Huelva, suponiendo orígenes – destino para itinerarios Huelva – Zafra (Madrid).

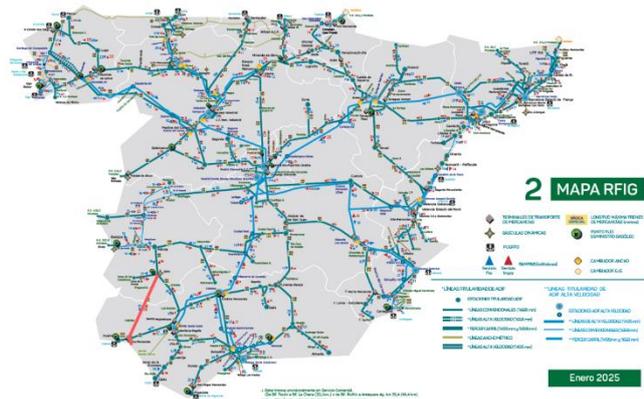


Puerto de Huelva: vías de carga/descarga. Fuente: Google Earth

El tren tipo estará formado por material remolcador y vagones porta-automóviles, a partir de la información disponible compondremos el tren tipo con los condicionantes descritos durante el TFM.

De la contextualización ferroviaria, incluyendo la documentación de la declaración sobre la red [11]:

Origen - Destino	Huelva – Zafrao
Tracción	Diésel = S-333
i_{\max} sentido par [%]	23
i_{\max} sentido impar [%]	23
Longitud_{max} [m]	350/450
Tipo de Carga	Graneles líquidos



De las características del material remolcado:

Características generales			Dimensiones		
Carga máxima	65	t	Bocas_{carga}	1	ud
Tara	22	t	Diámetro_{carga}	498	m
Velocidad	100	km/h	Bocas_{descarga}	2	m
L entre topes	16.7	m	Diámetro_{descarga}	104	m



Fuente: Renfe

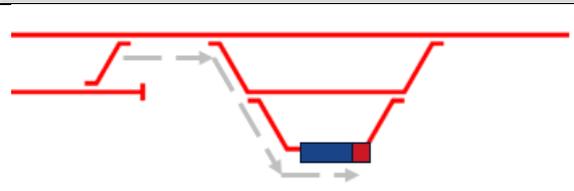
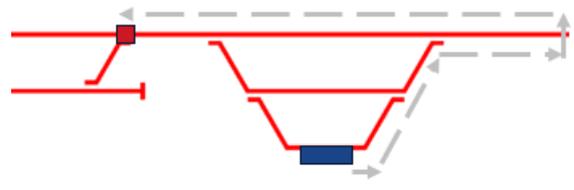
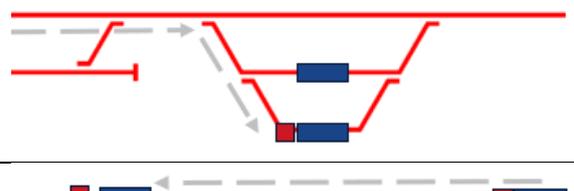
Con la rampa característica indicada el cuadro de cargas máximas indica que la locomotora puede arrastrar 985 t aproximadamente. De cara a dimensionar el tren se debe tener en consideración que la capacidad es de 85 m³, aunque es posible que la limitación venga por carga máxima. Considerando que se llenan los vagones unos 60 m³, aproximadamente 55 – 60 t, se podrá determinar la longitud del tren.

Con estas características el tren tendría 209 metros arrastrado por 1 locomotora diésel S-333 y 12 vagones cisterna. Debido a las limitaciones que impone la propia infraestructura, la longitud útil del tren se reduce a 200 m, por lo que el tren tipo final será de **1 tren de 187 m con 10 vagones**.

Para tratar al tren se ha considerado la instalación fija existente en el puerto, una serie de tuberías que están instaladas longitudinalmente a lo largo de la vía para cargar o descargar el tren. De cara al tratamiento del tren es necesario realizar labores previas de disposición de las mangueras y ajustes de las boyas.

9.1.2.2. Descripción de la operativa ferroviaria

La operativa ferroviaria sería la siguiente:

Maniobra	Descripción de la maniobra
	Entrada del tren + Posicionamiento + Freno de estacionamiento
	Desacople + Salida de la locomotora
	Llegada + Acople de la locomotora + Prueba de freno
	Salida del tren

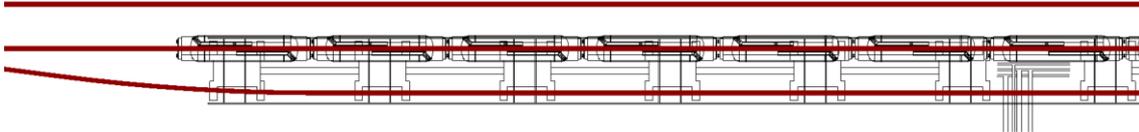
En base a esto se podría calcular el tiempo de rotación acorde a lo descrito en apartados anteriores. Para el intervalo mínimo de seguimiento (IMS) se han estimado una distancia hasta el posible cruce de trenes y una velocidad media para llegar a ese tiempo, además de los tiempos necesarios para la preparación de las boyas y la conexión de las mangueras de la terminal:

Tiempo de rotación	Unidad	Cantidad
Longitud del tren	m	488
Tiempo de recepción	h:mm:ss	0:60:00
Posicionamiento + Freno de estacionamiento	h:mm:ss	0:10:00
Desacople + salida de la locomotora	h:mm:ss	0:00:00
Preparación del tren: boyas y mangueras	h:mm:ss	1:30:00
Llegada + acople de la locomotora	h:mm:ss	0:00:00
Prueba de freno	h:mm:ss	0:20:00

Tiempo de rotación	Unidad	Cantidad
IMS	h:mm:ss	0:35:00
Tiempo total	h:mm:ss	3:35:00

9.1.2.3. Operación de tratamiento

La operación de tratamiento es muy sencilla, se posiciona el tren sobre las vías y luego se hacen trabajos previos para tratar el tren, preparación de las boyas y acople de las mangueras para descargar y cargar el tren.



Fuente: elaboración propia

9.1.2.4. Espacios

Las 2 vías pasantes son de tratamiento, ya que conectan con la vía general en ambos extremos. El espacio requerido en la instalación es el necesario de la instalación industrial de las tuberías cumpliendo con el gálibo.

9.1.2.5. Consideraciones de cara al cálculo de capacidad:

Entre las consideraciones operativas podríamos establecer:

- Horas operativas por día: 16 h.
- Operación: carga y descarga.

Se puede calcular el tiempo de manipulación por cada vagón a partir de la capacidad de la instalación industrial. En este caso los vagones cisterna llenan 60 m³ con un caudal de la instalación de 400 m³/h. Cuando no se dispone de este dato, se debe consensuar con el promotor o cliente.

Entre las hipótesis de explotación:

- Las vías útiles consideradas para esta terminal son 2.
- El tiempo de manipulación de llenado o vaciado de cada vagón está alrededor de 6,7 minutos.
- Tiempo de rotación: 3:35 h:mm.

9.1.2.6. Resultados del cálculo de capacidad

Para este tipo de instalaciones tendremos 1 equipo por vía, al ser una instalación fija no podremos desplazarlo, por lo que el único método aplicable en esta instalación es la del modelo conservador.

Se resaltan en verde los múltiplos de para cada cantidad de vías. Se puede considerar que hay q equipo por vía útil, por lo que el número de trenes que se puede tratar en la terminal es 6.

Modelo Conservador															
vías/eq.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	2	4	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8
3	3	6	6	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
4	4	4	8	8	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
5	5	5	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	15	15	15
6	0	6	6	12	12	12	12	18	18	18	18	18	18	18	18
7	0	7	7	14	14	14	14	14	21	21	21	21	21	21	21
8	0	8	8	8	16	16	16	16	16	16	24	24	24	24	24

9.1.3. Contenedores

9.1.3.1. Terminal: tren tipo

En este apartado se calculará la capacidad para el tratamiento de contenedores, que pueden utilizar grúas móviles o grúas pórtico.

En función de los medios de manipulación la capacidad puede variar, aunque estudiaremos una terminal sometida a distintas configuraciones operacionales con el mismo número de vías, considerando una serie de vías útiles para las reachstacker y otra cantidad para las grúas pórtico.

La terminal de contenedores que vamos a estudiar es la del puerto de Algeciras, suponiendo orígenes – destino para itinerarios Algeciras – Zaragoza. Vamos a suponer esta relación con alguna modificación sobre la situación actual: 3 vías de 550 m, ya que se están haciendo los rellenos (como se puede observar en la imagen inferior) y con la línea Algeciras – Bobadilla electrificada.

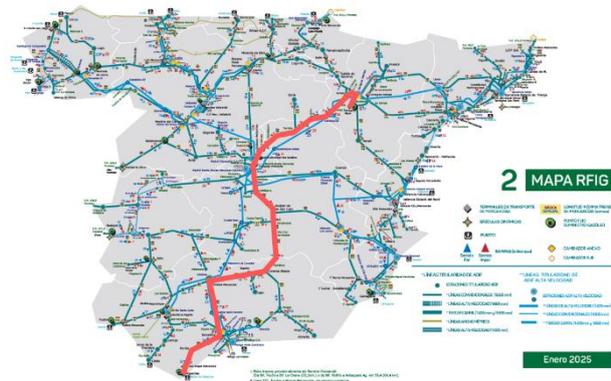


Puerto de Algeciras: vías de carga/descarga. Fuente: Google Earth

El tren tipo estará formado por material remolcador y vagones portacontenedores y, a partir de la información disponible, compondremos el tren tipo con los condicionantes descritos durante el TFM.

De la contextualización ferroviaria, incluyendo la documentación de la declaración sobre la red [11]:

Origen - Destino	Algeciras-Zaragoza
Tracción	Eléctrica = S-256
i_{max} sentido par [%]	24
i_{max} sentido impar [%]	23
Longitud_{max} [m]	500/550
Tipo de Carga	Contenedores



De las características del material remolcado, tenemos material de portacontenedores y material para autopista ferroviaria:

Características generales			Dimensiones		
Carga máxima	32,2	t	Largo interior	13,84	m
Tara	12,8	t	Ancho interior	2,6	m
Velocidad	120	km/h			
	15,0				
L entre topes	8	m			



Fuente: Renfe

Con la rampa característica indicada el cuadro de cargas máximas indica que la locomotora puede arrastrar 1140 t aproximadamente (con la S-253 serían 880 t la carga máxima remolcable) con el gancho de alta resistencia. La diferencia de la mercancía contenerizada respecto a otros trenes tipo reside en la variabilidad de la carga. En trenes de contenedores aparte de poder ir cargados al máximo o vacíos, existen distintos tamaños. En 1 solo vagón pueden ir 2 contenedores de 20 pies o 1 de 40 pies.

Para los cálculos se va a suponer 1 UTI por vagón, considerando carga y descargas completas del tren. Para el tren planteado, en función de la carga del contenedor, la longitud de las composiciones puede ser la siguiente, teniendo en cuenta las siguientes hipótesis:

Locomotora: S-256 y S-253	Vagón: portacontenedores
S-256: <ul style="list-style-type: none"> • Carga remolcable: 1140 t • Longitud: 23 m S-253: <ul style="list-style-type: none"> • Carga remolcable: 880 t • Longitud: 22,50 m 	Tara: 16,80 t. Incluye 4 t de la tara del contenedor Carga: 28.20 t. Descontadas las 4 t de tara del contenedor Longitud: 15.08 m

Con estas hipótesis los resultados del tren tipo para la terminal de contenedores serían los siguientes:

Locomotora S-256					Locomotora S-253				
% carga	Carga [t]	Peso vagón [t]	Vagones [ud]	L total [m]	% carga	Carga [t]	Peso vagón [t]	Vagones [ud]	L total [m]
0%	0.00	16.80	67	1033	0%	0.00	16.80	52	807
10%	2.82	19.62	58	898	10%	2.82	19.62	44	686
20%	5.64	22.44	50	777	20%	5.64	22.44	39	611
30%	8.46	25.26	45	702	30%	8.46	25.26	34	535
40%	11.28	28.08	40	626	40%	11.28	28.08	31	490
50%	14.10	30.90	36	566	50%	14.10	30.90	28	445
60%	16.92	33.72	33	521	60%	16.92	33.72	26	415
70%	19.74	36.54	31	490	70%	19.74	36.54	24	384
80%	22.56	39.36	28	445	80%	22.56	39.36	22	354
90%	25.38	42.18	27	430	90%	25.38	42.18	20	324
100%	28.20	45.00	25	400	100%	28.20	45.00	19	309

Una carga media de un transporte de mercancías pesada puede estar en 20 t, lo que supondría una longitud de 490 m de composición, por lo que esta locomotora garantiza llegar a los 500 - 550 m incluso con las cargas más pesadas. En la S-253, sin embargo,

para trenes con cargas pesadas la longitud sería relativamente corta y no se estaría aprovechando la infraestructura.

Se van a considerar para los cálculos la locomotora S-256:

- Contenedores: 1 tren de 551 m con 35 vagones y 35 contenedores.

Los útiles que son necesarios para la manipulación de los contenedores se han ido mencionando, se muestra a continuación grúas pórtico, tractores de terminal y grúas móviles:



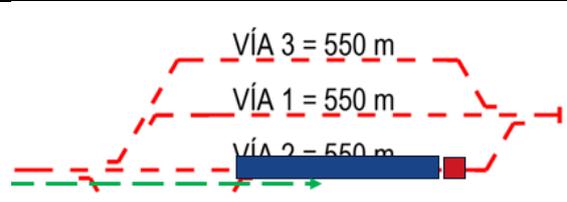
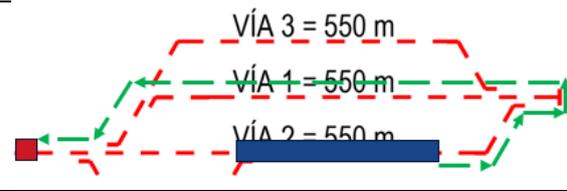
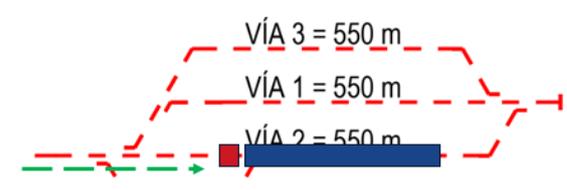
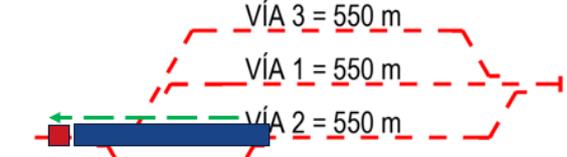
Fuente: espormadrid

Fuente: Terberg

Fuente: feyter

9.1.3.2. Descripción de la operativa ferroviaria

La operativa ferroviaria es muy sencilla en este caso:

Maniobra	Descripción de la maniobra
 <p>VÍA 3 = 550 m VÍA 1 = 550 m VÍA 2 = 550 m</p>	Entrada del tren + Posicionamiento + Freno de estacionamiento
 <p>VÍA 3 = 550 m VÍA 1 = 550 m VÍA 2 = 550 m</p>	Desacople + Salida de la locomotora
 <p>VÍA 3 = 550 m VÍA 1 = 550 m VÍA 2 = 550 m</p>	Llegada + Acople de la locomotora + Prueba de freno
 <p>VÍA 3 = 550 m VÍA 1 = 550 m VÍA 2 = 550 m</p>	Salida del tren

Con estas maniobras se ha dimensionado un tiempo de rotación de 2 horas.

9.1.3.3. Operación de tratamiento

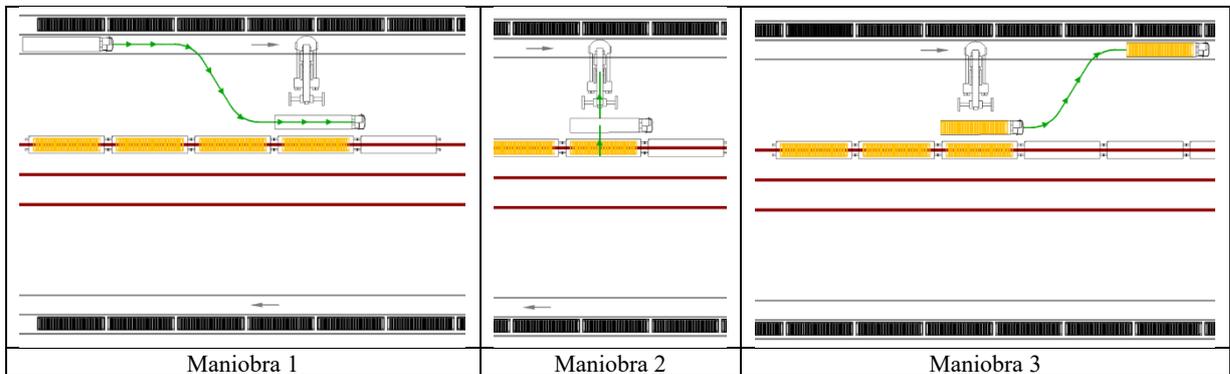
La operación de tratamiento es diferente cuando se dispone de reachstackers o grúas pórtico. A continuación, se describirán las distintas formas de operar en terminales de contenedores y semitrailers:

- Contenedores: grúa móvil
- Contenedores: grúa pórtico

9.1.3.3.1. Contenedores: grúas móviles

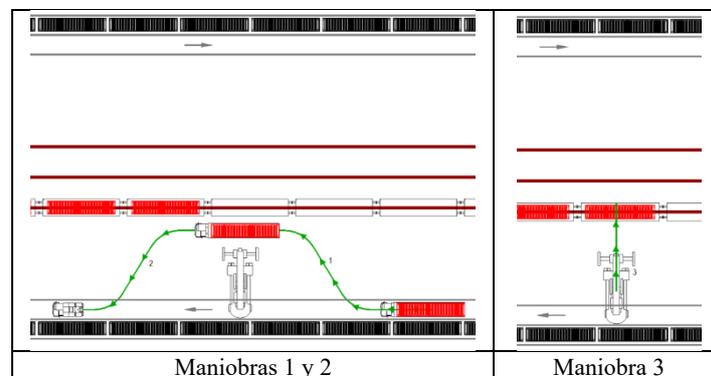
Se transfiere la carga directamente al semitrailer, aunque exige una gran coordinación operativa, pues exige la presencia del material rodado en la terminal con antelación. La descarga del tren sigue la casuística que se muestra:

1. El camión se posiciona frente al tren
2. La grúa móvil descarga el contenedor y lo posiciona directamente sobre el camión
3. El camión abandona la terminal



La carga del tren sigue un proceso similar:

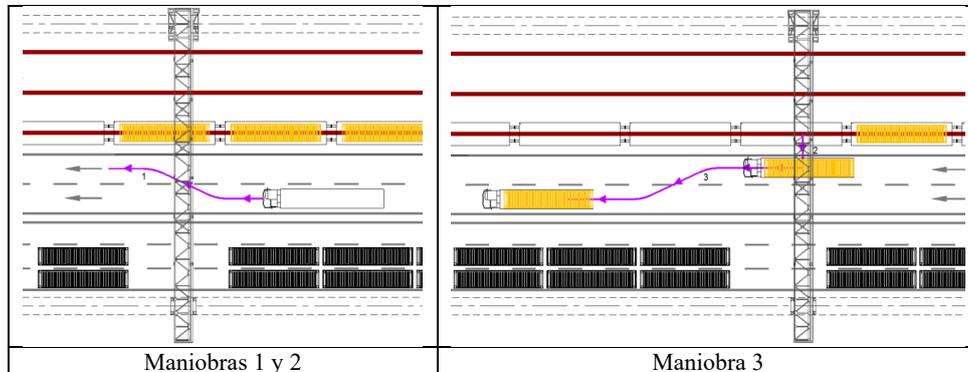
1. El camión se posiciona en paralelo al tren y la grúa móvil levanta el contenedor
2. El camión abandona la terminal
3. La grúa deposita el contenedor sobre el tren.



9.1.3.3.2. Contenedores: grúas pórtico

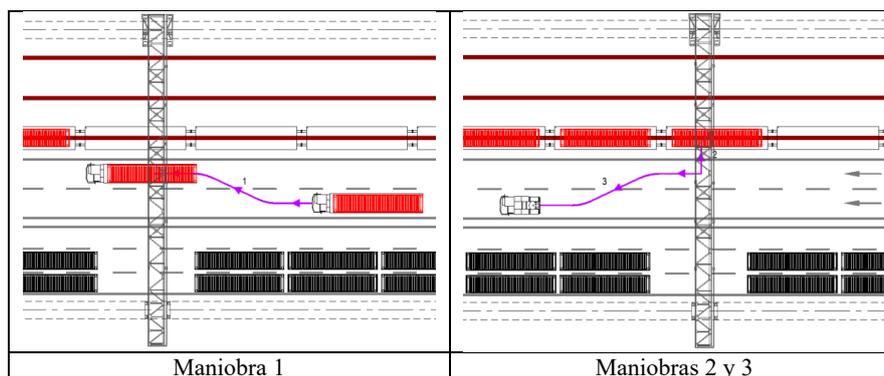
En el caso de las grúas pórtico, se ha partido de la base de las 3 vías cubiertas por grúas pórtico. Para la operativa de descarga del tren:

1. El camión se posiciona frente al tren
2. La grúa pórtico eleva el contenedor y lo posiciona directamente sobre el camión
3. El camión abandona la terminal



Para la carga del tren se sigue el procedimiento a la inversa

1. El camión se posiciona en paralelo al tren
2. La grúa pórtico levanta el contenedor
3. El camión abandona la terminal y la grúa deposita el contenedor sobre el tren.



9.1.3.4. Espacios

En función de la operativa, la necesidad de espacios alrededor de las vías de carga y descarga son diferentes. En cualquier caso, se han proyectado 3 vías para la terminal de las grúas móviles de las cuales 2 son útiles y la terminal de las grúas pórtico sobrevuela las 3 vías, pudiendo trabajarse sobre todas ellas.

En la terminal con grúas pórtico se deben proyectar 2 carriles, 1 de carga en el que estacionar los camiones mientras son tratados; y otro que dejar libre para poder recorrer de lado a lado la terminal. Junto a los carriles, se suelen proyectar áreas de almacenamiento para los contenedores que no se evacúan de inmediato de la estación logística.

Existen otras formas de diseñar la terminal, prescindiendo de esa área de almacenamiento bajo la grúa, en cuyo caso esa área debe estar en otro lugar cercano a las vías (casos de Abroñigal y Zaragoza Plaza). Normalmente, ante esta situación es posible que la

operativa se apoye en grúa móviles y los espacios requeridos sean incluso mayores que en terminales exclusivamente con reachstackers.

Para la terminal con grúas pórtico, se requieren 2 carriles en la parte exterior: 1 de tránsito y otro de almacenamiento. Para completar la instalación es necesario un espacio para la circulación de reachstackers.

Terminal: grúa pórtico	Terminal: grúa móvil
 <p>CARRIL GRÚA PÓRTICO</p> <p>CARRIL DE CARGA</p> <p>CARRIL DE TRÁNSITO</p> <p>ÁREA DE ALMACENAMIENTO</p>	 <p>ÁREA DE ALMACENAMIENTO</p> <p>CARRIL DE TRÁNSITO</p> <p>CARRIL DE TRÁNSITO</p> <p>ÁREA DE ALMACENAMIENTO</p>
40 – 45 m de ancho	55 – 60 m de ancho

9.1.3.5. Consideraciones de cara al cálculo de capacidad:

Entre las consideraciones operativas podríamos establecer:

- Horas operativas por día: 16 h.
- Operación: carga y descarga.

Con medios de manipulación con grúas móviles se considerarán 2 vías útiles, mientras que con grúas pórtico se considerarán las 3 vías útiles.

El tiempo de manipulación de cada contenedor varía en función de la operación propuesta. Para transferencia directa de contenedores hay terminales que son capaces de llegar a 15 movimientos por hora. Las grúas pórticos tienen una capacidad de movimientos por hora muy similar, aunque pueden conseguir un rendimiento ligeramente mayor.

Aun así, a efectos de cálculo se considerará el mismo tiempo de manipulación para ambos tipos de equipos.

Entre las hipótesis de explotación:

- Las vías útiles consideradas para esta terminal son 2.
- El tiempo de manipulación de cada UTI será de 5 minutos.
- Tiempo de rotación: 2:00 h:mm.

9.1.3.6. Resultados del cálculo de capacidad

Los resultados de los 3 modelos se presentan a continuación. El modelo conservador da resultados poco coherentes, además no permite la comparación de capacidad entre los

distintos medios de manipulación, pues para terminales con muchas vías se mermaría mucho la capacidad.

Modelo Conservador															
vías/eq.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	3	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
2	2	4	4	6	6	8	8	8	8	10	10	10	10	10	10
3	0	3	6	6	6	9	9	9	12	12	12	12	12	12	15
4	0	4	4	8	8	8	12	12	12	12	12	16	16	16	16
5	0	0	5	5	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	20
6	0	0	6	6	6	12	12	12	12	12	18	18	18	18	18
7	0	0	7	7	7	7	14	14	14	14	14	14	21	21	21
8	0	0	0	8	8	8	8	16	16	16	16	16	16	24	24

Los resultados del modelo moderado sí dan cierta sensibilidad sobre la capacidad que podría ofrecer una terminal.

Modelo moderado															
vías/eq.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	3	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
2	2	4	5	6	7	8	8	9	9	10	10	10	11	11	11
3	2	4	6	7	8	9	10	11	12	12	13	13	14	14	15
4	2	4	6	8	9	10	12	13	13	14	15	16	16	17	18
5	2	4	6	8	10	11	12	14	15	16	17	18	18	19	20
6	2	4	7	8	10	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22
7	2	4	7	9	11	12	14	15	17	18	19	20	21	22	23
8	2	5	7	9	11	13	14	16	17	19	20	21	22	24	25

Sin embargo, la mejor forma de comparar ambas terminales es el modelo agresivo, pues se ven las bondades e ineficiencias de ambos tipos de terminales. La principal diferencia entre grúas móviles y grúas pórtico es la versatilidad que dan los medios de manipulación, es decir, es más sencillo incrementar los equipos dedicados a la carga o descarga de los trenes cuando se opera con grúas móviles que cuando se hace con grúas pórtico. Al margen de ser más caras, el número de grúas pórtico rara vez supera las 3 unidades en 1 haz de vías (se empezarían a molestar entre ellas cuando bajan de 1 grúa cada 200 m de tren), mientras que con grúas móviles se podría dedicar el mismo número de equipos por cada vía. Se refleja en verde la zona donde nos moveremos para calcular la capacidad en la terminal estudiada:

Modelo agresivo															
vías/eq.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	3	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
2	2	4	7	9	10	10	11	11	12	12	12	12	13	13	13
3	2	4	7	9	12	14	16	17	18	18	18	19	19	19	20
4	2	4	7	9	12	14	17	19	21	24	25	25	26	26	26
5	2	4	7	9	12	14	17	19	21	24	26	29	31	33	33
6	2	4	7	9	12	14	17	19	21	24	26	29	31	34	36

Modelo agresivo															
vías/eq.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7	2	4	7	9	12	14	17	19	21	24	26	29	31	34	36
8	2	4	7	9	12	14	17	19	21	24	26	29	31	34	36

Se pueden sacar conclusiones muy potentes de la tabla mostrada. En relación con las grúas pórtico, ya se pongan 3 o 4 grúas sobre 1 haz de vías, el máximo número de trenes que se puede tratar a partir de la segunda vía ya no incrementa capacidad. Esto se debe a la limitación que representan los equipos: el número máximo de contenedores que pueden mover las grúas pórtico es limitado y, por mucha vía adicional que se añada, esa capacidad no se incrementa.

Cuando se proyectan más de 2 vías, van a pasar una gran cantidad de tiempo en el haz de carga / descarga, parte de las vías pasan a ejercer funciones del haz de recepción / expedición, lo cual puede ayudar a descongestionar ese haz o los ramales de conexión, ya que permite encajar mejor las maniobras de la terminal entre ambos haces.

Al hacer la comparativa, las grúas móviles permiten adaptarse mejor a los crecimientos de demanda de la terminal, pero si se consideran 2 grúas móviles por vía frente a 2 grúas pórtico para la terminal, la capacidad teórica es de 9 frente a 4 trenes, lo que dejaría la capacidad real de 2-3 trenes con grúas pórtico frente a 5-6 trenes con reach stacker.

La contrapartida de las grúas móviles se refiere al coste de inversión de la infra, pues requerirán más espacio y a veces no es posible dotar a una terminal del espacio que requieren.

9.1.4. Semitrailers

9.1.4.1. Terminal: tren tipo

En este apartado se calculará la capacidad para semitrailers, donde se utilizan los mismos medios de manipulación que en las terminales de semitrailers: grúas móviles o grúas pórtico.

En función de los medios de manipulación la capacidad puede variar, aunque estudiaremos una terminal sometida a distintas configuraciones operacionales con el mismo número de vías, considerando una serie de vías útiles para las reachstacker y otra cantidad para las grúas pórtico.

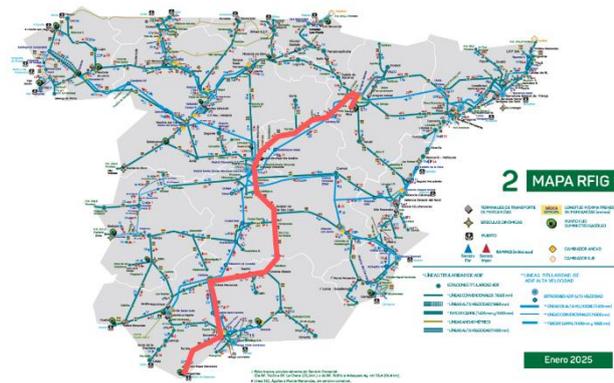
Para este caso, estudiaremos la misma terminal que para los contenedores y la misma relación: orígenes – destino para itinerarios Algeciras – Zaragoza. Vamos a suponer las mismas hipótesis que en el caso anterior: 3 vías de 550 m y con la línea Algeciras – Bobadilla electrificada.



Puerto de Algeciras: vías de carga/descarga. Fuente: Google Earth

El tren tipo estará formado por material remolcador y vagones de autopista ferroviaria. A partir de la información disponible compondremos el tren tipo con los condicionantes descritos durante el TFM. De la contextualización ferroviaria, incluyendo la documentación de la declaración sobre la red [11]:

Origen - Destino	Algeciras-Zaragoza
Tracción	Eléctrica = S-256
i_{\max} sentido par [%]	24
i_{\max} sentido impar [%]	23
Longitud_{max} [m]	500/550
Tipo de Carga	Semitrailers



De las características del material remolcado, tenemos material para la autopista ferroviaria:

Características generales			Dimensiones		
Carga máxima	98	t	Largo interior	30,2	m
Tara	37	t	Ancho interior	2,6	m
Velocidad	120	km/h			
L entre topes	34,2	m			



Fuente: VTG rail

Con la rampa característica indicada el cuadro de cargas máximas indica que la locomotora puede arrastrar 1412 t (con la S-253 serían 836 t la carga máxima remolcable) con el gancho de alta resistencia. La diferencia de la mercancía contenerizada respecto a otros trenes tipo reside en la variabilidad de la carga. En trenes de semitrailers pueden ir cargados al máximo o vacíos.

Para los cálculos se va a suponer se consideran 2 UTI por vagón, pues son los huecos disponibles para los vagones de autopista ferroviaria. Para el tren planteado, en función de la carga del semitrailer, la longitud de las composiciones puede ser la siguiente, teniendo en cuenta las siguientes hipótesis:

Locomotora: S-256	Vagón: Autopista ferroviaria
S-256: <ul style="list-style-type: none"> • Carga remolcable: 1412 t • Longitud: 23 m S-253: <ul style="list-style-type: none"> • Carga remolcable: 836 t Longitud: 22,50 m	Tara: 50 t. Incluye 4 t de la tara del contenedor y 9 t del semitrailer Carga: 28.20 t. Descontadas las 4 t de tara del contenedor y 9 t del semitrailer Longitud: 34,20 m

Con estas hipótesis los resultados del tren tipo para la terminal de autopista ferroviaria serían los siguientes:

Locomotora S-256					Locomotora S-253				
% carga	Carga [t]	Peso _{vagón} [t]	Vagones [ud]	L total [m]	% carga	Carga [t]	Peso _{vagón} [t]	Vagones [ud]	L total [m]
0%	0.00	50.00	22	775	0%	0.00	50.00	17	604
10%	8.50	58.50	19	673	10%	8.50	58.50	15	536
20%	17.00	67.00	17	604	20%	17.00	67.00	13	467
30%	25.50	75.50	15	536	30%	25.50	75.50	11	399
40%	34.00	84.00	13	468	40%	34.00	84.00	10	365
50%	42.50	92.50	12	433	50%	42.50	92.50	9	330
60%	51.00	101.00	11	399	60%	51.00	101.00	8	296
70%	59.50	109.50	10	365	70%	59.50	109.50	8	296
80%	68.00	118.00	9	331	80%	68.00	118.00	7	262
90%	76.50	126.50	9	331	90%	76.50	126.50	6	228
100%	85.00	135.00	8	297	100%	85.00	135.00	6	228

Una carga media de un transporte de mercancías pesada puede estar en 20 t, lo que supondría una longitud de 433 – 468 m de composición, por lo que esta locomotora garantiza llegar casi a los 500 m incluso con las cargas más pesadas. En la S-253, sin embargo, para trenes con cargas pesadas la longitud sería relativamente corta y no se

estaría aprovechando la infraestructura. Se van a considerar para los cálculos la locomotora S-256 apurando la longitud de la terminal:

- Semitrailers: 1 tren de 536 m con 15 vagones y 30 UTI.

Los útiles que son necesarios para el tratamiento ferroviario cuando la carga pasa a ser el semitrailer requiere una modificación de los medios de manipulación, añadiéndose la pieza que permite su operación:



9.1.4.2. Descripción de la operativa ferroviaria

La operativa es idéntica al caso anterior.

9.1.4.3. Operación de tratamiento

La operación de tratamiento es diferente cuando se dispone de reachstackers o grúas pórtico. A continuación, se describirán las distintas formas de operar en terminales de semitrailers:

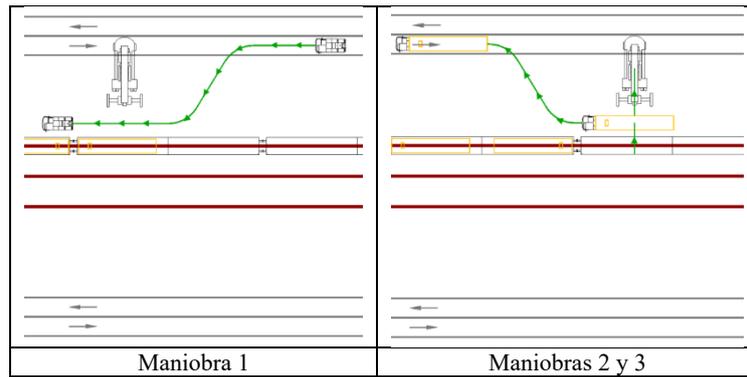
- Semitrailers: grúas móviles con transferencia **directa**
- Semitrailers: grúas móviles con transferencia **indirecta**
- Semitrailers: grúa pórtico

Un aspecto importante de la operativa es la disposición del vagón, pues los semitrailers se disponen de manera enfrentada el uno contra el otro, lo que obliga a maniobras distintas en función de la posición del semitrailer en el tren. En el caso de las grúas móviles se mezclan los flujos de tráfico y en las grúas pórtico se ha de girar el semitrailer en el aire, como se muestra en la imagen de los medios de manipulación arriba mostrados.

9.1.4.3.1. Semitrailers: grúas móviles con transferencia **directa**

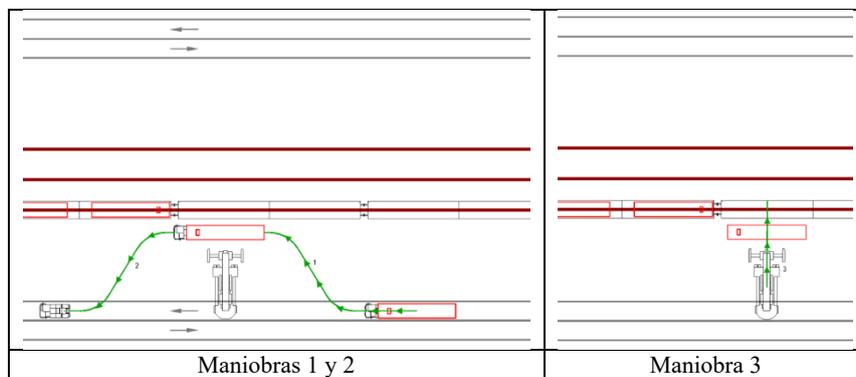
La descarga del tren sigue la casuística que se muestra. En función del sentido del semitrailer el camión vendrá e irá de un lado o del otro:

1. El camión se posiciona frente al tren
2. La grúa móvil descarga el semitrailer detrás del tractor de la terminal
3. El camión retrocede y eleva el semitrailer para abandonar la terminal



La carga del tren sigue un proceso similar:

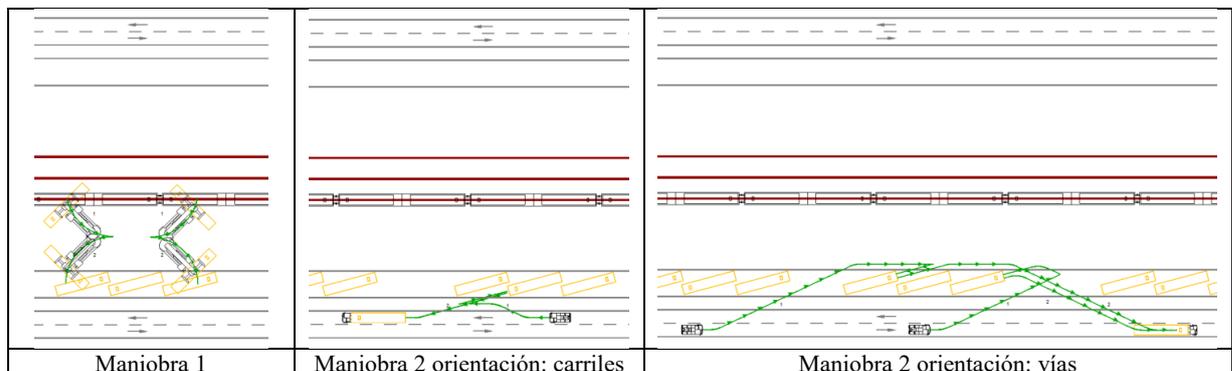
1. El camión se posiciona en paralelo al tren
2. El camión deja el semitrailer y abandona la terminal
3. La grúa levanta el semitrailer y lo deposita sobre el tren.



9.1.4.3.2. *Semitrailers: grúas móviles con transferencia indirecta*

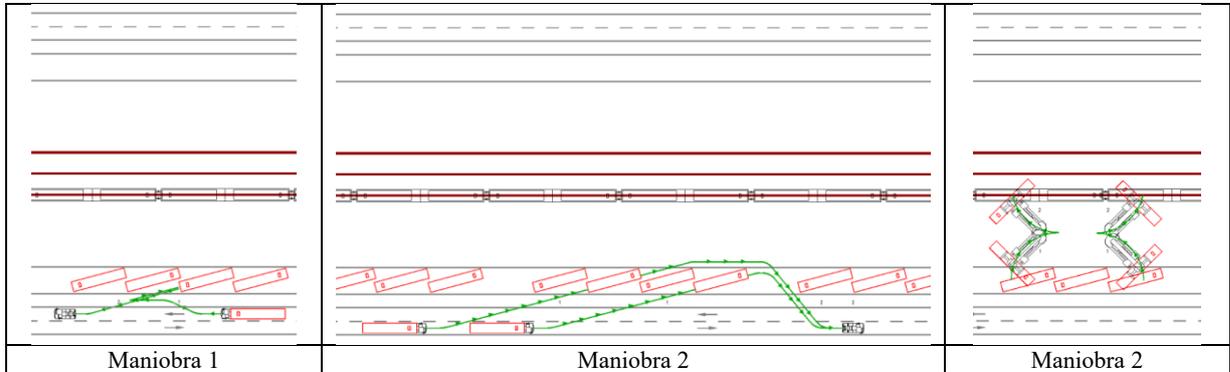
En esta operativa se independiza la interacción directa del semitrailer entre grúa y tractores de la terminal. Para la descarga del tren:

1. En función del semitrailer descargado, la grúa gira en un sentido u otro para depositar en el almacén temporal el semitrailer. Esta operación se sucede mientras los tractores de la terminal retiran los semitrailers ya descargados.
2. El tractor se acopla al semitrailer y lo dirige al área de almacenamiento. En función de la posición del semitrailer hará un itinerario u otro.



Para la carga del tren la maniobra se da a la inversa:

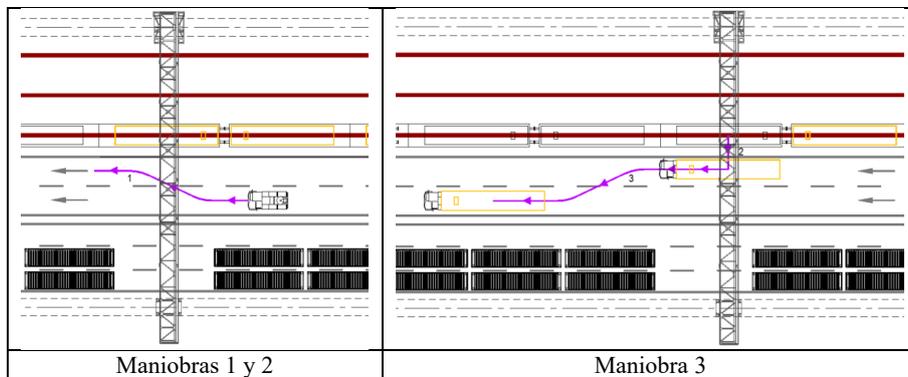
1. Se depositan los semitrailers
2. En paralelo, las grúas móviles los van cargando en el tren



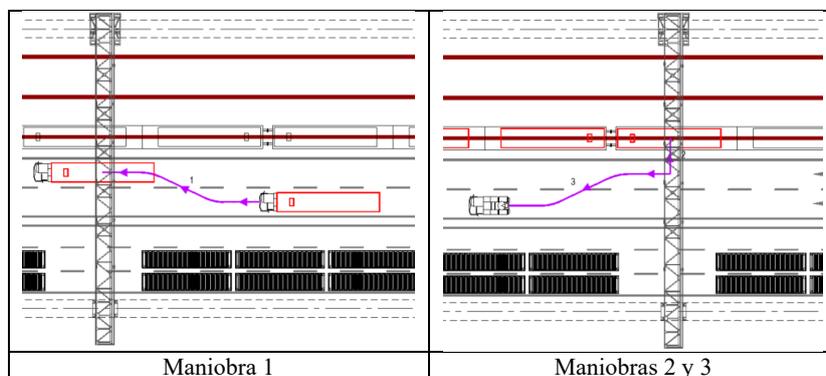
9.1.4.3.3. Semitrailers: grúa pórtico

La operativa con grúas pórtico es análoga a la de los contenedores, con la salvedad de que hay que girar el semitrailer en el aire en la mitad de los casos:

1. El camión se posiciona en paralelo al tren y la grúa móvil levanta el semitrailer
2. El camión abandona la terminal
3. La grúa deposita el semitrailer sobre el tren.



Para la descarga se produce la maniobra inversa:



9.1.4.4. *Espacios*

En función de la operativa, como sucede en las terminales de contenedores, la necesidad de espacios alrededor de las vías de carga y descarga son diferentes. En cualquier caso, y siguiendo la misma línea, se han proyectado 3 vías para la terminal de las grúas móviles de las cuales 2 son útiles y la terminal de las grúas pórtico sobrevuela las 3 vías, pudiendo trabajarse sobre todas ellas.

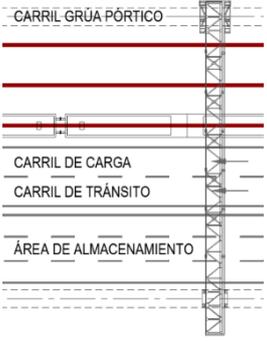
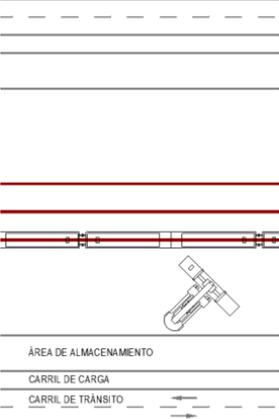
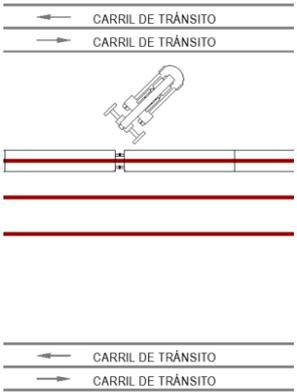
En la terminal con grúas pórtico se deben proyectar 2 carriles, 1 de carga en el que estacionar los camiones mientras son tratados; y otro que dejar libre para poder recorrer de lado a lado la terminal. Respecto al área de almacenamiento, es este tipo de terminales, los semitrailers no son apilables, por lo que se pierde capacidad de almacenamiento junto a las vías. Una de las principales diferencias respecto a las terminales de contenedores es la exigencia de un área de almacenamiento (aparcamiento para semitrailers) en las proximidades de las vías de carga / descarga de la terminal.

Al igual que sucede en terminales de contenedores, las grúas pórtico son configurables y se podría modificar el diseño de la terminal, aunque en este caso, por la característica rodada de la carga, se podría pensar que las mayores diferencias vendrían de las distintas posibilidades de ubicación de las instalaciones mencionadas en el párrafo anterior en la sección tipo.

Las terminales de grúas pórtico sí que vienen muy marcadas por la operativa seleccionada para el tratamiento de los trenes. El hecho de que necesiten un área de almacenamiento relativamente grande junto a las vías hace pensar que sea más factible la transferencia directa que trabaje de manera coordinada con una flota de tractores de la terminal y la interfaz con las cabezas motrices de línea se dé en el área de almacenamiento.

Ahora bien, con semitrailers manejados por grúas móviles adquiere especial importancia el hecho de que los semitrailers vayan contrapeados en los vagones, pues el extremo por el que se acopla el tractor se alterna en la sucesión de semitrailers transportados por el tren. Esto obliga a que haya 2 carriles de tránsito y una ordenación de estos a la entrada de la terminal.

Para terminales que practiquen la transferencia indirecta se exige la provisión de 1 área de almacenamiento y un carril de carga entre las vías y los carriles de tránsito, lo que eleva significativamente el ancho de la instalación.

Terminal: grúa pórtico	Terminal: grúa móvil. Transferencia indirecta	Terminal: grúa móvil. Transferencia directa
 <p>CARRIL GRÚA PÓRTICO</p> <p>CARRIL DE CARGA</p> <p>CARRIL DE TRÁNSITO</p> <p>ÁREA DE ALMACENAMIENTO</p>	 <p>ÁREA DE ALMACENAMIENTO</p> <p>CARRIL DE CARGA</p> <p>CARRIL DE TRÁNSITO</p>	 <p>CARRIL DE TRÁNSITO</p> <p>CARRIL DE TRÁNSITO</p> <p>CARRIL DE TRÁNSITO</p> <p>CARRIL DE TRÁNSITO</p>
40 – 45 m de ancho	80 – 85 m de ancho	55 – 60 m de ancho

9.1.4.5. Consideraciones de cara al cálculo de capacidad:

Entre las consideraciones operativas podríamos establecer:

- Horas operativas por día: 16 h.
- Operación: carga y descarga.

Con medios de manipulación con grúas móviles se considerarán 2 vías útiles, mientras que con grúas pórtico se considerarán las 3 vías útiles.

El tiempo de manipulación de cada contenedor varía en función de la operación propuesta. Para transferencia directa de semitrailers hay terminales que son capaces de llegar a 10 movimientos por hora. Las grúas pórticos tienen una capacidad de movimientos por hora muy similar, aunque pueden conseguir un rendimiento ligeramente mayor.

Aun así, a efectos de cálculo se considerará el mismo tiempo de manipulación para ambos tipos de equipos.

Entre las hipótesis de explotación:

- Las vías útiles consideradas para esta terminal son 2.
- El tiempo de manipulación de cada UTI será de 6 minutos.
- Tiempo de rotación: 2:00 h:mm.

9.1.4.6. Resultados del cálculo de capacidad

Con un tiempo de manipulación de 6 minutos, los resultados apenas varían salvo en determinados casos. Se ponen a continuación los resultados de los 3 modelos de capacidad anteriormente explicados, comenzando por el modelo conservador que, al igual que en los anteriores casos, no da los resultados más compatibles con la realidad:

Modelo Conservador															
vías/eq.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	3	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
2	2	4	4	6	6	8	8	8	8	10	10	10	10	10	10
3	0	3	6	6	6	9	9	9	12	12	12	12	12	12	15
4	0	4	4	8	8	8	8	12	12	12	12	16	16	16	16
5	0	0	5	5	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	20
6	0	0	6	6	6	12	12	12	12	12	18	18	18	18	18
7	0	0	7	7	7	7	14	14	14	14	14	14	21	21	21
8	0	0	0	8	8	8	8	16	16	16	16	16	16	16	24

Los resultados del modelo moderado ya no penalizan el incremento de vías:

Modelo moderado															
vías/eq.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	3	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
2	2	4	5	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	11	11
3	2	4	6	7	8	9	10	11	12	12	13	13	14	14	15
4	2	4	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	16	17	17
5	2	4	6	8	10	11	12	13	15	16	16	17	18	19	20
6	2	4	6	8	10	12	13	14	16	17	18	19	20	21	21
7	2	4	7	8	10	12	14	15	16	18	19	20	21	22	23
8	2	4	7	9	11	12	14	16	17	18	20	21	22	23	24

Por último, al igual que sucediera con la terminal de contenedores, se indica en verde la franja en la que se movería la capacidad en función de si se dota a la terminal de grúas móviles o grúas pórtico:

Modelo agresivo															
vías/eq.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	3	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
2	2	4	7	9	10	10	11	11	12	12	12	12	13	13	13
3	2	4	7	9	11	14	16	17	18	18	18	19	19	19	20
4	2	4	7	9	11	14	16	18	21	23	25	25	26	26	26
5	2	4	7	9	11	14	16	18	21	23	26	28	30	32	33
6	2	4	7	9	11	14	16	18	21	23	26	28	30	33	35
7	2	4	7	9	11	14	16	18	21	23	26	28	30	33	35
8	2	4	7	9	11	14	16	18	21	23	26	28	30	33	35

La conclusión es idéntica a la de los contenedores. Al hacer la comparativa, la capacidad teórica es de 9 frente a 4 trenes, lo que dejaría la capacidad real de 2-3 trenes con grúas pórtico frente a 5-6 trenes con reachstacker. La contrapartida de las grúas móviles se refiere al coste de inversión de la infra, pues requerirán más espacio y a veces no es posible dotar a una terminal del espacio que requieren.

9.2. Interpretación de las tablas de capacidad

Las tablas de resultados asociadas a cada método muestran la capacidad máxima diaria (en trenes completos) según el número de vías de carga disponibles y el número de equipos de manipulación simultáneamente operativos. Estas tablas permiten comparar fácilmente el rendimiento esperado bajo distintos escenarios de diseño.

Además, se demuestra que es posible utilizarlas para cualquier tipo de terminal, pudiendo requerir alguna corrección para ajustar la realidad operativa de cada una de ellas.

Nota: aunque los valores son teóricos, en la práctica las terminales suelen operar entre un 60 % y un 80 % de la capacidad estimada mediante el método agresivo, debido a factores como ineficiencias operativas, interferencias, tiempos muertos o limitaciones externas.

9.3. Consideraciones y conclusiones por tipo de terminal

9.3.1. Automóviles

Por regla general es una carga ligera que permite composiciones relativamente largas y poco espacio alrededor de las vías para llevar a cabo la operación. Dado el número de vehículos que se pueden mover al día exige grandes áreas de almacenamiento y bastante personal para el tratamiento de los trenes si se pretende aprovechar al máximo la capacidad ferroviaria.

9.3.2. Graneles líquidos

Los trenes de graneles líquidos, por el contrario, suelen ser trenes bastante pesados, por lo es difícil que la infraestructura limite la longitud de los trenes que se traten en una terminal de estas características.

Son instalaciones industriales que requieren una coordinación espacial con la infraestructura, si bien necesitan poco personal para el funcionamiento de la misma, siendo unos pocos operarios los que se encargan de la preparación y vaciado/llenado de los trenes.

9.3.3. Reachstackers

En terminales con reachstackers es relativamente sencillo aumentar el número de equipos disponibles. Sin embargo, el número de vías de carga está condicionado por el espacio requerido para su implantación.

Cuando se utilizan demasiados equipos, pueden aparecer interferencias entre máquinas, así como una reducción drástica del tiempo de tratamiento, lo que a su vez incrementa los requerimientos de personal. Desde el punto de vista de la eficiencia operativa, la configuración óptima suele ser de 1 reachstacker por cada 250 metros de tren.

9.3.4. Grúas pórtico

Las terminales con grúas pórtico están más limitadas por su diseño estructural. Lo habitual es que no operen más de 3 o 4 grúas por conjunto de vías, ya que su capacidad de tratamiento se concentra en un área fija.

Dado que el número de grúas suele ser fijo, el número de vías tratables también lo es, tanto por capacidad física de alcance como por tiempo de tratamiento. Añadir más de 2 o

3 vías bajo una grúa no incrementa la capacidad de carga de la terminal, pero esas vías pueden aprovecharse como vías de expedición o recepción.

10. CONCLUSIONES Y APORTACIONES

El trabajo ha permitido reunir criterios de diseño de terminales logísticas ferroviarias que, pese a su importancia, rara vez se recogen de forma estructurada en la literatura técnica. Existen referencias útiles —como el libro Transporte ferroviario de mercancías o el estudio de Ballis y Golias—, pero en general no abordan con suficiente detalle la relación entre operativa, infraestructura y capacidad.

Una de las principales aportaciones es la comparación de distintas metodologías de cálculo de capacidad, desde una más conservadora hasta una más agresiva, adaptadas a distintas tipologías de terminal. También se propone una forma razonada de estimar el tiempo de rotación (Trot), en lugar de tomarlo como un dato fijo.

Además, se han recogido y organizado los elementos clave que condicionan el diseño: número de vías, longitud útil, tipo de operativa, relación entre vías de carga y espera, etc. Todo ello con fórmulas sencillas que pueden servir como punto de partida para estudios funcionales preliminares. El trabajo busca precisamente eso: dar herramientas útiles y realistas para diseñar terminales adaptadas a las necesidades reales del transporte ferroviario de mercancías.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Á. Dombriz, I. Sanz, Í. de Peñaranda, J. C. Enguix y J. Mas, Transporte ferroviario de mercancías, 2ª ed., Marge Books, 2020.
- [2] Puertos del Estado, Recomendaciones, metodologías y estándares para el diseño técnico de terminales ferropuarias. Madrid, España: Puertos del Estado, 2019.
- [3] Puertos del Estado, El ferrocarril de mercancías en el ámbito portuario. Madrid, España: Ministerio de Fomento, 2018.
- [4] A. Ballis and J. C. Golias, “Comparative evaluation of existing and innovative rail–road freight transport terminals,” Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol. 36, no. 7, pp. 593–611, 2002.
- [5] ADIF, Manual de capacidades. Anexo 1 al pliego de condiciones generales para la declaración sobre la red. Madrid, España: ADIF, 2008.
- [6] ADIF, NAP 1-2-1-0. Metodología para el diseño del trazado ferroviario, Madrid, España: ADIF, 2013.
- [7] Autoridad Portuaria de Valencia, Consigna de explotación ferroviaria. Documento APV-A-C-001-2023, Valencia, España, 2023.
- [8] ADIF, Cálculo de la carga máxima. Documento interno, s.f.
- [9] Renfe, “Página oficial de Renfe,” Renfe.com. [En línea]. Disponible en: <https://www.renfe.com/es/es>.
- [10] ADIF, “Página oficial de ADIF,” adif.es. [En línea]. Disponible en: <https://www.adif.es>.
- [11] ADIF, Declaración sobre la Red 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.adif.es/sobre-adif/conoce-adif/declaracion-sobre-la-red>