



Trabajo Fin de Máster

Análisis, simulación y optimización de la capacidad operativa de una terminal intermodal de transporte de mercancías mixta, contenedor-ferroutage.

Analysis, simulation and optimization of the operational capacity of a mixed intermodal freight transport terminal, container-ferroutage.

Autor

Sergio Yus Olmeda

Directores

Emilio Larrodé Pellicer
Jaime Escobar De La Iglesia

Titulación del autor

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
2021

Resumen

En este trabajo se ha llevado a cabo el análisis, simulación y optimización de la capacidad operativa de una terminal intermodal de transporte de mercancías mixta, contenedor-ferroutage

En primer lugar, se ha realizado un análisis teórico de una terminal identificando los diferentes flujos de transporte y las diferentes infraestructuras y equipos de manutención necesarios para llevar a cabo el transbordo de las mercancías. Una vez realizado el análisis teórico se ha procedido a la elección de la terminal real. La terminal elegida ha sido el centro logístico Zaragoza Plaza.

El centro logístico Zaragoza Plaza es una terminal intermodal situada en Zaragoza, en concreto en el polígono Plaza con conexión ferroviaria, por carretera y con fácil acceso a una terminal aeroportuaria. Además, existe un proyecto para la introducción de trenes de autopista ferroviaria con origen y destino en la terminal.

El siguiente paso ha sido la búsqueda de un método de resolución del problema. El método elegido ha sido la utilización de un modelo de simulación de la terminal donde poder analizar los escenarios y diferentes casos de optimización. Para realizar este modelo se ha elegido la herramienta Anylogic.

Anylogic es un software que se basa en la simulación multimétodo o híbrida. Los tres métodos de simulación en los que está fundamentado son la dinámica de sistemas, la simulación de eventos discretos y el modelado basado en agentes.

Con la herramienta elegida se pasa a la realización del modelo. En primer lugar, se ha creado el modelo físico de la terminal con las diferentes zonas y los equipos de manutención. Posteriormente se han creado los agentes involucrados en el proceso de simulación y por último la lógica de las operaciones. La lógica se ha dividido en dos, por un lado, la lógica ferroviaria con todos los movimientos dentro de la terminal y por otro la lógica de la mercancía con sus movimientos desde el punto de entrada en la terminal hasta el punto de salida.

Una vez creado el modelo físico y lógico se han elegido los escenarios de simulación, que han sido dos. El primero, el plan de transporte actual, que ha sido proporcionado por ADIF, y el segundo, el plan de transporte y dos trenes diarios de autopista ferroviaria. Como casos de optimización de la capacidad se ha elegido el incremento de los equipos de manutención a través de la introducción de grúas reach stacker adicionales. Se han planteado dos casos de optimización con la introducción de una o de dos grúas reach stacker adicionales.

Por último, se ha calculado la capacidad y el porcentaje de utilización de la terminal y se han analizado los casos de optimización teniendo en cuenta el porcentaje de utilización de la terminal, el tiempo medio de operación y el porcentaje de ocupación de los equipos de manutención.



Tabla de contenido

Resumen.....	2
1. Objeto, justificación y alcance del proyecto	5
1.1 Objeto del trabajo	5
1.2 Justificación del trabajo.....	5
1.3 Alcance del trabajo.....	5
2. Introducción	6
2.1 Transporte Intermodal.....	6
2.2 Terminal Intermodal	6
3. Análisis teórico de una terminal intermodal.....	8
3.1 Flujos de transporte	8
Flujo ferroviario.....	8
Flujo de mercancía	8
3.2 Infraestructuras para el transporte.....	9
Infraestructuras.....	9
Equipos de manutención.....	9
4. Centro logístico Zaragoza Plaza.....	10
4.1 Localización, emplazamiento y descripción de la instalación	10
4.2 Medios técnicos de la instalación	12
5. Metodología de análisis	13
6. Herramienta de simulación	14
7. Modelado de la instalación. Agente PlaZa Intermodal	15
7.1 Vías de carga y descarga	15
7.2 Playa de intercambio de contenedores	16
7.3 Zona de almacenaje de contenedores	16
7.4 Ruta de circulación de camiones.....	17
7.5 Almacenes virtuales de trenes	17
7.6 Almacenes virtuales de mercancía.....	17
7.7 Equipos de manutención.....	18
7.7.1 Grúa pórtico	18
7.7.2 Grúas reach stacker.....	19
7.8 Gráfico informativo de las infraestructuras del modelo de la terminal.....	20
8. Agentes del proceso de carga y descarga	21
8.1 Agente Train	21
8.2 Agente RailCar	21
8.3 Agente Load	22



8.4	Agente Truck	24
8.5	Agente ReachStacker	24
9.	Modelado del proceso de carga y descarga.....	26
9.1	Modelado del flujo ferroviario	26
9.2	Modelado del flujo de mercancía	37
10.	Escenarios de cálculo	50
10.1	Situación actual con solo trenes de contenedores	50
10.2	Situación futura con trenes de contenedores y un tren de autopista ferroviaria	50
11.	Optimización de la capacidad de la instalación	52
12.	Resultados	52
12.1	Trenes de contenedores.....	52
12.1.1	Equipos de manutención actuales	52
12.1.2	Ampliación a tres grúas reach stacker	54
12.1.3	Ampliación a cuatro grúas reach stacker	56
12.2	Trenes de contenedores y dos trenes de autopista ferroviaria diarios	58
12.2.1	Equipos de manutención actuales	58
12.2.2	Ampliación a tres grúas reach stacker	61
13.1.1	Ampliación a cuatro grúas reach stacker	64
15.	Conclusiones.....	67
16.	Futura línea de trabajo.....	69
17.	Fuentes de información	70
18.	Índices	71
18.1	Índice de ilustraciones.....	71
18.2	Índice de tablas	73
18.3	Índice de diagramas	74
18.4	Índice de gráficos	75

1. Objeto, justificación y alcance del proyecto

1.1 Objeto del trabajo

El objeto de este trabajo es el desarrollo de un procedimiento de análisis de capacidad operativa y espacial de las terminales de intercambio modal para el transporte de mercancías mixta contenedor y semirremolque. Se analizará la capacidad en volumen de movimiento en función de la superficie necesaria para las operaciones intermodales tren-carretera, y la capacidad técnico-operativa expresada en tiempos de actividad necesarios en la operación de intercambio modal, en función de la dotación tecnológica de las infraestructuras y de los elementos de manutención disponibles.

1.2 Justificación del trabajo

El análisis y la optimización de la capacidad operativa son tareas que resultan esenciales para tener en cuenta el estado de una terminal. A través de este proceso se puede conocer el grado de utilización y las posibilidades de crecimiento con los recursos actuales. Además, realizarlo a través de una herramienta de simulación permite crear escenarios futuros y ver la capacidad de respuesta de los equipos y de las infraestructuras sin tener que realizar ningún tipo de prueba real. Pudiendo añadir equipos o infraestructuras adicionales viendo su influencia en la capacidad operativa.

1.3 Alcance del trabajo

En este trabajo se ha realizado un modelado de la situación actual de la terminal teniendo en cuenta las infraestructuras y los equipos de manutención. Se han analizado los flujos de transporte y de mercancía de la situación actual operativa y de una futura ampliación obteniendo los resultados en cuanto a porcentaje de utilización de la terminal, a tiempos operativos medios y totales en función de la vía de operación y del tipo de mercancía y a porcentajes de utilización y ocupación de los equipos de manutención.

2. Introducción

2.1 Transporte Intermodal

El transporte intermodal hace referencia a un sistema de movimiento de mercancía utilizando una única unidad o vehículo donde se utilizan dos o más modos de transporte de forma sucesiva sin manipular la mercancía en los intercambios entre modos.[1]

Los diferentes modos de transporte que existen son

- Transporte terrestre por carretera
- Transporte ferroviario
- Transporte marítimo
- Transporte aéreo

Este proyecto se va a centrar en la combinación del transporte terrestre por carretera y el transporte ferroviario tanto de contenedores como de semirremolques.

El transporte de contenedores se realiza en plataformas especializadas tanto sobre el ferrocarril como sobre los camiones. Sin embargo, para los semirremolques existen dos alternativas al transportarlos en ferrocarril, el transporte de la caja del semirremolque en plataformas especializadas o el transporte del semirremolque completo que toma el nombre de ferroutage o autopista ferroviaria.

2.2 Terminal Intermodal

La terminal intermodal es el punto donde se realiza el transbordo entre los modos de transporte. Las terminales suelen estar ubicadas en lugares estratégicos donde existe una buena conexión con diferentes modos de transporte según entre cuales se vaya a realizar el transbordo.

En el caso de estudio de este trabajo la terminal debe tener buena conexión por carretera y ferrocarril por lo que posiblemente estará situada cerca de una gran vía de transporte, una autopista o una autovía y en un lugar con buena conexión ferroviaria.[2]

En la estructura de estas terminales es posible encontrar los siguientes elementos:

- Edificios de oficinas: Lugar donde se realiza el control documental de la mercancía que pasa por la terminal.
- Playa de transbordo: Zona de carga y descarga más cercana a la playa de vías donde se deposita la mercancía que no se va a expedir o que va a ser posteriormente almacenada.
- Playa de vías de carga y descarga: Se suelen colocar en paralelo unas junto a otras. Al lado de la playa de intercambio y la zona de almacenaje. Sobre ellas operan las grúas pórtico.
- Playa de vías de maniobra: Se colocan en paralelo entre ellas y con conexión con la playa de vías de carga y descarga. En ella se realizan las maniobras de los trenes.
- Grúas pórtico: Equipos de manutención que actúan sobre las vías y la playa de intercambio realizando movimientos de transbordo de mercancía. Su radio de acción se limita a la playa de vías y la zona de intercambio.
- Grúas reach stacker: Equipos de manutención que realizan transbordo de mercancías desde la playa de intercambio, la zona de almacenaje y directamente desde la plataforma de los camiones a los vagones y viceversa. Su radio de acción no está limitada y circulan por toda la terminal.
- Playa de almacenamiento: Zona donde depositar las mercancías que no van a ser expedidas de inmediato.

En la Ilustración 1 se puede ver un ejemplo de cómo sería la distribución de una terminal intermodal. En color rojo está la playa de vías de carga y descarga y en naranja la playa de maniobras. Con recuadro azules la zona de intercambio de contenedores y en verde la zona de almacenaje. En naranja están representadas las grúas pórtico y además está representada la circulación de los camiones dentro de la terminal.[2]

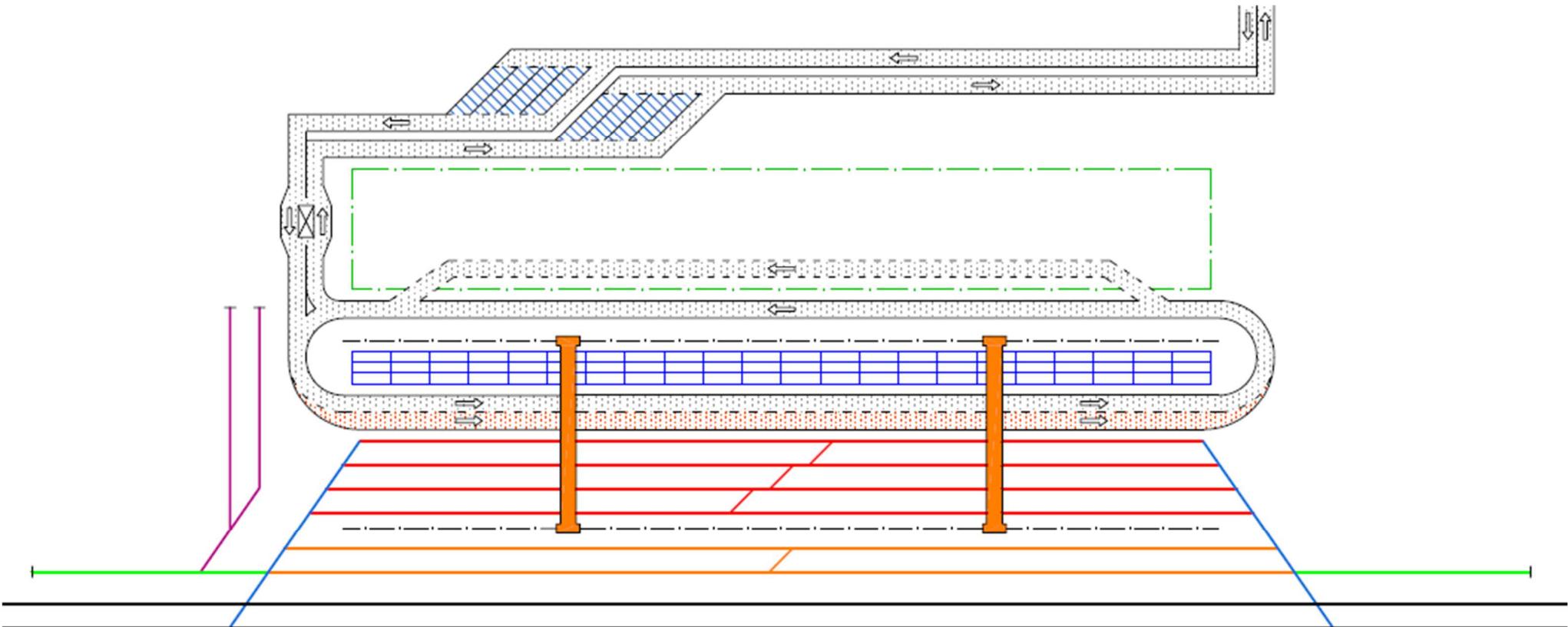


Ilustración 1 Ejemplo de distribución de una terminal intermodal

3. Análisis teórico de una terminal intermodal

El análisis teórico de la terminal intermodal se ha dividido en dos secciones principales, por un lado, los flujos de transporte con sus características y por otro las infraestructuras para el transporte.

3.1 Flujos de transporte

Los flujos que han surgido del análisis son dos bien diferenciados. El flujo ferroviario y el flujo de mercancía.

Flujo ferroviario

Las principales características del flujo ferroviario se corresponden con el número de vagones, el tipo de mercancía que se transporta en cada uno de ellos, la longitud de estos y la longitud total de los trenes. Dependiendo de estas características el tren podrá acceder a unas vías o a otras dentro de la terminal y tendrá que realizar unas maniobras y movimientos u otras.

El flujo ferroviario se define por los movimientos realizados por los trenes. Estos se componen de las maniobras previas, si son necesarias, la descomposición o no de los trenes, el desplazamiento hasta la vía de carga o descarga, la parada en el punto correspondiente, la espera durante la carga o descarga y una vez finalizada esta, las maniobras si son necesarias, la composición de los trenes y por último la salida de la playa de vías.

Flujo de mercancía

Las características del flujo de la mercancía son tres, en primer lugar, el tipo de mercancía en segundo lugar, el origen de esta y por último el destino. Con origen o destino se hace referencia a la localización de la mercancía dentro de la terminal antes y después de realizar el correspondiente transbordo.

El flujo de mercancía consiste en los diferentes movimientos que se producen en el proceso de carga y descarga. Los movimientos son diferentes dependiendo de si se va a realizar carga o descarga y de si el tipo de mercancía es contenedor o semirremolque.

En la descarga de contenedores el origen de la mercancía es común puesto que está en los vagones del tren y el destino pueden ser dos diferentes: Descarga directa sobre camión o almacenaje.

Para la carga aparecen tres orígenes diferentes, puede ser el camión, la zona de almacenaje o la playa de intercambio acabando la mercancía sobre los vagones del tren.

Para los semirremolques la operativa es más sencilla puesto que en la carga y descarga el origen o destino siempre es el camión o el vagón del ferrocarril. Los semirremolques no se almacenan ni en la playa de intercambio ni en la zona de almacenaje.

Dentro del flujo de mercancía también aparece variabilidad en cuanto a los medios de manutención dependiendo del tipo de mercancía y de la vía en la que se posiciona el tren para la descarga.

Respecto a los contenedores, la carga y descarga de los trenes se puede realizar desde todas las vías. Desde las dos más cercanas a la playa se pueden usar las grúas reach stacker o la grúa pórtico indistintamente. Sin embargo, desde el resto solo es posible utilizar la grúa pórtico.

Ambos equipos de manutención pueden depositar los contenedores sobre la playa de intercambio o directamente sobre el camión. Cabe destacar que si se deposita sobre la playa de



intercambio hay que realizar un movimiento adicional con una grúa reach stacker hasta la zona de almacenaje.

Respecto a los semirremolques, solo es posible realizar la carga y descarga desde la vía más cercana a la playa y utilizando las grúas reach stacker.

Dentro del flujo de la mercancía aparece un flujo secundario, este es el flujo de los camiones. El objetivo de este flujo puede ser de carga o de descarga de mercancía, tanto de contenedores como de semirremolques. Es importante si los camiones pueden circular en un único sentido o en varios y los puntos de carga y descarga de semirremolques que existen dentro de la terminal. También la capacidad de camiones que hay dentro de la terminal, si es única o si va a haber circulación simultánea de varios camiones.

3.2 Infraestructuras para el transporte

Infraestructuras

Las infraestructuras necesarias para el transbordo de las mercancías se componen de varias zonas diferenciadas.

Por un lado, está la playa de vías donde se detienen los trenes, por otro lado, la playa de intercambio con la zona de carga y descarga de camiones, la ruta que estos deben de seguir y por último la zona de almacenaje de contenedores. También tiene una especial importancia el parking de espera de los camiones tanto cargados como descargados antes de su entrada en la terminal.

Equipos de manutención

Para el movimiento de los contenedores y semirremolques es necesario el uso de equipos de manutención especializados. Estos equipos son la grúa pórtico, que tiene acceso a la totalidad de las vías, y las grúas reach stacker, que solo pueden acceder a las dos vías más cercanas a la playa de intercambio o la primera en función de la longitud de su pluma y su capacidad de carga.

4. Centro logístico Zaragoza Plaza

En este trabajo se va a analizar la terminal intermodal de Zaragoza Plaza que está operativa desde el año 2008. Es la mayor terminal de carga de mercancías del sur de Europa, cuenta con una superficie de 755.000 metros cuadrados. A continuación, se detallan sus características.

4.1 Localización, emplazamiento y descripción de la instalación

Se localiza en la ciudad de Zaragoza, que es un nudo logístico ferroviario que une los principales puertos de España. También tiene conexión directa con las principales instalaciones logísticas. Además, en un futuro será una de las instalaciones de inicio/final para la autopista ferroviaria entre Algeciras y Zaragoza.

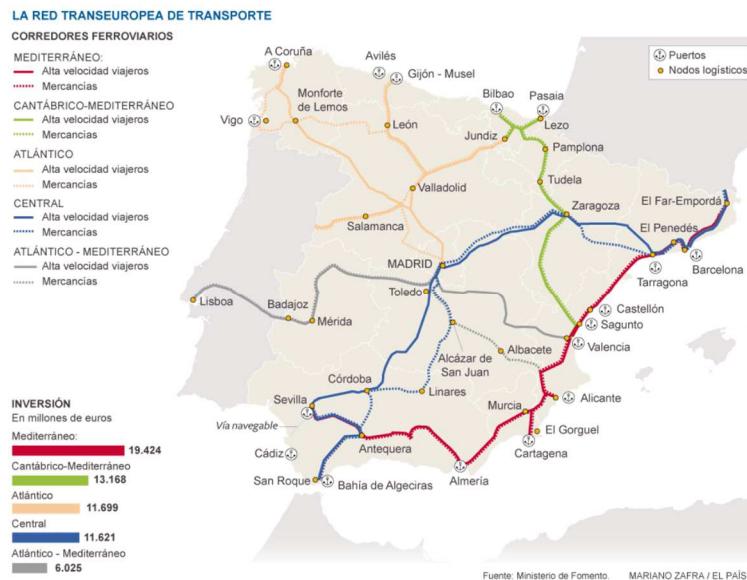


Ilustración 2 Red transeuropea de transporte en España

Se emplaza en el polígono logístico PLAZA, una de sus principales características es la gran accesibilidad. Tiene conexión por ferrocarril, carretera y proximidad al aeropuerto de la ciudad.



Ilustración 3 Emplazamiento del centro logístico Zaragoza Plaza en Zaragoza

La instalación ferroviaria se compone de 16 vías electrificadas, para tratamiento de trenes y 5 vías para carga y descarga ferroviaria que permiten el manejo de trenes de hasta 750 m. Existen 37.000 metros cuadrados de playa de carga y descarga para el intercambio modal de contenedores.

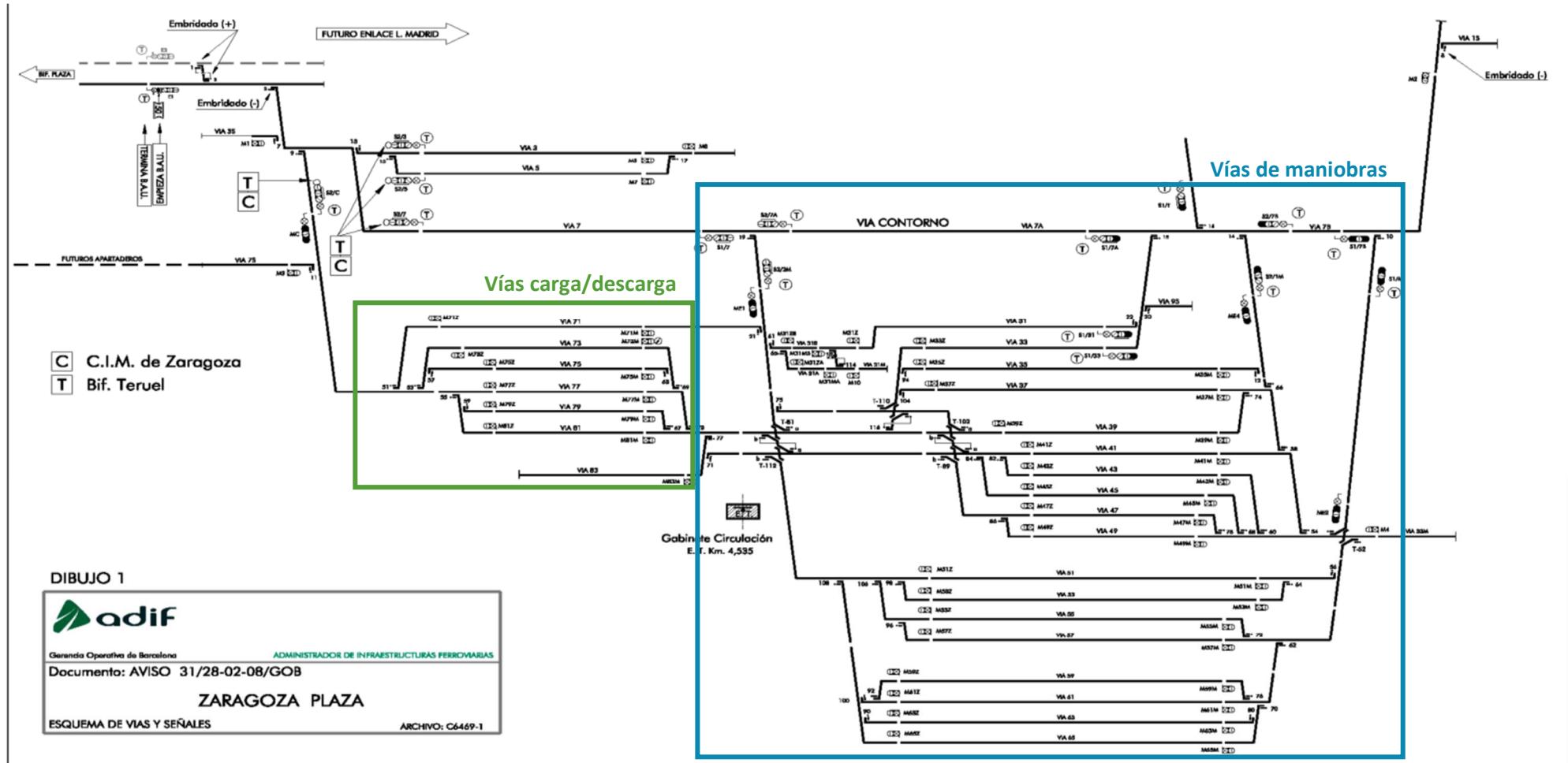




Ilustración 5 Imagen aérea de la zona de carga y descarga del centro logístico Zaragoza Plaza

4.2 Medios técnicos de la instalación

Los medios técnicos de los que dispone son una grúa pórtico de 40 TN, que permite el intercambio de contenedores en las 5 vías, y 2 grúas móviles que operan en las dos primeras vías para el intercambio de contenedores y semirremolques.[3]



Ilustración 6 Grúa reach stacker



Ilustración 7 Grúa Pórtico

5. Metodología de análisis

La metodología de análisis seguida comienza por la realización de un análisis teórico de una terminal intermodal de contenedores y semirremolques como se ha detallado en el apartado 3 Análisis teórico de una terminal intermodal. En él se han detallado los diferentes flujos de transporte y las infraestructuras necesarias para llevar a cabo la actividad.

El siguiente paso ha sido elegir la terminal real para llevar a cabo el estudio. En este caso se ha elegido la terminal de Plaza Intermodal, situada en la localidad de Zaragoza en el polígono Plaza. Actualmente, en ella se lleva a cabo el transbordo de contenedores entre el ferrocarril y el camión. Además, tiene como proyecto la inclusión del transporte de semirremolques en la modalidad de autopista ferroviaria. Los detalles de la instalación se han incluido en el apartado 4 Centro logístico Zaragoza Plaza.

Una vez se ha elegido la terminal, se han estudiado las diferentes alternativas para resolver el problema del cálculo de la capacidad de la terminal. Se ha optado por la utilización de un modelo de simulación creado en la herramienta Anylogic. Esta herramienta se encuentra detallada en el apartado 6.Herramienta de simulación

Con esta herramienta se ha procedido a la creación del modelo físico de la terminal que esta detallado en el apartado 7 Modelado de la instalación. Agente PlaZa Intermodal. Se han modelado las diferentes zonas de la terminal y sus equipos de manutención.

Posteriormente se han creado los agentes involucrados en el proceso de carga y descarga de la mercancía. Estos están detallados en el apartado 8 Agentes del proceso de carga y descarga. Con estos agentes y el análisis teórico se ha procedido a crear la lógica ferroviaria y la lógica de carga y descarga de la mercancía. Se encuentra detallado este proceso en el apartado 9 Modelado del proceso de carga y descarga.

En este punto está el modelo creado por completo, física y lógicamente. Lo siguiente es añadir los datos reales de circulación para ver la utilización de la terminal. Estos datos han sido proporcionados por ADIF. Se ha partido de unos datos de circulación en bruto ya que no todos los trenes que entran dentro de la terminal son trenes intermodales de mercancías, sino que también hay trenes que realizan diferentes maniobras o poseen otras cargas. Se han filtrado estos datos y se han obtenido las circulaciones de trenes intermodales. Estas circulaciones están detalladas en el apartado 10 Escenarios de cálculo.

Con los datos introducidos en el modelo se han simulado los procesos de carga y descarga y se han obtenido los resultados que se pueden comprobar en el apartado 13 Resultados. A través de estos resultados se ha calculado la capacidad y posteriormente se han introducido escenarios para optimizarla como se puede ver en el apartado 11 Optimización de la capacidad de la instalación.

Por último, con la capacidad calculada y con las alternativas de optimización se han extraído las conclusiones que se pueden ver en el apartado 13 Conclusiones.

6. Herramienta de simulación

La resolución se va a llevar a cabo a través de un modelo de simulación. La herramienta que se ha elegido para crear el modelo es el software Anylogic. Es un software de simulación que se basa en la simulación multimétodo o híbrida. Los tres métodos en los que está fundamentado el software son:

- Dinámica de sistemas (SD)
- Simulación de eventos discretos (DES)
- Modelado basado en agentes (ABM)

DINÁMICA DE SISTEMAS (SD)

La dinámica de sistemas es el método más antiguo y fue desarrollado en el MIT en los años 50. Es un método que desde el comienzo se centró en la gestión y la organización de empresas. Se suele usar para modelado de estrategias. Los elementos principales de este método son los stocks y los diagramas de flujo. Los stocks son una representación digital de algo modelado y los procesos se representan como un flujos entre stocks.

SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS (DES)

La simulación de eventos discretos es casi tan antigua como la dinámica de sistemas. La primera versión fue creada por IBM. La idea principal de este método es que considera un sistema como un proceso, es decir una secuencia de operaciones que se realizan entre entidades. Un modelo se especifica gráficamente como un diagrama de flujo del proceso, en el que los bloques representan las operaciones. El diagrama de flujo suele comenzar con bloques "Source", que generan entidades y las inyectan en el proceso, y termina con bloques "Sink" que eliminan entidades del modelo.

MODELADO BASADO EN AGENTES (ABM)

Este método es el más reciente de los principales métodos de simulación. Durante el siglo XX se mantuvo como un método puramente académico, pero con el desarrollo de la capacidad de procesamiento de los ordenadores ha sido de los métodos más utilizados. En el modelado basado en agentes el sistema se describe como objetos que interactúan con sus propios comportamientos. El comportamiento del sistema se compone de las acciones individuales de los agentes.

Los tres métodos de modelado son bastante independientes. Cada uno tiene sus características y herramientas. La elección de un método u otro debe basarse en el sistema estudiado y la finalidad del modelado. [4]

Cabe destacar que la mayoría de los casos reales de estudio son demasiado complejos por lo que la mejor solución suele ser la utilización de un método para cada parte del sistema creando un modelo más preciso y funcional.

En el caso de la terminal intermodal se han elegido los métodos de simulación de eventos discretos (DES) y de modelado basado en agentes (ABM). El método del modelado en agentes trata de identificar cada uno de los elementos que toma parte en la terminal con sus diferentes características y con el método de simulación de eventos discretos se van a desarrollar los diferentes procesos de carga y descarga de mercancía y los movimientos ferroviarios.

7. Modelado de la instalación. Agente PlaZa Intermodal

Una vez elegida la herramienta de simulación se procede a crear el modelo físico de la terminal. Para el modelado de la instalación se han incluido las diferentes zonas infraestructuras que posee la terminal, así como los equipos de manutención. Estos son los siguientes:

- Vías de carga y descarga
- Playa de intercambio de contenedores
- Zona de almacenaje de contenedores
- Ruta de circulación de camiones
- Almacenes virtuales de mercancía
- Equipos de manutención
 - Grúa pórtico
 - Grúas reach stacker

7.1 Vías de carga y descarga

Se han incluido las cinco vías de operaciones de 750 m y los diferentes puntos de unión entre estas. Las vías se han ido definiendo punto a punto, añadiendo además el ancho de vía ibérico que es de 1668 mm. La longitud total de cada una de ellas es algo superior a 750 m para albergar de manera correcta los trenes de esta longitud. En la Ilustración 8 se puede ver los parámetros que se han ido introduciendo para cada una de las vías del modelo. Y en la Ilustración 2 Ilustración 9 e Ilustración 10 capturas de las vías modeladas y de una de las zonas de entrada con los desvíos.

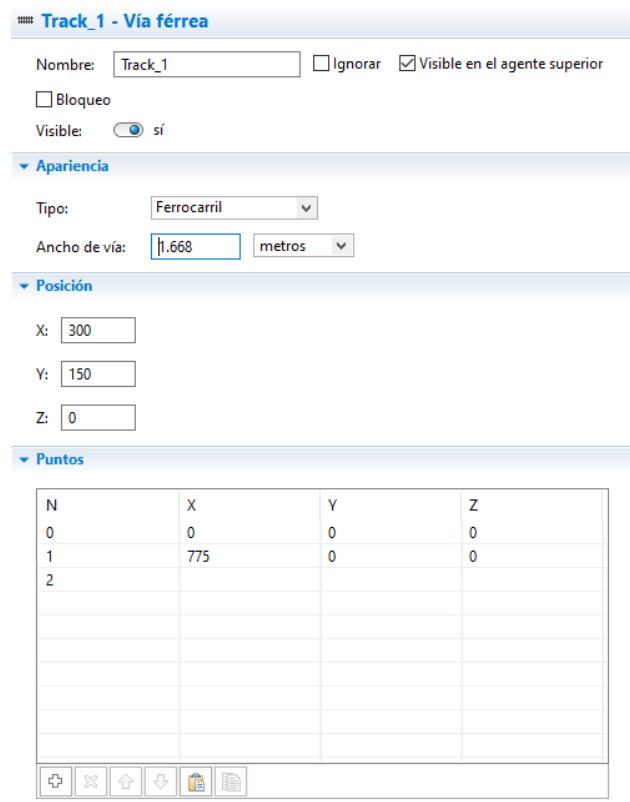


Ilustración 8 Parámetros de una vía férrea



Ilustración 9 Vías férreas para carga y descarga

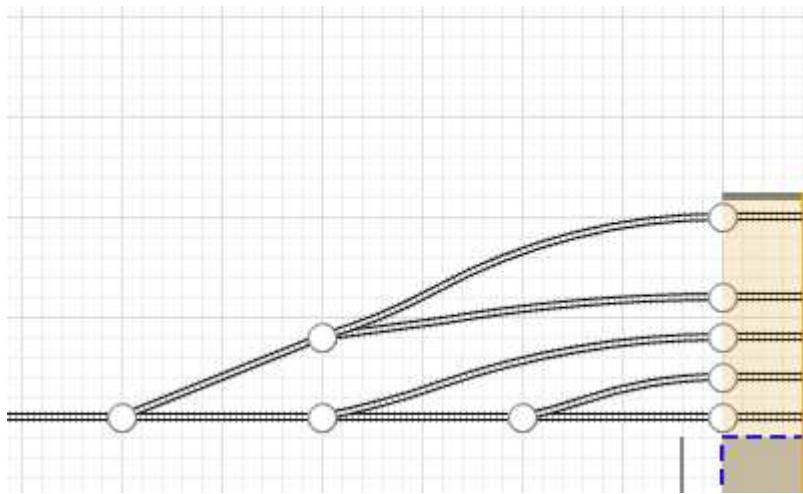


Ilustración 10 Desvíos para las cinco vías de carga y descarga

7.2 Playa de intercambio de contenedores

Posteriormente se ha modelado la playa de intercambio de contenedores. Esta zona es un espacio preparado para agilizar los movimientos de carga y descarga dentro de la terminal. Es un espacio con unas dimensiones de 775 x 30 m. Está dividido en 7 zonas de 100 x 30 y 1 zona de 75 x 30 m. En este espacio la grúa pórtico deposita los contenedores que no son retirados por camión y posteriormente las grúas reach stacker los transportan a la zona de almacenaje de contenedores. También es posible cargar contenedores en el tren que han sido preparados previamente en esta zona por las grúas reach stacker.



Ilustración 11 Playa de intercambio de contenedores zonificada

7.3 Zona de almacenaje de contenedores

También se ha modelado una zona de almacenaje de contenedores situada en la parte inferior de la terminal donde se depositan los contenedores que no van a ser expedidos. Las dimensiones de este espacio coinciden con las de la playa de intercambio y tiene realizadas las mismas divisiones. En ella se depositan los contenedores que van a ser almacenados dentro de la terminal.

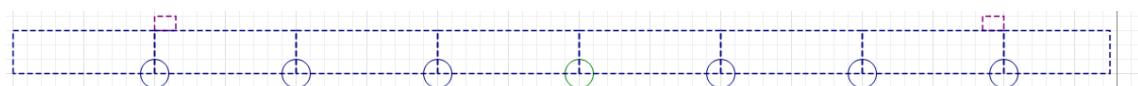


Ilustración 12 Zona de almacenaje de contenedores dividida

Tanto la zona de intercambio de contenedores como la zona de almacenaje han sido divididas en zonas más pequeñas para poder realizar un movimiento más eficiente de las mercancías. Las mercancías se depositan en la zona más cercana a la posición de carga o descarga dentro del tren para que el movimiento tanto de la grúa como de la mercancía sea el menor posible.

7.4 Ruta de circulación de camiones

Para la carga y descarga directa desde camión se ha incluido la ruta seguida por los camiones con dos puntos de carga y descarga de contenedores o semirremolques al inicio y al final de las vías.

En la Ilustración 13 se puede apreciar la ruta. Se trata de una ruta de un único sentido. Los camiones tanto cargados como descargados entran por la parte inferior de la ruta en sentido derecho hasta el final de la terminal. Allí realizan un giro de 180 grados para posteriormente detenerse en uno de los puntos en función de la posición o el destino de la mercancía y finalmente salir por la parte izquierda.

En la Ilustración 14 se puede ver uno de los puntos de carga y descarga ampliados. En la zona roja se ha limitado la entrada a una sola grúa reach stacker para realizar las operaciones.



Ilustración 13 Ruta de circulación para los camiones dentro de la terminal con los puntos de carga y descarga

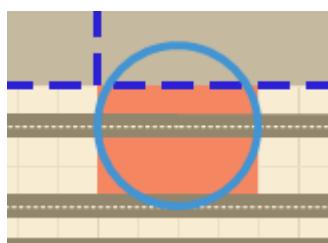


Ilustración 14 Ampliación de uno de los puntos de carga y descarga para camiones

7.5 Almacenes virtuales de trenes

Para clasificar los trenes se han modelizado dos almacenes virtuales donde acaban los trenes una vez han realizado las operaciones en la terminal. El objetivo de estos almacenes es agrupar los agentes *Train* para poder realizar un análisis posterior de los datos de los agentes.



Ilustración 15 Almacenes virtuales para la clasificación de los trenes

7.6 Almacenes virtuales de mercancía

Se han modelizado cuatro almacenes virtuales donde acaban cada una de las mercancías diferenciadas por tipo, contenedor o semirremolque, y si han sido cargadas o descargadas. Esta separación permite realizar un análisis más eficiente de cara a calcular la capacidad.

Se trata de almacenes virtuales ya que la mercancía no llega a ellos de manera física, sino que al finalizar el proceso lógico de carga o descarga que se detalla más adelante la mercancía aparece en el almacén correspondiente para posteriormente exportar los datos de las cargas y poder hacer los cálculos correspondientes.



Ilustración 16 Almacenes virtuales para la clasificación de la mercancía

7.7 Equipos de manutención

Por último, se han modelado los equipos de manutención, estos son la grúa pórtico y las grúas reach stacker.

7.7.1 Grúa pórtico

La grúa pórtico está definida dentro del software por lo que se han introducido sus parámetros y se ha incluido su zona de actuación. Esta zona abarca las 5 vías de carga y descarga, la playa de intercambio de contenedores y la ruta de los camiones con los dos puntos de carga y descarga.

En la Ilustración 17 se puede ver una imagen aérea de la grúa pórtico con su zona de actuación y en la Ilustración 18 la representación en 3D de la grúa descargando un contenedor durante una simulación.

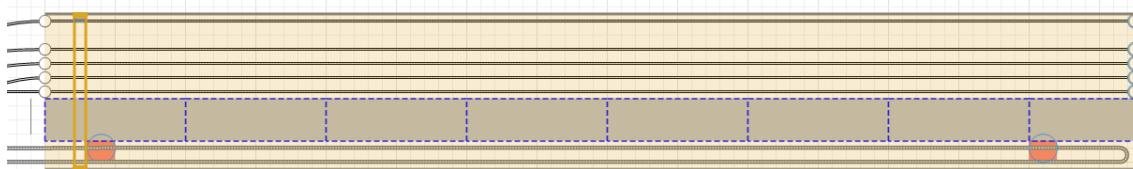


Ilustración 17 Imagen aérea de la grúa pórtico

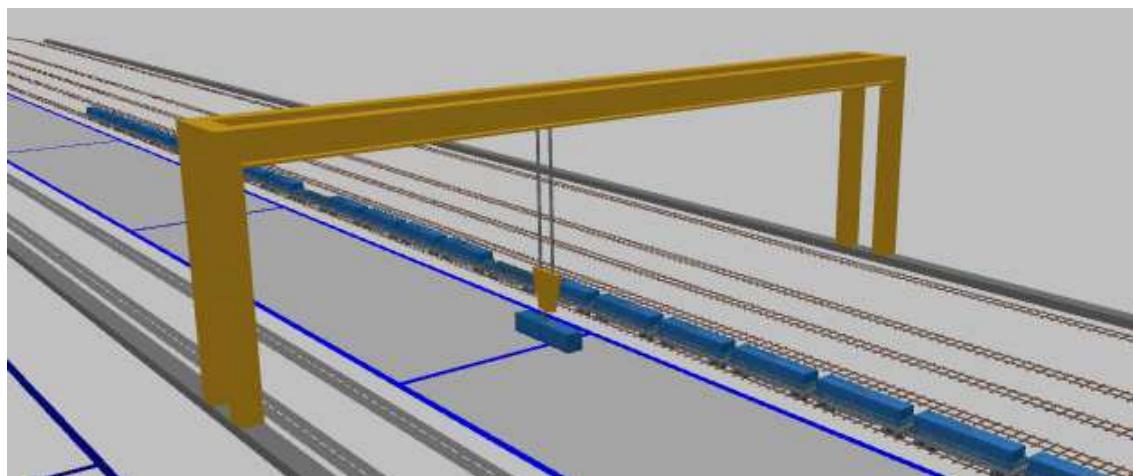


Ilustración 18 Representación 3D de la grúa pórtico descargando un contenedor

Los parámetros que se han incluido de la grúa pórtico están definidos en la Tabla 1 y la Tabla 2.

Dimensiones	[metros]
Longitud de la pista	780
Ancho de la grúa	110
Altura de la grúa	30
Ancho del puente de la grúa	8
Distancia de seguridad al puente	2

Tabla 1 Dimensiones de la grúa pórtico [3]

Velocidades	[metros/min]
Velocidad del puente	140
Velocidad del carro	70
Velocidad del gancho	45
Movimiento concurrente	Sí

Tabla 2 Velocidades de la grúa pórtico [5]

7.7.2 Grúas reach stacker

Para las grúas reach stacker ha sido necesario utilizar el bloque de programación de Flota de transportes (*TransporterFleet*) que se puede ver en la Ilustración 19. En este bloque se han definido los parámetros de las grúas reach stacker.



Ilustración 19 Bloque de programación TransporterFleet

En primer lugar, se ha definido un movimiento libre para las grúas dentro del modelo, el número de grúas se ha definido a través de un parámetro modificable al comienzo de las simulaciones (*nmReach*).

Posteriormente se han seleccionado los puntos de origen de las grúas al comienzo de las simulaciones y el resto de los parámetros que se especifican en la Tabla 3. En la Ilustración 20 se puede ver los parámetros introducidos en el software.

Parámetro	Valor [unidades]
Radio de giro	8,2 [m]
Mínima distancia a objetos	2 [m]
Velocidad máxima	20 [km/h]
Aceleración	1 [m/s ²]
Desaceleración	1 [m/s ²]
Retardo para el cálculo de rutas	60 [s]
Retraso para reanudar el movimiento	60 [s]

Tabla 3 Parámetros grúas reach stacker [6]

transporterFleet - TransporterFleet

Nombre: transporterFleet Mostrar nombre

Ignorar

Tipo de navegación: Ruta guiada Espacio libre

Reconocer todos los transportadores:

capacidad definida: Directamente

Capacidad: nmReach

Lugares de origen: ReachOrigin1, ReachOrigin2

Radio de giro: 8.2 metros

min distancia a obstáculos: 2 metros

Límite de velocidad cerca de obstáculos:

Transportador

Nuevo transportador: ReachStacker

Establecer dimensiones:

Velocidad máxima: 20 kilómetros por hora

Aceleración: 1 metros por segundo²

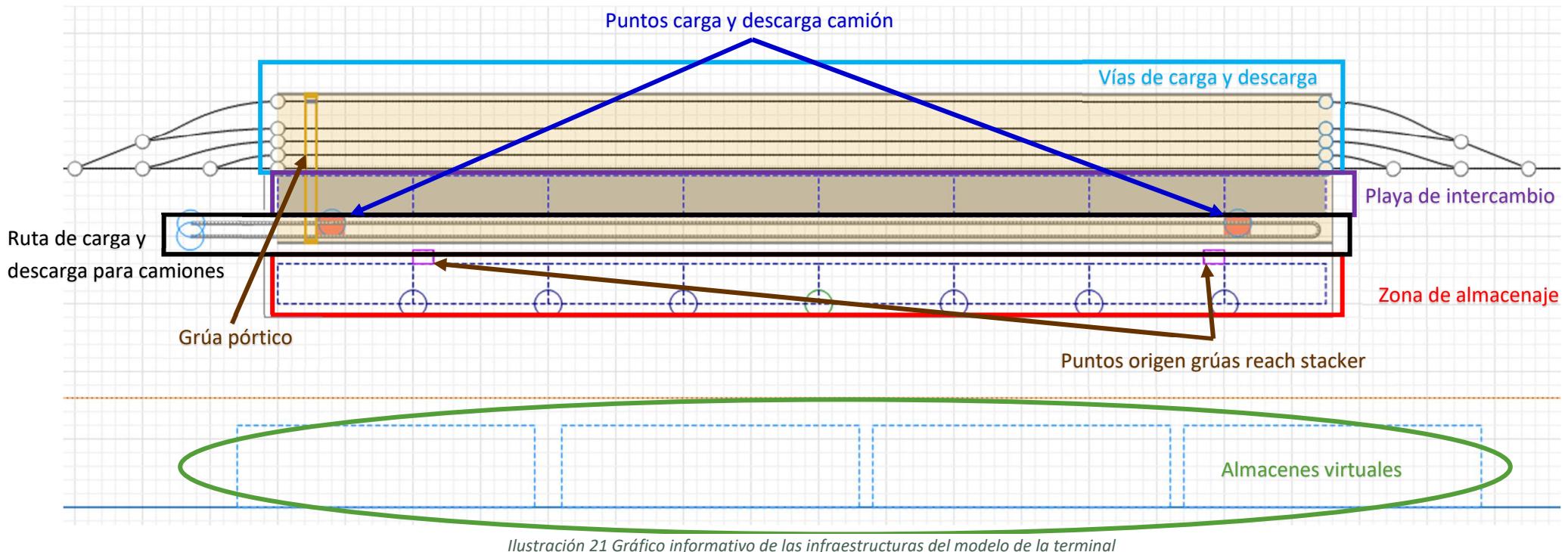
Desaceleración: 1 metros por segundo²

Retardo para el cálculo de rutas: 60 segundos

Retraso para reanudar el movimiento: 60 segundos

Ilustración 20 Parámetros de las grúas reach stacker

7.8 Gráfico informativo de las infraestructuras del modelo de la terminal



8. Agentes del proceso de carga y descarga

Con el modelo físico creado el siguiente paso es crear los agentes que están involucrados en el proceso de carga y descarga. Los agentes que aparecen en el análisis del problema son:

- *PlaZa Intermodal*: Modelo físico de la terminal
- *Train*: Tren
- *RailCar*: Vagón
- *Load*: Mercancía
- *Truck*: Camión
- *ReachStacker*: Grúas reach stacker

El agente PlaZa Intermodal se ha explicado en detalle en el apartado 7 Modelado de la instalación. Agente PlaZa Intermodal. Cabe destacar también que la grúa pórtico ya está modelizado dentro del software por lo que no es necesario incluirlo como agente.

8.1 Agente Train

Se trata de una agente virtual que aglutina todos los vagones, agentes *RailCar*, de una composición. Está definido por los siguientes parámetros:

- *NumberTrain*: Se trata de un entero que indica el número de tren. Toma el valor de 1 para el primer agente y aumenta uno por cada agente nuevo que entra en la terminal.
- *TimeEnter*: Este parámetro contiene el tiempo en minutos de la entrada del tren en la terminal.
- *TimeExit*: Es un parámetro que contiene el tiempo en minutos cuando el tren abandona la terminal.
- *TimeInTerminal*: Contiene el tiempo en minutos que el tren permanece dentro de la terminal.
- *HourEnter*: Parámetro de tipo fecha que contiene la hora de entrada del tren.
- *HourExit*: Parámetro de tipo fecha que contiene la hora de salida del tren.

8.2 Agente RailCar

Este agente hace referencia a cada uno de los vagones que componen un tren. Los parámetros que lo definen son:

- *posVagon*: Es un entero que indica la posición dentro de la composición. Comienza en 0.
- *LoadedCar*: Es un booleano que indica si el vagón se encuentra vacío o cargado.
- *nmTrain*: Es un entero que indica la composición o tren al que pertenece, similar al *NumberTrain* del agente *Train*. Toma el valor de 1 para la primera composición y así sucesivamente.
- *nmCar*: Se trata de un entero de tres cifras. La primera cifra corresponde al número de tren (*nmTrain*) y las dos siguientes a la posición del vagón dentro de la composición (*posVagon*). Este parámetro es importante ya que define únicamente al vagón y posteriormente la mercancía.
- *typeCar*: Se trata de un entero con valor 1 o 2. El valor 1 indica que el vagón carga un contenedor, y el 2 un semirremolque.

En el apartado visual están las siguientes representaciones en función de los parámetros.

Cuando la posición del tren es la numero 0, (posVagon = 0), significa que es una locomotora por lo que la representación es la siguiente:



Ilustración 22 Representación 3D de una locomotora



Ilustración 23 Representación 2D de una locomotora

Según el tipo de mercancía (typeCar) estará representado un semirremolque o un container:

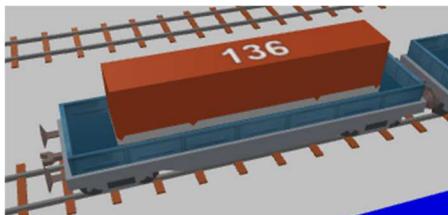


Ilustración 24 Representación 3D de un vagón cargado con un semirremolque



Ilustración 25 Representación 2D de un vagón cargado con un semirremolque

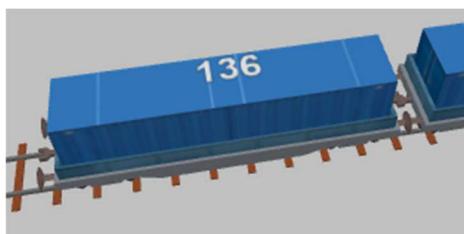


Ilustración 26 Representación 3D de un vagón cargado con un contenedor

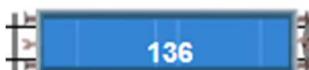


Ilustración 27 Representación 2D de un vagón cargado con un contenedor

Por último, puede estar el vagón descargado (LoadedCar):

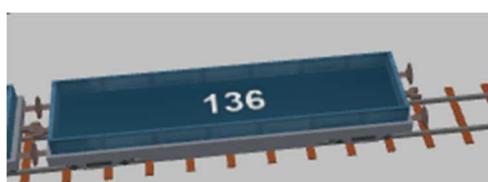


Ilustración 28 Representación 3D de un vagón vacío



Ilustración 29 Representación 2D de un vagón vacío

8.3 Agente Load

El agente *Load* hace referencia a la mercancía. Es el agente principal de la simulación. Sobre él se realizan los movimientos de carga y descarga. Los parámetros que lo definen son:

- *nmTrain*: Es un entero que define el número de tren del que se ha descargado o en el que se va a cargar. Se corresponde con el *nmTrain* de los agentes *RailCar*.

- *nmLoad*: Es un parámetro similar al *nmCar* del agente *RailCar*. Además de esto permite hacer una trazabilidad de la carga ya que se representa sobre el agente durante todo el proceso.
- *typeLoad*: Es un parámetro similar al *typeCar* del agente *RailCar*. Define el tipo de carga que es el agente a través de un entero, uno para contenedor dos para semirremolque.
- *OriginalTrack*: Este parámetro indica la vía donde ha parado el tren para realizar la carga o la descarga.
- *posVagon*: Parámetro similar al *posVagon* del agente *RailCar*. Indica la posición de la mercancía dentro de la composición del tren de donde se descarga o donde se va a cargar.
- *Loaded*: Es un entero que puede valer 1 o 0 e indica si la mercancía ha sido cargada o descargada del tren.
- *TransporterUsed*: Es un entero que indica que equipo de manutención se ha utilizado para realizar la carga o descarga de la mercancía. Un 0 indica que el transbordo ha sido realizado por la grúa pórtico. Del 1 en adelante indica el número de grúa reach stacker que ha realizado el movimiento de la mercancía.
- *OriDesLoad*: Es un entero que toma valores de 1 a 3 para indicar el origen o destino de la mercancía dentro de la terminal. Un 1 corresponde a la playa de almacenamiento, un 2 a que la mercancía ha llegado o se va a través de camión una vez hecho el transbordo y un 3 hace referencia a que la mercancía se ha cargado desde la playa de intercambio.
- *TimeStartLoad*: Se trata de un parámetro medido en minutos. En él se indica el momento concreto en el que la carga comienza el proceso de carga/descarga.
- *TimekFinishLoad*: Este parámetro indica el momento en que la carga/descarga ha finalizado. Se mide en minutos.
- *TimeLoading*: Este parámetro se compone de la resta de los dos anteriores e indica el tiempo total de carga de cada mercancía. Se realiza la resta entre el tiempo final y el inicial en minutos para obtener su valor.

En el apartado visual existen dos representaciones en función del tipo de mercancía: contenedor o semirremolque.



Ilustración 30 Representación 3D de un contenedor



Ilustración 31 Representación 2D de un contenedor

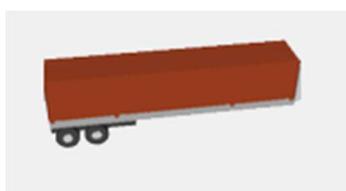


Ilustración 32 Representación 3D de un semirremolque



Ilustración 33 Representación 2D de un semirremolque

8.4 Agente Truck

El agente *Truck* representa los camiones que entran dentro de la terminal para realizar la carga o descarga de mercancía. Está definido por los siguientes parámetros:

- *TruckLoaded*: Es un booleano que indica si el camión se encuentra cargado o descargado.
- *LoadingPoint*: Este parámetro es un entero que puede valer 0 o 1 e indica el punto de carga donde el camión va a recoger o dejar la carga dentro de la terminal.
- *TruckType*: Es un parámetro similar a *TypeLoad* y a *TypeCar*, indica el tipo de mercancía que contiene el camión.

Las visualizaciones posibles dependen de los parámetros *TruckLoaded* y *TruckType*. Si el camión se encuentra descargado, *TruckLoaded* = false la visualización es la siguiente:



Ilustración 34 Representación 3D de un camión vacío

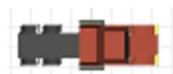


Ilustración 35 Representación 2D de un camión vacío

Si el camión está cargado, *TruckLoaded* = true, existen dos opciones dependiendo del tipo de mercancía que transporte.



Ilustración 36 Representación 3D de un camión cargado con un semirremolque

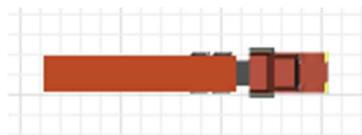


Ilustración 37 Representación 2D de un camión cargado con un semirremolque

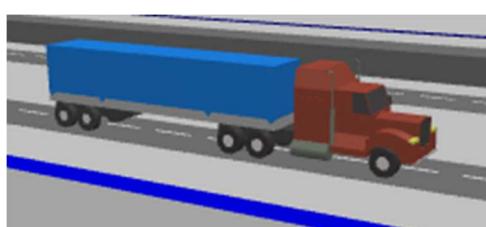


Ilustración 38 Representación 3D de un camión cargado con un contenedor



Ilustración 39 Representación 2D de un camión cargado con un contenedor

8.5 Agente ReachStacker

Este agente representa a las grúas Reach Stacker. Al contrario que la grúa pórtico, el software no tiene definido como tal este medio de transporte y se hace a través de un bloque genérico que será explicado más adelante. Al definir el agente se define su visualización dentro del programa. Como no había un objeto 3D que representase una grúa reach stacker se ha representado una cargadora y su visualización en el programa es la siguiente:



Ilustración 40 Representación 3D de una grúa reach stacker

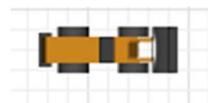


Ilustración 41 Representación 2D de una grúa reach stacker



Ilustración 42 Representación 3D de una grúa reach stacker cargada con un contenedor

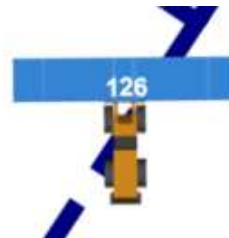


Ilustración 43 Representación 2D de una grúa reach stacker cargada con un contenedor

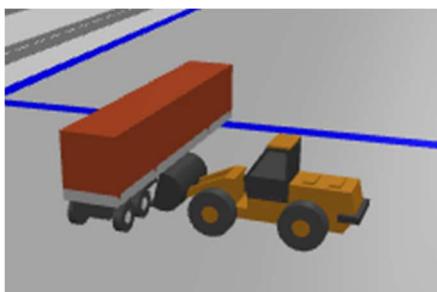


Ilustración 44 Representación 3D de una grúa reach stacker cargada con un semirremolque



Ilustración 45 Representación 2D de una grúa reach stacker cargada con un semirremolque

9. Modelado del proceso de carga y descarga

El modelado del proceso es la operación más importante. En él se define la lógica que se va a seguir durante la simulación. Esta debe ser lo más parecida a la operativa real analizada en el apartado 3 Análisis teórico de una terminal intermodal para que los resultados se ajusten a la realidad.

El modelado se ha realizado en dos partes, por un lado, la operativa, donde se incluyen todas las operaciones ferroviarias y de transporte de la mercancía, y por otro la visual, con los diferentes elementos, zonas y procesos.

La parte visual tiene como objetivo facilitar la identificación de cada una de las mercancías, trenes, equipos de manutención y zonas diferenciadas haciendo un entorno más amigable y comprensible a la hora de visualizar la simulación y asemejarla en todo lo posible a como se realizaría en un entorno real.

La parte operativa contiene la definición de cada uno de los movimientos ferroviarios y de la mercancía con sus diferentes parámetros. Se ha dividido en dos flujos, por un lado, el flujo ferroviario con sus movimientos y por otro el flujo de mercancía desde el origen hasta el destino.

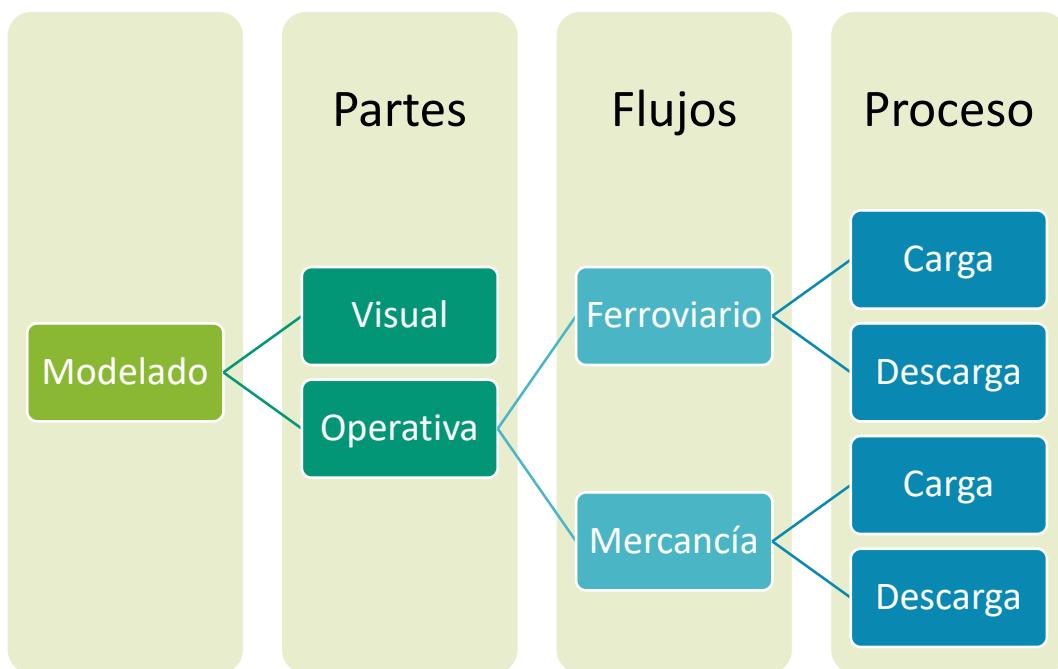


Diagrama 1 Modelado del proceso de carga y descarga

9.1 Modelado del flujo ferroviario

Para el modelado del flujo ferroviario se ha utilizado la librería ferroviaria que posee Anylogic. En esta librería existen bloques ya creados que representan los principales procesos que pueden realizar los trenes dentro y fuera de una terminal. Los bloques de esta librería son los de color amarillo.

A la hora de modelar la lógica se ha dividido en carga y descarga ya que la operativa es diferente para cada uno de los procesos, así como la representación visual.

En los siguientes diagramas se puede ver las características que determinan cada flujo ferroviario tanto para el proceso de carga como para el proceso de descarga. Según el tipo de carga que posee el tren las vías donde se realizará la carga o la descarga serán unas u otras.

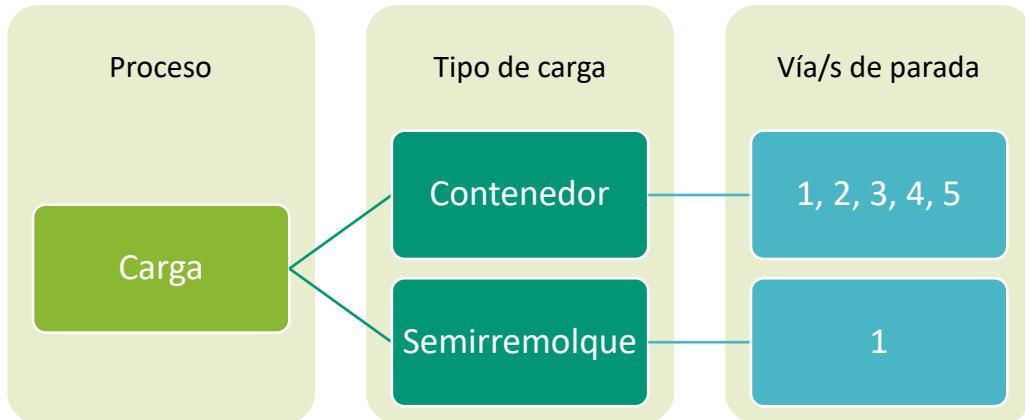


Diagrama 2 Modelado del proceso de carga del flujo ferroviario

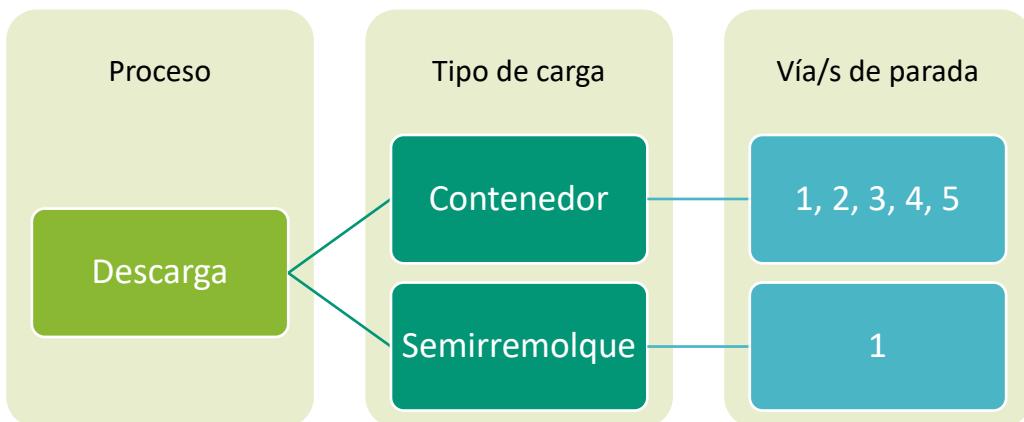


Diagrama 3 Modelado del proceso de descarga del flujo ferroviario

En la Ilustración 46 se puede ver la lógica del flujo ferroviario desarrollada al completo. En la primera fila está la lógica del proceso de descarga y en la segunda fila la lógica del proceso de carga. Estos flujos se desarrollan en profundidad a continuación.

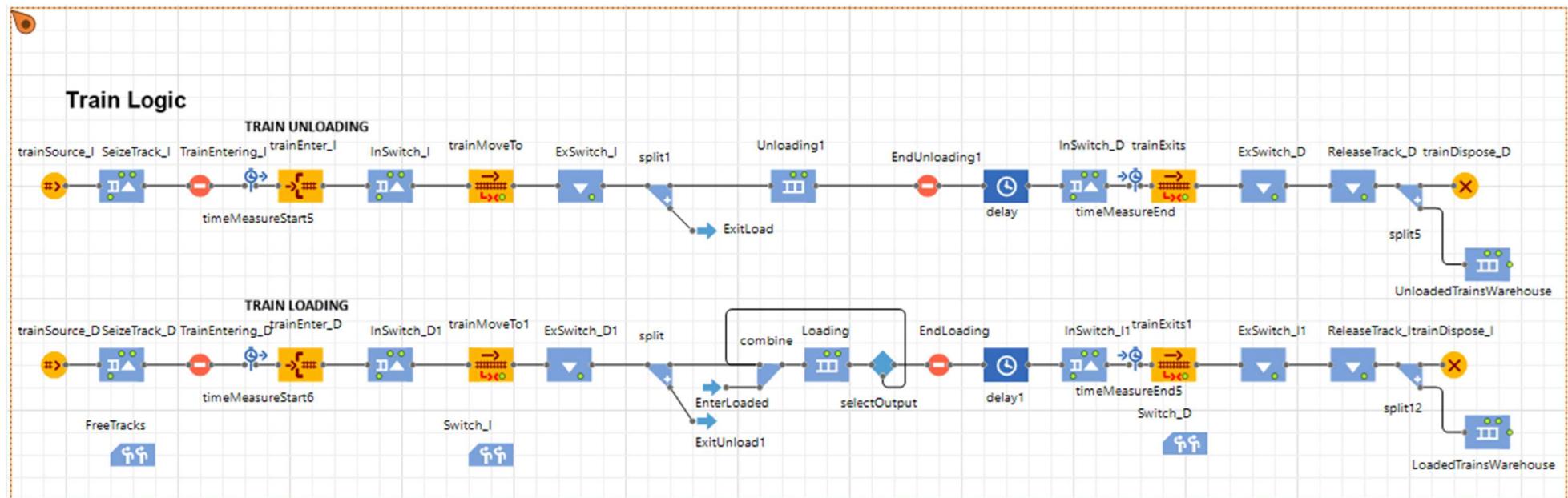


Ilustración 46 Lógica del modelado de la carga y descarga del flujo ferroviario

Con respecto a la lógica ferroviaria, el punto de partida es el bloque *TrainSource*, que se puede ver en la Ilustración 47. En este bloque se definen las características de cada agente *Train* que va a entrar dentro de la terminal, así como el momento en el que se va a crear cada uno de los agentes.

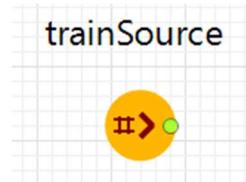


Ilustración 47 Bloque de programación *TrainSource*

La creación de los trenes viene definida por un horario. Los horarios vienen representados en Anylogic por el bloque *Schedule*, que se puede ver en la Ilustración 48. En él se definen las horas de llegada y los días de la semana en que van a ocurrir. La representación en Anylogic se puede ver en la Ilustración 49.

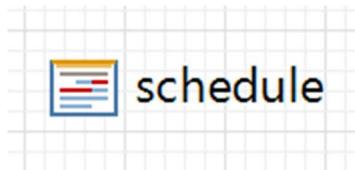


Ilustración 48 Bloque *Schedule*

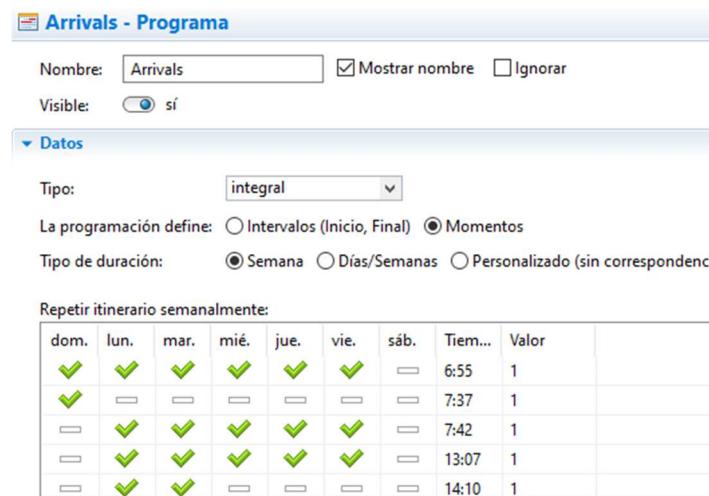


Ilustración 49 Parámetros del bloque *Schedule*

Una vez definidas las llegadas hay que incluir los parámetros de los trenes. En primer lugar, se determina el número de vagones que va a poseer el tren incluyendo la locomotora. Posteriormente hay que añadir los datos dinámicos del tren, velocidad inicial, máxima y aceleraciones.

Por último, se incluyen las características de los vagones o agentes *RailCar*. Se incluye la longitud y el ancho de los vagones y otras características programadas por el usuario. En el caso de este proyecto se han definido los parámetros *posVagon*, *nmTrain*, *typeCar* y *nmCar*. En la Ilustración 50 Parámetros bloque *trainSource* se puede ver el valor de los parámetros introducidos. Con estas propiedades el agente *Train* y los agentes *RailCar* quedan definidos por completo.

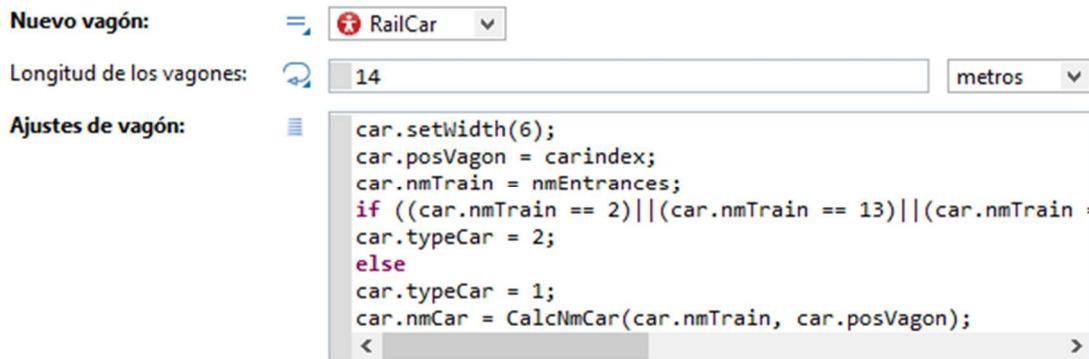


Ilustración 50 Parámetros bloque *trainSource*

Con el tren y los vagones definidos al completo lo siguiente es la gestión de la ocupación de las vías dentro de la terminal. Para evitar que puedan entrar más de cinco trenes de manera simultánea a la terminal se ha añadido el bloque *FreeTracks*, que se puede ver en la parte inferior izquierda de la Ilustración 46.



Ilustración 51 Bloque de programación *FreeTracks*

Este bloque es un recurso compartido, tiene una capacidad de 5 elementos, uno por cada vía disponible. Cada vez que entra un nuevo tren en la terminal se apropia de un elemento del recurso a través del bloque *SeizeTrack*. De esta manera se impide que entre más de cinco trenes de manera simultánea en la terminal.

Posteriormente se tiene el bloque *TrainEntering*. Este bloque es un semáforo que permite controlar el número de agentes que puede pasar a través de él según condiciones impuestas. En este caso esta para asegurar que solo un tren se aproxima a la terminal. Al comienzo, permite el paso, pero una vez un elemento lo atraviesa se bloquea. Este se libera posteriormente cuando el tren ha llegado a su vía de destino dentro de la terminal.

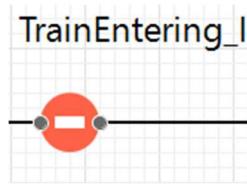


Ilustración 52 Bloque de programación *TrainEntering*

El siguiente bloque que hay es un bloque de tipo *timeMeasureStart*, Ilustración 53. En este se almacena el valor del tiempo a la entrada del tren en la terminal, así como la hora. Esto se hace en los parámetros *TimeEnter* y *HourEnter* del agente *Train* respectivamente.

En el bloque *timeMeasureEnd*, Ilustración 54, que aparece posteriormente se almacenan el valor del tiempo y la hora a la salida del tren en los parámetros *TimeExit* y *HourExit* y se calcula el valor del parámetro *TimeInTerminal*.

timeMeasureStart



Ilustración 53 Bloque de programación
timeMeasureStart

timeMeasureEnd



Ilustración 54 Bloque de programación
timeMeasureEnd

El siguiente bloque es *TrainEnter*, Ilustración 55. Este bloque tiene como finalidad colocar al tren dentro del modelo ya que el bloque *TrainSource* ha creado el agente previamente pero no lo ha colocado dentro del modelo físico. Dentro se especifica el punto donde se crea el tren dentro del modelo físico.

trainEnter_I



Ilustración 55 Bloque de programación TrainEnter

Una vez colocado el tren dentro del modelo físico tiene que dirigirse hacia la vía correspondiente dentro de la terminal. Para evitar colisiones en los diferentes cambios de vías hasta llegar a la vía correspondiente entre trenes que entran y salen se ha creado el bloque *Switch*, Ilustración 56. Este bloque al igual que *FreeTracks* es un recurso, en este caso de capacidad 1 para que solo un tren circule por los cambios de vías simultáneamente. Se ha creado uno por cada lado *Switch_I* y *Switch_D*.

Switch_I



Ilustración 56 Bloque de programación Switch

Al pasar por los bloques *InSwitch* los agentes se apropián de los recursos impidiendo la entrada o salida de otro tren hasta que los devuelven. Los agentes devuelven los recursos al salir de los cambios de vías y llegar a la vía de destino lo que ocurre en los bloques *ExSwitch*. Esto ocurre para la entrada y salida en ambos lados como se puede ver en la lógica.

InSwitch_I

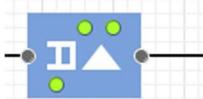


Ilustración 57 Bloque de programación InSwitch

ExSwitch_I

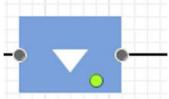


Ilustración 58 Bloque de programación ExSwitch

Una vez que los agentes se han apropiado del recurso del cambio de entrada pasan al bloque *trainMoveTo*. En este bloque se asignan las vías de destino para los trenes.

trainMoveTo



Ilustración 59 Bloque de programación trainMoveTo

El criterio seguido es diferente para cada tipo de mercancía. Para los trenes de contenedores se selecciona la vía disponible más cercana a la playa de intercambio y para los de semirremolques siempre la primera vía. Esto se debe a la posibilidad de descarga que tiene cada una de las mercancías.

Para realizar la gestión de las vías utilizadas por cada agente se ha utilizado un vector *TracksCollection* donde están alojadas las vías. Cada agente al pasar por el bloque *trainMoveTo* toma una de las vías del vector para después devolverla en su posición al pasar por el bloque *trainExits*.



Ilustración 60 Vector TracksCollection

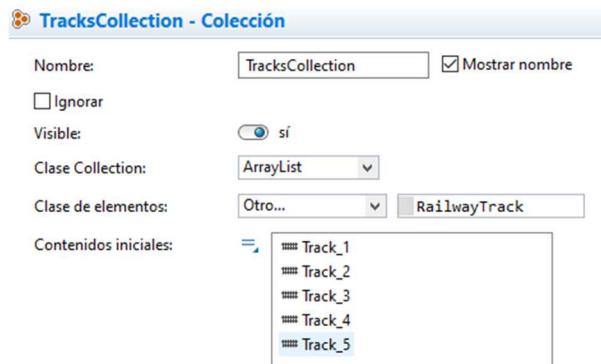


Ilustración 61 Propiedades del vector TracksCollection

Cuando los agentes llegan a su vía de destino, abandonan el bloque *trainMoveTo* y devuelven el recurso en el bloque *ExSwitch*. Luego pasan por el bloque *Split*. Este es un bloque importante. En este bloque se produce la conexión entre la lógica ferroviaria y la lógica de la carga y descarga de la mercancía.



Ilustración 62 Bloque de programación Split

La lógica del bloque es diferente para el proceso de carga o descarga del tren. Tanto la parte visual como la parte operativa.

En el proceso de descarga, al pasar el agente *Train* por este bloque se crean tantos agentes *Load* como vagones tiene el tren. En cada uno de ellos se transmiten las propiedades de los vagones: *nmTrain*, *typeLoad*, *posVagon*, *OriginalTrack* y *Loaded*.

Al entrar en el bloque se guardan en dos vectores, *LoadPosX* y *LoadPosY* las posiciones de los vagones para una vez creados los agentes *Load* posicionarlos sobre los vagones para realizar la

descarga. Una vez situados físicamente todos los agentes *Load* los vectores se inicializan para la llegada del siguiente tren.

En el proceso de carga, también se realiza la transmisión de los mismos parámetros de vagón a mercancía, pero las posiciones de los vagones no se inicializan, sino que se quedan guardadas para realizar en esos puntos la carga de los agentes *Load*.

Los agentes *Load* se crean en el orden en el que van a ser cargados o descargados. Esto se realiza a través de la función *CalcUnloadingOrder*. Esta función devuelve la posición de descarga o carga del tren que están almacenadas en un vector *UnloadingOrder*. Las posiciones de carga y descarga se introducen a través de una hoja de cálculo lo que permite su modificación en función del método de descarga deseado. En este caso se va a realizar una descarga aleatoria similar en todos los casos para poder realizar una trazabilidad. En la se puede ver vector introducido con las posiciones de carga o descarga.

unloading_order	
1	3
2	20
3	25
4	16
5	28
6	23
7	2
8	35
9	29
10	14
11	19
12	15
13	17
14	10
15	33
16	21
17	8
18	32
19	11
20	26
21	27
22	6
23	4
24	18
25	12
26	1
27	9
28	30
29	0
30	13
31	5
32	34
33	24
34	7
35	22
36	31

Ilustración 63 Orden de carga o descarga para la mercancía

A la salida del bloque por la parte superior sale el agente *Train* y por la inferior los agentes *Load*. En la Ilustración 64 y la Ilustración 65 se pueden ver las propiedades del bloque *Split* para los procesos de carga y de descarga respectivamente.

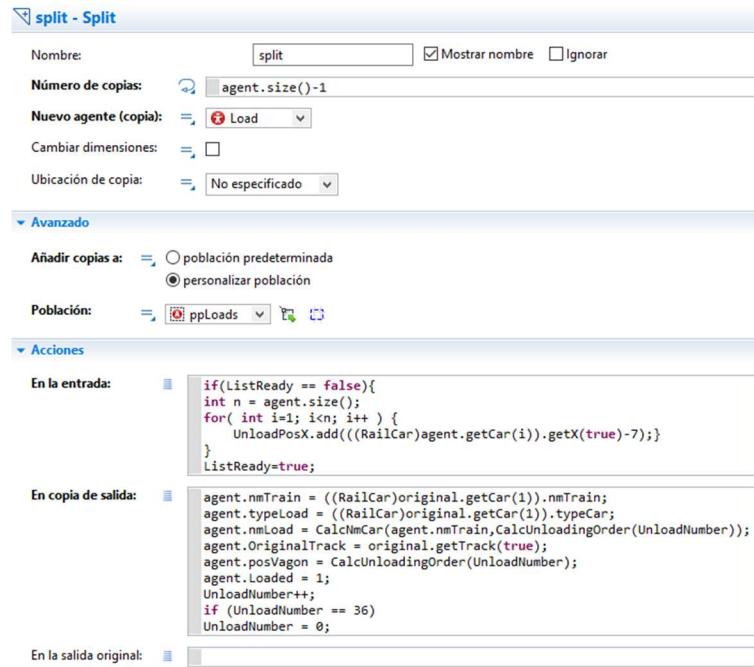


Ilustración 64 Propiedades del bloque Split para el proceso de carga

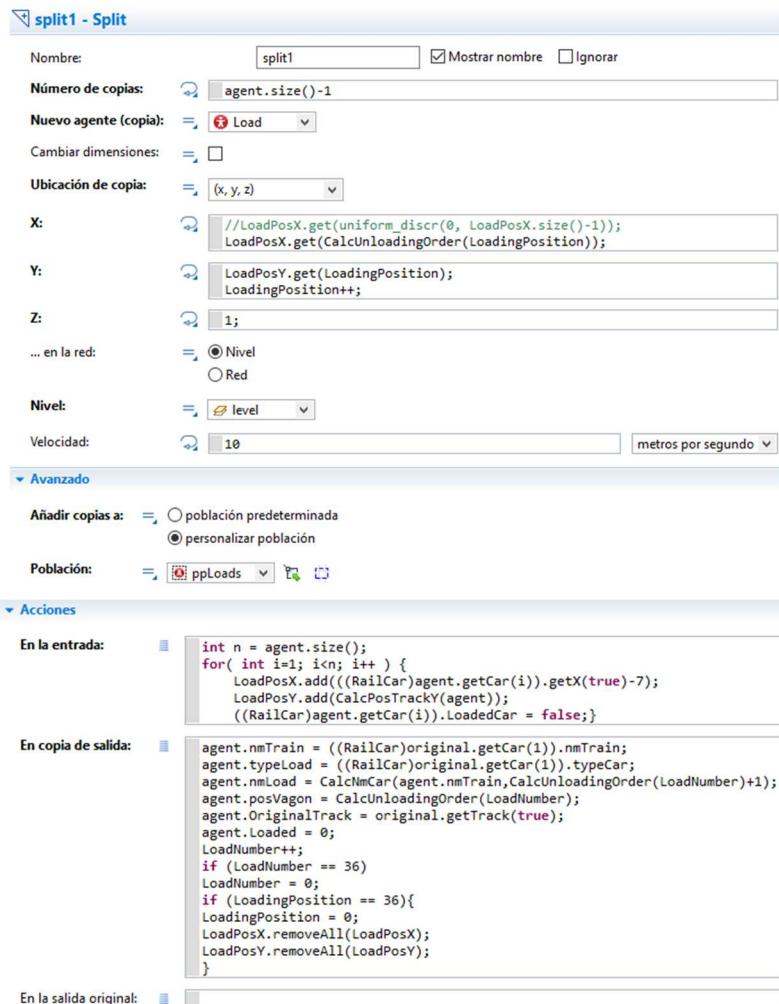


Ilustración 65 Propiedades del bloque Split para el proceso de descarga

Los agentes *Load* que salen por la parte inferior entran al bloque *ExitLoad* en este bloque se realiza la distribución de estos según sus propiedades. Dependiendo del tipo de mercancía o de la vía de origen o destino pueden ser descargados o cargados por diferentes medios por lo que deben distribuirse por una línea lógica de carga o descarga u otra. En la Ilustración 67 se puede ver que según la vía y el tipo de mercancía se dirigen a una entrada u otra en la lógica de la mercancía.



Ilustración 66 Bloque de programación ExitLoad

Ilustración 67 Propiedades del bloque de programación ExitLoad para la descarga

El siguiente paso del agente *Train* es la descarga o carga de la mercancía. En cuanto a lógica es diferente para cada proceso debido al aspecto visual. En la descarga todos los agentes *Load* están posicionados sobre los vagones y se van descargando uno a uno. Para el proceso de carga hay que ir posicionando la carga una a una en los vagones que se van cargando.

El proceso de carga y descarga está representado con el bloque *Queue*. Toma el nombre de *Loading* y de *Unloading*. Es un bloque de cola donde los trenes solo esperan a la finalización de las operaciones de carga o descarga.



Ilustración 68 Bloque de programación Queue

En el proceso de carga hay un bucle sobre el bloque de *Unloading* que tiene como función el ir representando las cargas colocadas sobre el tren una a una en función que se van cargando y entran por el bloque *EnterLoaded*.

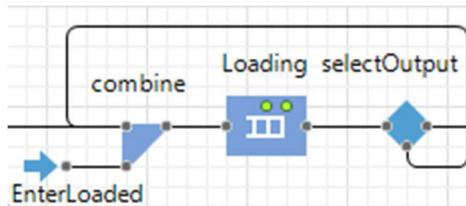


Ilustración 69 Bloque de programación EnterLoaded y bucle de activación de cargas

Una vez los agentes *Train* se han cargado o descargado el semáforo *EndLoading* o *EndUnloading* que estaban cerrados al inicio se abren y dejan pasar al agente *Train* para proceder a su salida de la terminal.

Antes de la salida hay un bloque de tipo *delay*, Ilustración 70. En este bloque cada agente *Train* espera 5 minutos a que hayan finalizado correctamente las tareas de carga y descarga.



Ilustración 70 Bloque de programación *delay*

El siguiente bloque que aparece es el bloque *InSwitch* que se ha comentado anteriormente que tiene como función reservar los cambios de agujas para evitar colisiones con otros trenes que pudieran entrar o salir de la terminal.

El bloque *trainExits* es un bloque del tipo *trainMoveTo* que se ha explicado antes. En él se indica el punto de salida al que se tienen que dirigir los trenes y además se devuelve la vía que estaba en utilización al vector *TracksCollection* en su posición para seguir el criterio de elección de la más cercana a la playa de intercambio.

Posteriormente, aparecen dos bloques de devolución de recursos, *ExSwitch* y *ReleaseTrack*. En el primero se devuelve el recurso de los cambios de agujas correspondiente, *Switch_I* o *Switch_D* y en el segundo el recurso de las vías que evita que entren más de cinco trenes en la terminal, *FreeTracks*, que se ha explicado anteriormente.

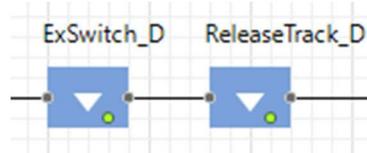


Ilustración 71 Bloques de programación *ExSwitch* y *ReleaseTrack*

El siguiente bloque que aparece es un bloque de tipo *Split*, Ilustración 72. Este bloque hace una copia del agente *Train* para llevarla posteriormente a los almacenes virtuales antes descritos y que en la lógica aparecen con bloques de tipo *queue* con nombres *UnloadedTrainsWarehouse*, Ilustración 73, y *LoadedTrainsWarehouse*, Ilustración 74.



Ilustración 72 Bloque de programación *Split*



Ilustración 73 Bloque de programación *UnloadedTrainsWarehouse*



Ilustración 74 Bloque de programación *LoadedTrainsWarehouse*

Por último, aparece el bloque *TrainDispose* que tiene como función hacer desaparecer el tren de la terminal una vez ha salido.

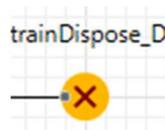


Ilustración 75 Bloque de programación *trainDispose*

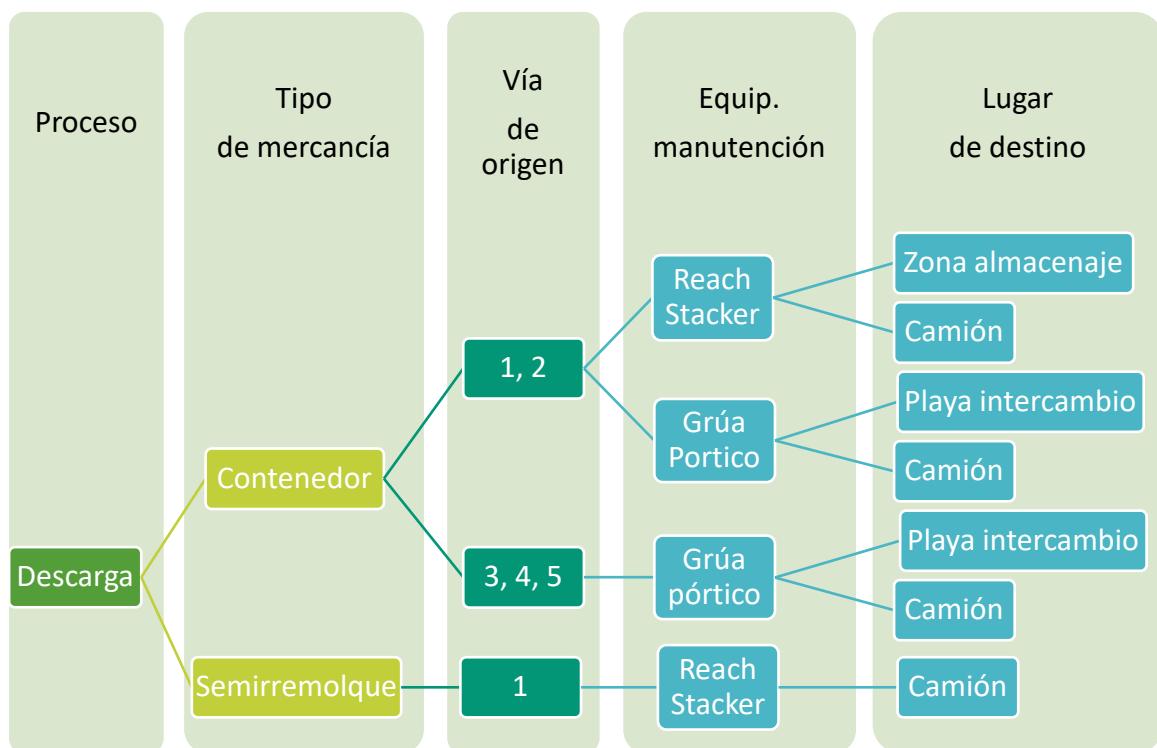
9.2 Modelado del flujo de mercancía

Para el modelado del flujo de mercancía se ha partido del análisis teórico donde se han identificado las diferentes alternativas de carga y descarga que se pueden llevar a cabo. El flujo de mercancía tal y como se ha hecho con el flujo ferroviario se ha dividido en los dos principales procesos, la carga y la descarga.

En el Diagrama 4 y el Diagrama 5 se pueden ver las diferentes alternativas que existen en los procesos de carga y descarga atendiendo a los diferentes parámetros de la mercancía.

Una vez identificadas todas las posibilidades de carga y descarga y sabiendo que se iban a tratar de manera distinta ambos procesos se ha procedido al modelado. Para el modelado se ha utilizado la librería de manejo de materiales.

En ella están representados los principales procesos necesarios para el movimiento de las mercancías. En este caso el movimiento a través de las grúas reach stacker y de la grúa pórtico. Los bloques de programación de esta librería son los de color morado.



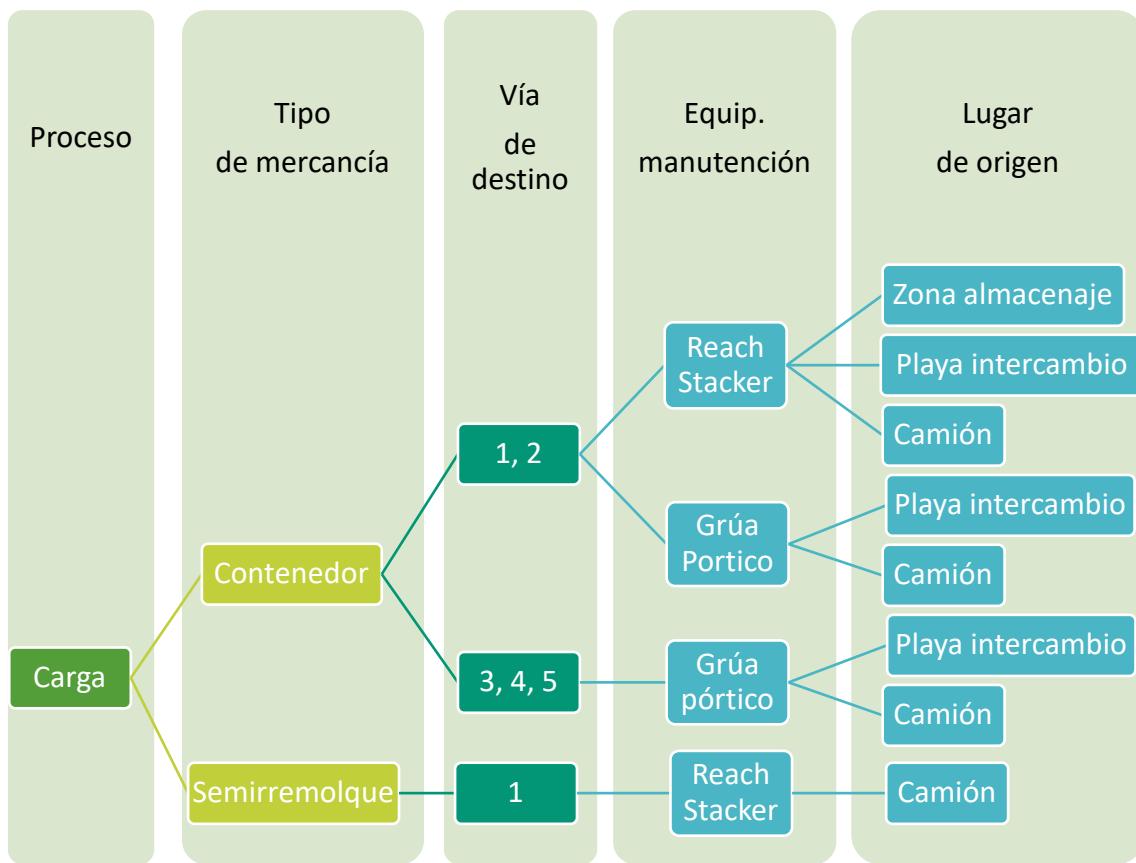


Diagrama 5 Modelado del proceso de carga del flujo de la mercancía

En la Ilustración 76 y la Ilustración 77 se puede ver la lógica completa de los procesos de carga y de descarga modelados con las diferentes alternativas en cuanto a equipos de manutención.

Los agentes *Load* en función del proceso de carga y descarga y de sus parámetros, tipo de mercancía y vía de descarga, entran a la lógica por una entrada u otra y se ejecuta el proceso.

A continuación de las ilustraciones se explica en detalle cada uno de los bloques de programación.

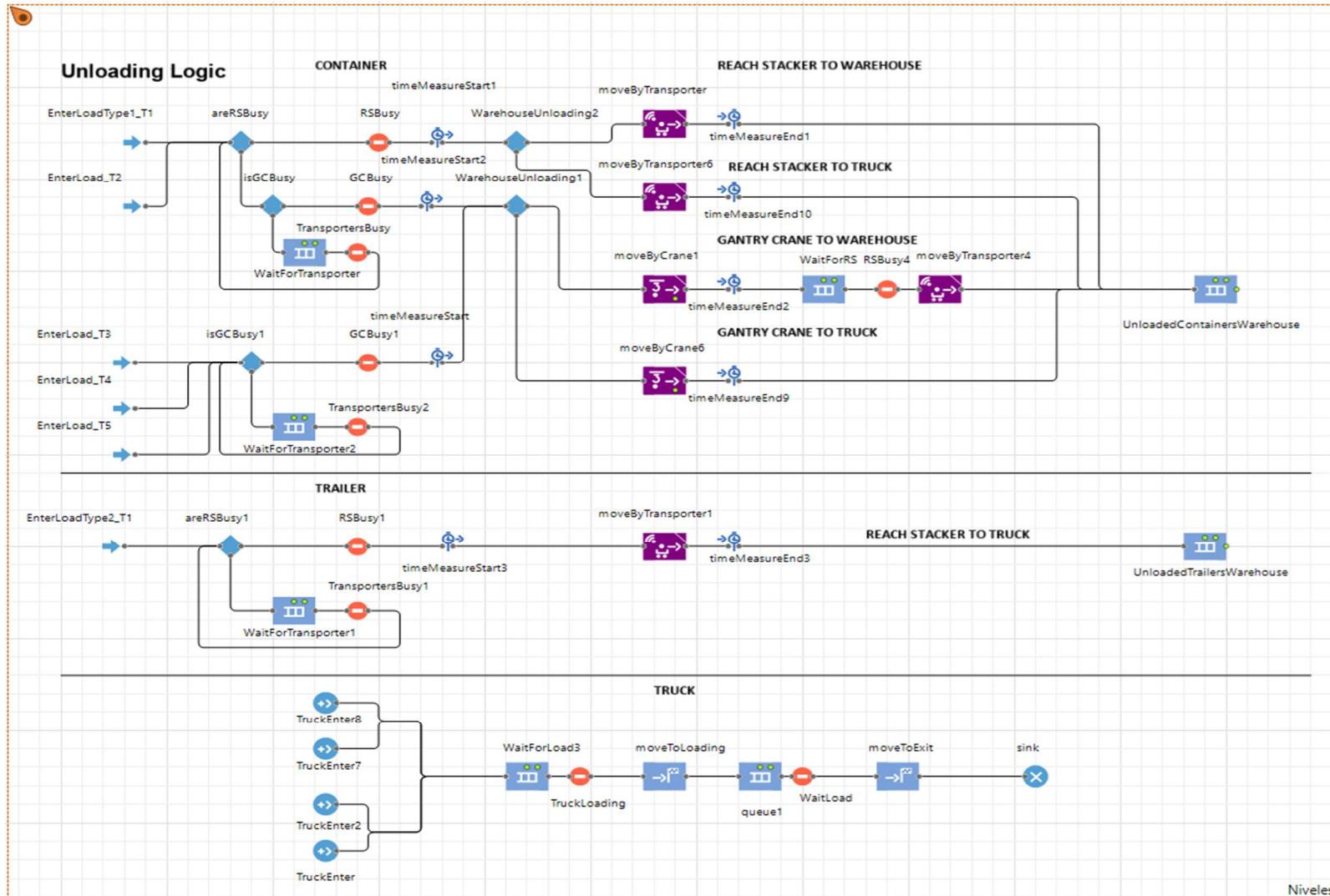


Ilustración 76 Lógica del modelado de la descarga del flujo de la mercancía

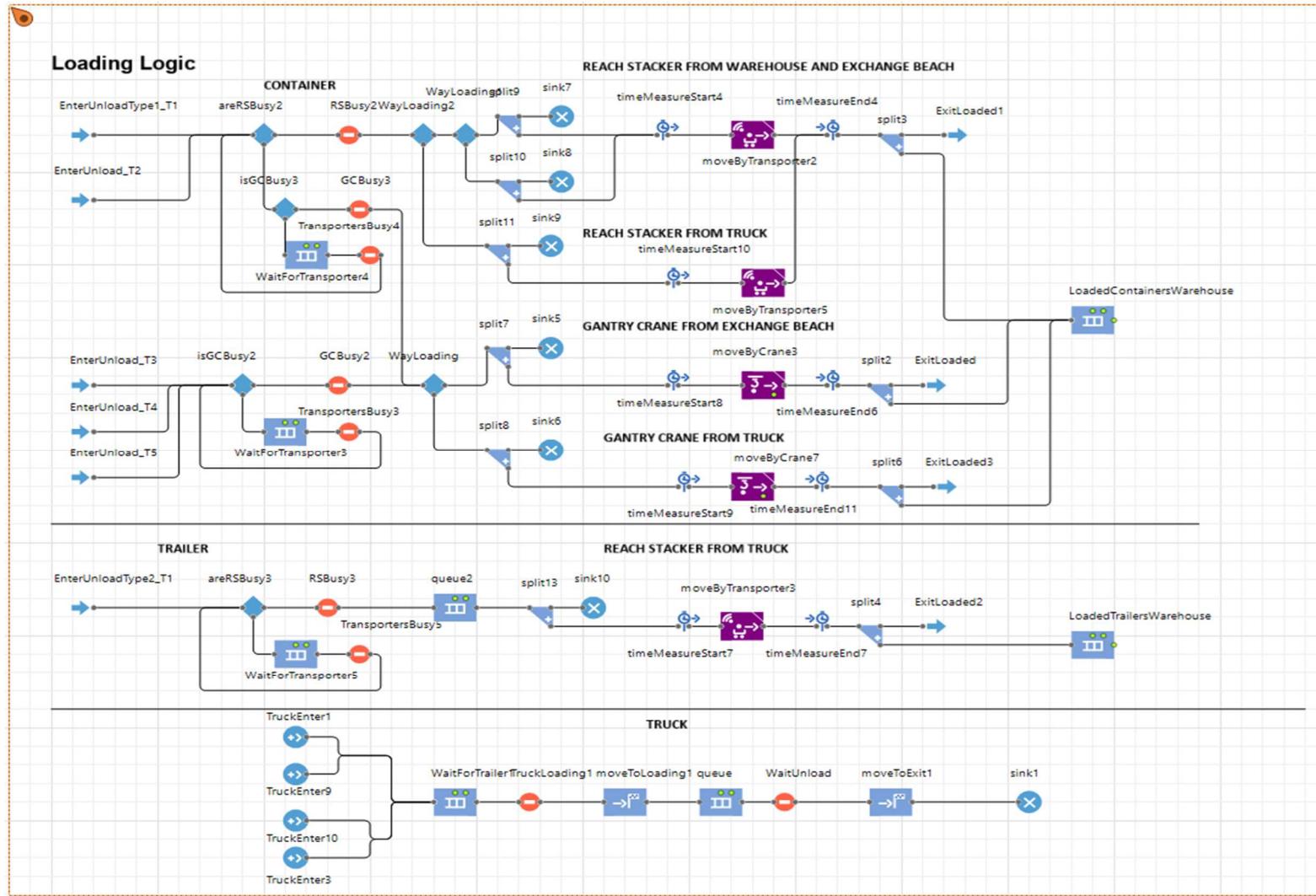


Ilustración 77 Lógica del modelado de la carga del flujo de la mercancía

En la lógica de la mercancía se tiene en primer lugar un bloque de tipo *Enter*, Ilustración 78. Los agentes *Load*, creados en la lógica ferroviaria entran en la lógica de la mercancía por este bloque según la vía de descarga y el tipo de mercancía. El nombre de estos bloques *EnterLoad_Tx* hace referencia a la vía de la que proceden y si esta es la vía 1, la más cercana a la playa de intercambio, se especifica el tipo de mercancía.



Ilustración 78 Bloque de programación Enter

Una vez los agentes *Load* han entrado por su bloque correspondiente hay que hacer una distribución entre los diferentes equipos de manutención que estén disponibles en cada momento.

Dependiendo de la vía de entrada y del tipo de mercancía los equipos de manutención son unos u otros. Para los contenedores que vayan a ser cargados o descargados desde las vías 1 y 2 se puede utilizar tanto las grúas reach stacker como la grúa pórtico. En ese caso el bucle de distribución que aparece es el de la Ilustración 79.

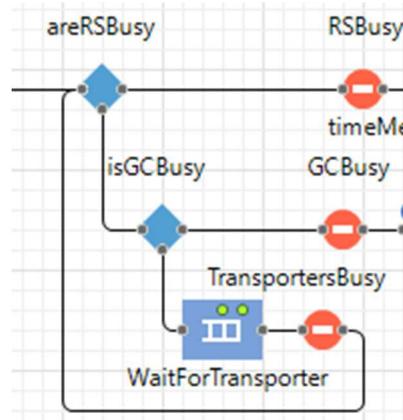


Ilustración 79 Bucle de distribución para contenedores en vía 1 y 2

En este bucle se realiza una primera decisión en el bloque de tipo *selectOutput* con nombre *areRSBusy*, Ilustración 80. En este bloque el agente que entra por la izquierda puede tomar dos caminos en función de una probabilidad o de una condición.

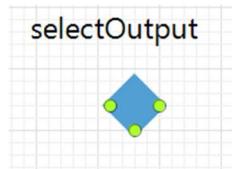


Ilustración 80 Bloque de programación selectOutput

En el caso del bloque *areRSBusy* es en función de una condición y esta es que las grúas reach stacker estén ocupadas. Esto se contabiliza a través de un parámetro *ReachSized*. Este parámetro se compara con el número de grúas total del modelo, *nmReach*, y si es inferior hay alguna disponible, si es igual es que están todas ocupadas. Si las grúas se encuentran ocupadas el agente sale por la salida inferior y si hay alguna disponible continúan recto.

En el siguiente bloque, GCBusy, se realiza una decisión similar, pero con la grúa pórtico como solo hay una grúa pórtico no es necesario un parámetro para ver su estado. Si la grúa está disponible el agente continúa recto, sino sale por la parte inferior del bloque.

Si todos los equipos de manutención están ocupados los agentes esperan en el bloque *WaitForTransporter* que es de tipo *Queue*. Cada vez que un equipo está disponible se abren su semáforo *RSBusy* o *GCBusy* y el semáforo *TransporterBusy* que deja pasar a los agentes de uno en uno.

Para los contenedores que entran por las vías 3, 4 o 5 y para los semirremolques el bucle de distribución es más sencillo puesto que solo pueden usar la grúa pórtico y las grúas reach stacker respectivamente en la Ilustración 81 y la Ilustración 82 se pueden ver los bucles de distribución de estas mercancías.

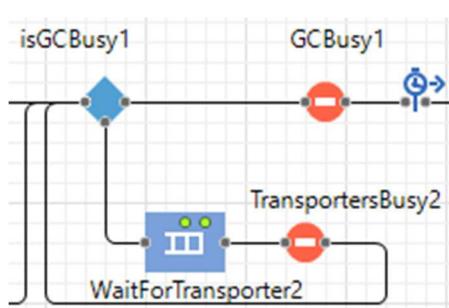


Ilustración 81 Bucle de distribución para contenedores en vías 3, 4 y 5

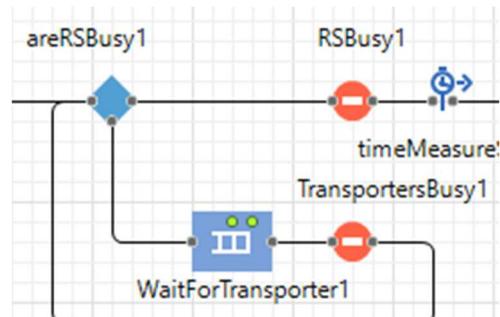


Ilustración 82 Bucle de distribución para semirremolques

En el proceso de descarga el siguiente bloque es *timeMeasureStart*, Ilustración 83, en este bloque se inicia el conteo del tiempo de descarga, que se realiza en el parámetro *TimeStartLoad* de cada agente *Load*. Los bloques *timeMeasureEnd*, X, finalizan el conteo de tiempo y lo registran en el parámetro *TimeFinishLoad*, además calculan el valor del parámetro *TimeLoading* restando el valor final al inicial.

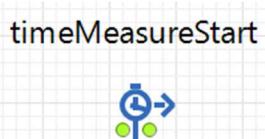


Ilustración 83 Bloque de programación *timeMeasureStart*

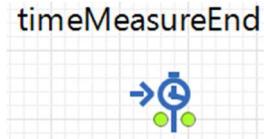


Ilustración 84 Bloque de programación *timeMeasureEnd*

Posteriormente aparecen otros bloques de distribución, *WarehouseUnloading*. En estos bloques los agentes se distribuyen de forma probabilística. Un 30% de las mercancías acaba en la playa de almacenamiento y un 70% sale de la terminal en tren en el momento de la descarga.

Para la carga los bloques de distribución son los bloques *WayLoading*. En este caso, los porcentajes son iguales que en la descarga, un 30% se carga desde la playa de almacenaje y la playa de transbordo y un 70% llega a la terminal en camión a la hora de cargar la mercancía. Dentro del 30% que esta almacenado en la terminal hay un 80% que se encuentra en la playa de intercambio y un 20% que están en la playa de almacenaje.

Con respecto a los semirremolques, no se almacenan dentro de la terminal, sino que el 100% llega y se expide en camión en el momento de realizar la carga o descarga. Estos datos de porcentajes han sido proporcionados por ADIF.

En el flujo del proceso de carga aparece una combinación de dos bloques el bloque *Split* y el bloque *Sink*, Ilustración 85. Esta combinación se utiliza para emplazar los agentes dentro del modelo físico.

Los agentes en el proceso de carga llegan sin un emplazamiento definido solamente se crea el agente.

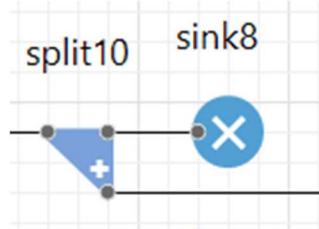


Ilustración 85 Bloques de programación Split y Sink

En el proceso de descarga ya se habían emplazado los agentes *Load* ya que todos estaban sobre los vagones del ferrocarril, sin embargo, en la carga el emplazamiento de los agentes depende de su punto de carga antes de llevarlo al ferrocarril. Este punto de carga puede ser sobre el camión, en la playa de almacenaje o en la playa de intercambio. El bloque *Split* hace una copia del agente en la localización correcta y el agente original que no tiene emplazamiento desaparece en el bloque *Sink*.

Para calcular el punto donde se va a emplazar el agente dentro de la playa correspondiente se usan las siguientes funciones: *CalcDropoffLoading* y *CalcWarehouseLoading*. En ambas se introduce la coordenada X del vagón donde se va a cargar la mercancía, se compara con los puntos que delimitan las diferentes zonas de la playa correspondiente y la primera devuelve la zona de la playa de intercambio donde se ha de emplazar la mercancía y la segunda la zona de la playa de almacenaje.

```
if (X < Point1.getX())
    return Dropoff_zone_1;
else if ((X > Point1.getX())&&(X < Point2.getX()))
    return Dropoff_zone_2;
else if ((X > Point2.getX())&&(X < Point3.getX()))
    return Dropoff_zone_3;
else if ((X > Point3.getX())&&(X < MiddlePoint.getX()))
    return Dropoff_zone_4;
else if ((X > MiddlePoint.getX())&&(X < Point5.getX()))
    return Dropoff_zone_5;
else if ((X > Point5.getX())&&(X < Point6.getX()))
    return Dropoff_zone_6;
else if ((X > Point6.getX())&&(X < Point7.getX()))
    return Dropoff_zone_7;
else
    return Dropoff_zone_8;
```

Ilustración 86 Código de la función *CalcDropoffLoading*

```
if (X < Point1.getX())
    return Warehouse1;
else if ((X > Point1.getX())&&(X < Point2.getX()))
    return Warehouse2;
else if ((X > Point2.getX())&&(X < Point3.getX()))
    return Warehouse3;
else if ((X > Point3.getX())&&(X < MiddlePoint.getX()))
    return Warehouse4;
else if ((X > MiddlePoint.getX())&&(X < Point5.getX()))
    return Warehouse5;
else if ((X > Point5.getX())&&(X < Point6.getX()))
    return Warehouse6;
else if ((X > Point6.getX())&&(X < Point7.getX()))
    return Warehouse7;
else
    return Warehouse8;
```

Ilustración 87 Código de la función *CalcWarehouseLoading*

Cuando el origen es el camión se compara la coordenada X del vagón donde se va a cargar con el punto medio de la vía para elegir si la carga se va a realizar en el punto izquierdo o el derecho.

Una vez están los agentes *Load* emplazados dentro del modelo el siguiente paso es el movimiento desde el origen al destino. Este movimiento se realiza a través de dos bloques diferentes dependiendo del equipo de manutención. Para la grúa pórtico se utiliza el bloque *moveByCrane* y para las grúas reach stacker se utiliza el bloque *moveByTransporter*.

moveByCrane



Ilustración 88 Bloque de programación moveByCrane

moveByTransporter



Ilustración 89 Bloque de programación moveByTransporter

En ambos bloques lo primero que hay que introducir es el destino de la mercancía.

En los bloques del proceso de descarga se utilizan las funciones *CalcDropoff* y *CalcWarehouse* para calcular la zona de la playa de intercambio y almacenaje, de manera similar a las funciones *CalcDropoffLoading* y *CalcWarehouseLoading*, y en el caso del camión se compara la posición del vagón con respecto al punto medio de las vías para elegir el punto de descarga.

En los de carga el destino se indica a través de coordenadas. Se toma del vector *UnloadPosX* la coordenada X del vagón y con el parámetro *OriginalTrack* del agente se calcula la coordenada Y. Con estas dos coordenadas el destino queda fijado.

Lo siguiente es elegir que grúa se va a utilizar para cada bloque. En los bloques *moveByCrane* se elige la grúa pórtico y en los *moveByTransporter* la flota *TransporterFleet* que es donde están definidas las grúas reach stacker. También se introducen los tiempos de carga y de descarga. Los tiempos introducidos son los de la Tabla 4.

Equipo de manutención	Tipo de carga	Tiempo de carga [s]	Tiempo de descarga [s]
Grúa pórtico	Contenedor	90	90
Grúa reach stacker	Contenedor	90	90
	Semirremolque	150	150

Tabla 4 Tiempos de carga y descarga para cada tipo de grúa

También se elige el criterio de selección para las grúas reach stacker. En este caso se ha elegido el criterio de mayor cercanía al agente.

Por último, en ambos bloques tanto de carga y descarga se introducen las acciones a través de código. En este apartado se ha incluido la gestión de los semáforos de distribución de agentes.

En la grúa pórtico se bloquea el semáforo *GCBusy* una vez entra un agente y en la salida de del agente se abre los semáforos *GCBusy* y *TransportersBusy* para que entre un nuevo agente.

En las grúas reach stacker como el número de grúas es variable se hace a través del parámetro *ReachSized* como antes se ha comentado. Cuando se iguala el número de grúas existentes *nmReach* se cierra el semáforo *RSBusy*. Cuando los agentes salen del bloque porque han sido descargados se abren los semáforos *RSBusy* y *TransportersBusy* para que entre un nuevo agentes de los que estaban esperando.

En este punto, los procesos de carga y descarga que tienen como origen o destino de la mercancía el camión tienen una lógica adicional. Esta lógica controla la entrada, salida y los movimientos de los camiones, agentes *Truck*, dentro de la terminal. En la Ilustración 90 se puede ver la lógica de los agentes *Truck* al completo para los procesos de carga y descarga respectivamente.

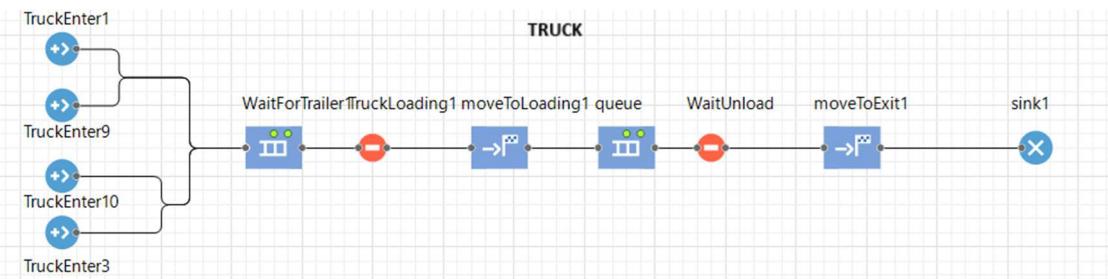


Ilustración 90 Lógica de los agentes *Truck* para el proceso de carga

La creación de los agentes *Truck* se realiza desde los bloques de transporte de mercancía ya sea *moveByCrane* o *moveByTransporter*. Desde estos se realiza una llamada a los bloques *TruckEnter* de tipo *Source*, Ilustración 91, para que creen los agentes *Truck* necesarios.



Ilustración 91 Bloque de programación *Source*

Estos agentes entran dentro de la terminal vacíos o con mercancía para realizar la carga o descarga. Dependiendo del vagón en el tren de donde procede o acaba la mercancía se detienen en un punto de carga u otro. Por este motivo hay dos bloques *Source* para cada línea de lógica de los agentes *Truck*.

Una vez creados los agentes *Truck* pasan a un bloque de tipo *Queue* llamado *WaitForTrailer*, Ilustración 92, en este realizan la espera ya que solo pueden entrar de uno en uno dentro de la terminal. Esto está regulado por el semáforo *TruckLoading*, Ilustración 92.

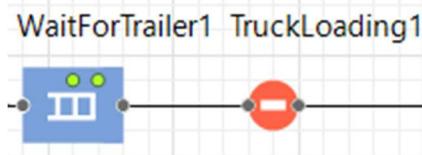


Ilustración 92 Bloques de programación *WaitForTrailer* y *TruckLoading*

Una vez el semáforo se abre, un agente *Truck* entra dentro de la terminal. En el bloque *moveToLoading*, Ilustración 93, se indica el punto hasta el que tiene que desplazarse por la ruta de circulación de camiones. El punto se selecciona según el parámetro *LoadingPoint* de los agentes *Truck*. Dependiendo del bloque de creación el parámetro tendrá un valor de 0 o 1 lo que le hace ir a un punto de carga u otro. En este bloque también se introduce la velocidad de los camiones dentro de la terminal que está limitada a 20 km/h.

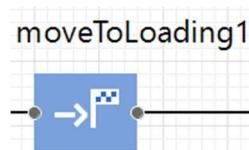


Ilustración 93 Bloque de programación *MoveToLoading*

En el proceso de carga, una vez que el agente *Truck* ha llegado al punto de carga entra en el bloque *Queue* donde espera a que la grúa se acerque a cargar la mercancía. Una vez cargada el semáforo *WaitUnload* se abre y el agente *Truck* pasa al siguiente bloque.

Este es el bloque *MoveToExit*. Este bloque es del mismo tipo que *MoveToLoading* y tiene como objetivo sacar el camión fuera de la terminal.

Por último, aparece el bloque *Sink*. Este bloque tiene como finalidad hacer desaparecer el camión del modelo físico una vez ha salido de la terminal.

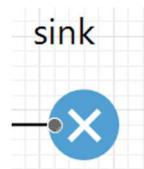


Ilustración 94 Bloque de programación *Sink*

Una vez completado el bloque de movimiento de mercancía en ambos procesos solo queda por especificar el bloque *Split* que aparece en el proceso de carga, Ilustración 95. Este bloque tiene como finalidad hacer una copia de la mercancía en los almacenes virtuales y el bloque *ExitLoaded* devolver los agentes *Load* al flujo de ferrocarril para mostrar la carga en los vagones donde se han cargado.

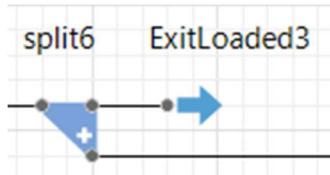


Ilustración 95 Bloques de programación *Split* y *ExitLoaded* del proceso de carga

Por último, están los almacenes virtuales, estos tienen como objetivo almacenar la mercancía cargada o descargada para poder contabilizarla y exportar los datos fuera del modelo. Existen cuatro almacenes virtuales donde se separa la mercancía por tipo, contenedor o semirremolque y si ha sido cargada o descargada. Dentro del modelo físico están representados en la parte inferior en cuatro rectángulos, Ilustración 96. En la lógica son los cuatro bloques de tipo *Queue* que tienen como nombre *UnloadedContainersWarehouse*, *UnloadedTrailersWarehouse*, *LoadedContainersWarehouse* y *LoadedTrailersWarehouse*.

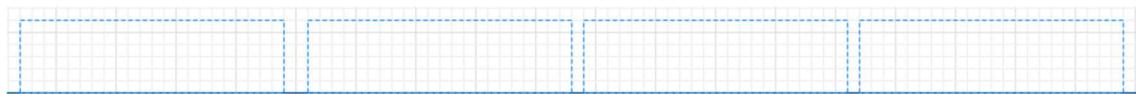


Ilustración 96 Almacenes virtuales representados en el modelo físico

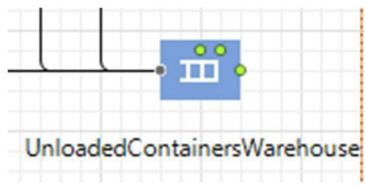


Ilustración 97 Bloque de programación
 UnloadedContainersWarehouse



Ilustración 98 Bloque de programación
 UnloadedTrailersWarehouse

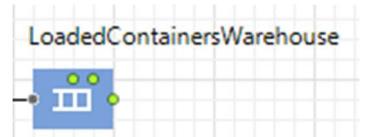


Ilustración 99 Bloque de programación
 LoadedContainersWarehouse

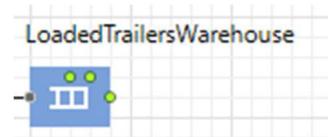


Ilustración 100 Bloque de programación
 LoadedTrailersWarehouse

Una vez finalizada la simulación para obtener los datos que esta ha generado se ha creado un bloque de tipo evento llamado *sacaDatos*, Ilustración 101. Este bloque se ha programado de manera que se exporten los datos en un fichero de tipo Excel donde se puedan tratar y hacer un análisis una vez ha finalizado la ejecución de la simulación.

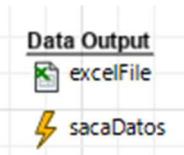


Ilustración 101 Bloque de programación *sacaDatos* y conexión con fichero Excel

En la Ilustración 102 se puede ver parte del código del bloque donde se extraen los datos de los almacenes virtuales donde han quedado los agentes de tipo *Train* y *Load* una vez han recorrido la lógica del modelo. Por simplicidad, se ha mostrado el código para un almacén de *Load* y para otro de agentes *Train*, pero se realiza para todos los almacenes.

▼ Acción

```

Load Load;
Train Train;
String laHoja = "RS" + nmReach;

traceln ("-----");
traceln ("      Num reach stackers: " + nmReach);
traceln ("      Num trains: " + (nmEntrances-1));
traceln ();
traceln ("            Hoja excel: " + laHoja);
traceln ("-----");

excelFile.setCellValue("UNLOADED CONTAINERS", laHoja, 1, 1);
excelFile.setCellValue("Load Number: ", laHoja, 2, 1);
excelFile.setCellValue("Load Type: ", laHoja, 2, 2);
excelFile.setCellValue("Loaded/Unloaded: ", laHoja, 2, 3);
excelFile.setCellValue("Track: ", laHoja, 2, 4);
excelFile.setCellValue("Transporter Used: ", laHoja, 2, 5);
excelFile.setCellValue("Origin/Destiny: ", laHoja, 2, 6);
excelFile.setCellValue("Start Time: ", laHoja, 2, 7);
excelFile.setCellValue("Finish Time: ", laHoja, 2, 8);
excelFile.setCellValue("Loading Time: ", laHoja, 2, 9);

for (int i=0; i < UnloadedContainersWarehouse.size(); i++) {
    Load = UnloadedContainersWarehouse.get(i);
    excelFile.setCellValue(Load.nmLoad, laHoja, i+3, 1);
    excelFile.setCellValue(Load.typeLoad, laHoja, i+3, 2);
    excelFile.setCellValue(Load.Loaded, laHoja, i+3, 3);
    excelFile.setCellValue(Load.Track, laHoja, i+3, 4);
    excelFile.setCellValue(Load.TransporterUsed, laHoja, i+3, 5);
    excelFile.setCellValue(Load.OriDesLoad, laHoja, i+3, 6);
    excelFile.setCellValue(Load.TimeStartLoad, laHoja, i+3, 7);
    excelFile.setCellValue(Load.TimeFinishLoad, laHoja, i+3, 8);
    excelFile.setCellValue(Load.TimeLoading, laHoja, i+3, 9);
}

excelFile.setCellValue("UNLOADED TRAINS", laHoja, 1, 41);
excelFile.setCellValue("Train Number: ", laHoja, 2, 41);
excelFile.setCellValue("Track: ", laHoja, 2, 42);
excelFile.setCellValue("Enter time: ", laHoja, 2, 43);
excelFile.setCellValue("Exit time: ", laHoja, 2, 44);
excelFile.setCellValue("Time in terminal: ", laHoja, 2, 45);
excelFile.setCellValue("Hour Enter: ", laHoja, 2, 46);
excelFile.setCellValue("Hour Exit: ", laHoja, 2, 47);

for (int i=0; i < UnloadedTrainsWarehouse.size(); i++) {
    Train = UnloadedTrainsWarehouse.get(i);
    excelFile.setCellValue(Train.NumberTrain, laHoja, i+3, 41);
    excelFile.setCellValue(Train.Track, laHoja, i+3, 42);
    excelFile.setCellValue(Train.TimeEnter, laHoja, i+3, 43);
    excelFile.setCellValue(Train.TimeExit, laHoja, i+3, 44);
    excelFile.setCellValue(Train.TimeInTerminal, laHoja, i+3, 45);
    excelFile.setCellValue(Train.HourEnter, laHoja, i+3, 46);
    excelFile.setCellValue(Train.HourExit, laHoja, i+3, 47);
}

```

Ilustración 102 Código de programación del bloque sacaDatos

En el código se crean primero las cabeceras donde se incluyen todos los parámetros de los agentes y posteriormente se van rellenando con cada uno de los agentes de los almacenes virtuales como se puede ver en la Ilustración 103 y la Ilustración 104.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1 UNLOADED CONTAINERS										
2	Load Number:	Load Type:	Loaded/Unloaded:	Track:	Transporter Used:	Origin/Destiny:	Start Time:	Finish Time:	Loading Time:	
3	304	1	0	1	2	2	419,022609	424,535	5,512391	
4	326	1	0	1	0	2	419,022609	425,2447228	6,222114	
5	321	1	0	1	1	1	419,022609	425,505	6,482391	
6	329	1	0	1	2	2	424,535	431,76	7,225	
7	303	1	0	1	1	2	425,505	431,765	6,26	
8	315	1	0	1	1	2	431,765	438,07	6,305	
9	324	1	0	1	0	1	425,244723	431,4936343	6,248911	
10	336	1	0	1	0	2	431,493634	438,5579965	7,064362	
11	320	1	0	1	1	1	438,07	444,19	6,12	
12	316	1	0	1	2	2	438,39	444,575	6,185	
13	318	1	0	1	0	2	438,557996	447,5444272	8,986431	
14	311	1	0	1	1	2	444,19	450,325	6,135	
15	334	1	0	1	2	2	444,575	451,78	7,205	
16	322	1	0	1	0	2	447,544427	455,314835	7,770408	
17	309	1	0	1	1	2	450,325	456,235	5,91	
18	333	1	0	1	2	1	451,78	458,1	6,32	
19	312	1	0	1	0	2	455,314835	461,0823814	5,767546	
20	327	1	0	1	1	2	456,235	463,49	7,255	

Ilustración 103 Hoja Excel donde se exportan los datos de los agentes Load

	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
1 UNLOADED TRAINS							
2	Train Number:	Track:	Enter time:	Exit time:	Time in terminal:	Hour Enter:	Hour Exit:
3		2	1	175	347,9	172,9	8-11-21 2:55
4		3	1	415	509,78	94,78	8-11-21 6:55
5		4	2	462	607,725	145,725	8-11-21 7:42
6		7	1	787	884,58	97,58	8-11-21 13:07
7		9	4	850	1162,105	312,105	8-11-21 14:10
8		12	2	1320	1435,385	115,385	8-11-21 22:00
9		13	1	1615	1787,615	172,615	9-11-21 2:55
10		14	1	1855	1961,618	106,6184225	9-11-21 6:55
11		15	2	1902	2056,79	154,79	9-11-21 7:42
12		18	1	2227	2337,225	110,225	9-11-21 13:07
13		20	4	2290	2592,93	302,93	9-11-21 14:10
14		24	1	3055	3227,555	172,555	10-11-21 2:55
15		25	1	3295	3390,85	95,85000005	10-11-21 6:55
16		26	2	3342	3486,175	144,1750001	10-11-21 7:42
17		30	1	3667	3768,378	101,3777373	10-11-21 13:07

Ilustración 104 Hoja Excel donde se exportan los datos de los agentes Train

10. Escenarios de cálculo

Para los escenarios de cálculo se han elegido dos situaciones, la situación actual donde solo se cargan y descargan trenes de contenedores y la futura ampliación donde se incluirán dos trenes de autopista ferroviaria diarios que realizarán la carga y descarga de los semirremolques.

Los trenes que van a simularse son trenes de 525m. Todos ellos tienen 36 vagones de 14 m más una locomotora de 21 m.

Las operaciones de carga y descarga se van a realizar sobre el tren completo. Cargando o descargando todos los vagones. Como equipos de manutención se van a utilizar los que dispone la terminal. Estos equipos son dos grúas reach stacker y una grúa pórtico.

10.1 Situación actual con solo trenes de contenedores

El primer escenario es la situación actual, solo circulan trenes de contenedores tanto de carga como de descarga. Los datos se han solicitado a ADIF y el plan de transporte actual es el que se muestra en la Tabla 5. En total circulan 50 trenes semanales teniendo en cuenta operaciones de carga y descarga.

Tipo Tren	Salida/Llegada	Hora	L	M	X	J	V	S	D
CONT	Salida	1:15	X		X		X		
CONT	Salida	3:00				X	X		
CONT	Llegada	6:55	X	X	X	X	X		X
CONT	Llegada	7:37							X
CONT	Llegada	7:42	X	X	X	X	X		
CONT	Salida	7:47			X				
CONT	Salida	8:55	X	X	X	X	X		
CONT	Llegada	13:07	X	X	X	X	X		
CONT	Salida	14:00	X	X	X	X	X		
CONT	Llegada	14:10	X	X					
CONT	Salida	17:00	X	X	X	X			X
CONT	Salida	18:04			X				
CONT	Llegada	18:25				X			
CONT	Salida	21:18	X		X				
CONT	Salida	21:52				X			
CONT	Llegada	22:00	X		X		X		
CONT	Salida	23:00		X	X				

Tabla 5 Plan de transporte actual

10.2 Situación futura con trenes de contenedores y un tren de autopista ferroviaria

El segundo escenario contempla la ampliación de las circulaciones incluyendo un tren de descarga y uno de carga de autopista ferroviaria diarios. El tren de descarga entra a la terminal a las 2:55 y el tren de carga a las 8:45. En total pasa a haber 64 circulaciones semanales. El plan de transporte se puede ver en la Tabla 6.

Tipo Tren	Salida/Llegada	Hora	L	M	X	J	V	S	D
CONT	Salida	1:15	X		X		X		
AF	Llegada	2:55	X	X	X	X	X	X	X
CONT	Salida	3:00				X	X		
CONT	Llegada	6:55	X	X	X	X	X		X
CONT	Llegada	7:37							X
CONT	Llegada	7:42	X	X	X	X	X		
CONT	Salida	7:47			X				
AF	Salida	8:45	X	X	X	X	X	X	X
CONT	Salida	8:55	X	X	X	X	X		
CONT	Llegada	13:07	X	X	X	X	X		
CONT	Salida	14:00	X	X	X	X	X		
CONT	Llegada	14:10	X	X					
CONT	Salida	17:00	X	X	X	X			X
CONT	Salida	18:04			X				
CONT	Llegada	18:25				X			
CONT	Salida	21:18	X		X				
CONT	Salida	21:52				X			
CONT	Llegada	22:00	X		X		X		
CONT	Salida	23:00		X	X				

Tabla 6 Plan de transporte con la ampliación de AF

11. Optimización de la capacidad de la instalación

Para la optimización de la capacidad se va a analizar la repercusión que tendría el aumento del número de grúas reach stacker para las operaciones de carga y descarga. Se trata de identificar si se produce una mejora en la duración de las operaciones tanto ferroviarias como de transbordo de mercancía y de lo relevante que serían estas mejoras al introducir estos equipos adicionales.

Se han propuesto dos casos de análisis. Estos dos casos de análisis se aplicarán a ambos escenarios. Los casos son los siguientes:

- Análisis de la capacidad con 3 grúas reach stacker
- Análisis de la capacidad con 4 grúas reach stacker

12. Resultados

12.1 Trenes de contenedores

12.1.1 Equipos de manutención actuales

Una vez realizada la simulación del plan de transporte semanal se tiene por un lado los resultados de los trenes y por otro los de la mercancía. Los resultados aparecen en divididos por trenes y por mercancía y en diferentes tablas según el proceso de carga o descarga. Los resultados completos se pueden consultar en los anexos. Con estos resultados se obtiene el tiempo total de operación de los trenes para los procesos de carga y de descarga.

Tiempo total de carga [min]	Tiempo total de descarga [min]	Tiempo total de operación [min]
4170	3006	7176

Tabla 7 Tiempos de operación situación actual

Para el cálculo de la utilización actual de la terminal se va a comparar el tiempo de operación con el tiempo máximo de operación de la terminal. La terminal abre 24h y posee 5 vías de carga y descarga por lo que al 100% de utilización el tiempo de operación sería de:

$$7 \text{ días} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 60 \frac{\text{minutos}}{\text{hora}} * 5 \text{ vías} = 50400 \text{ minutos}$$

Al comparar el tiempo de operación resultado de la simulación con el tiempo máximo se puede calcular el porcentaje de utilización de la terminal.

Tiempo total de operación [min]	Tiempo máximo teórico [min]	Utilización actual (%)
7176	50400	14,24

Tabla 8 Porcentaje de utilización de la terminal en la situación actual

A parte del análisis global de utilización se pueden ver los resultados realizando un análisis por vía del número de trenes y de la duración media de las operaciones. Este análisis se puede ver en el Gráfico 1.

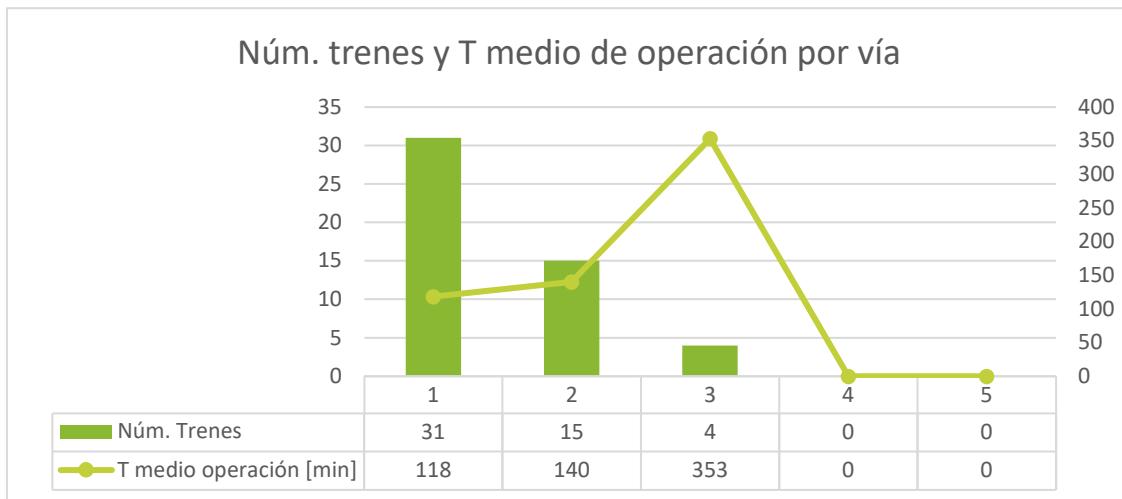


Gráfico 1 Número de trenes y tiempo medio de operación por vía en la situación actual

Analizando el gráfico se ve que es en la primera vía donde cargan y descargan la mayoría de los trenes y el tiempo de descarga es menor ya que tiene posibilidad de realizar la operación con un mayor número de equipos de manutención. Viendo los resultados de la vía 3 se ve que al solo operar la grúa pórtico el tiempo que tarda en realizarse la operación se multiplica por más de dos.

Atendiendo al tiempo de operación total por vía que se puede ver en la Tabla 9, la ocupación de las vías se muestra en el Gráfico 2. Como se puede observar se realiza en torno al 50% del tiempo total de operación en la primera vía. Cabe destacar que los cuatro trenes que operan en la vía 3 representan casi un 20% de ocupación de las vías.

Vía	Tiempo carga [min]	Tiempo descarga [min]	Tiempo total [min]
1	2450	1212	3662
2	921	1181	2102
3	799	613	1412
4	0	0	0
5	0	0	0
Total	4170	3006	7176

Tabla 9 Tiempos de carga y descarga por vía en la situación actual

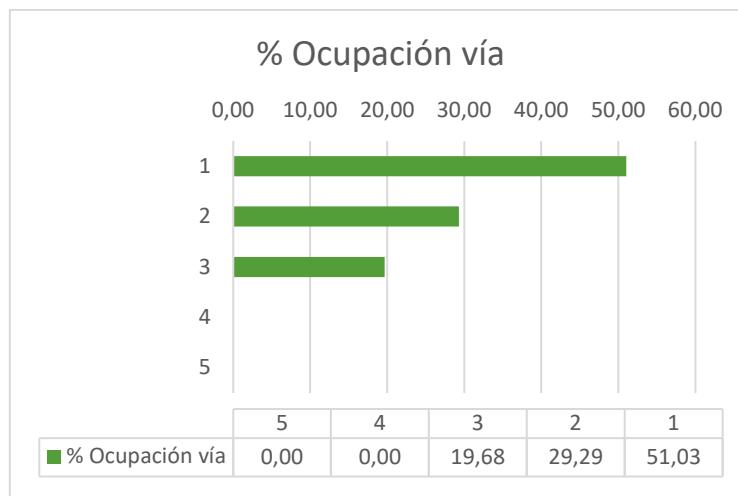


Gráfico 2 Porcentaje de utilización de cada vía en la situación actual

En cuanto al número de contenedores descargados por cada equipo, Tabla 10, se puede ver que se reparten de una manera más o menos equitativa entre las grúas reach stacker con un 32% de utilización y la grúa pórtico un poco por encima con en torno al 35%.

Equipo de manutención	Núm. contenedores cargados	Núm. contenedores descargados	Número total contenedores	% Utilización
Grúa pórtico	300	346	646	35,89
Grúa reach stacker 1	343	240	583	32,39
Grúa reach stacker 2	329	242	571	31,72
Total	972	828	1800	100

Tabla 10 Número de contenedores cargados y descargados por equipo de manutención en la situación actual

Para el cálculo del porcentaje de ocupación de cada equipo de manutención hay que comparar el tiempo de máximo teórico de trabajo con el tiempo de trabajo de cada equipo. Como la terminal abre 24h los siete días a la semana el tiempo máximo teórico será:

$$7\text{días} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 60 \frac{\text{minutos}}{\text{hora}} = 10080 \text{ min}$$

Equipo de manutención	T carga [min]	T descarga [min]	T total [min]	% Ocupación	T medio [min]
Grúa pórtico	2071	2382	4453	44,18	6,89
Grúa reach stacker 1	2329	1602	3931	39,00	6,74
Grúa reach stacker 2	2274	1599	3873	38,42	6,78

Tabla 11 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación actual

Con estos resultados se puede comprobar que el equipo más ocupado es la grúa pórtico, con una ocupación de en torno al 44%, ya que tiene que operar los trenes que estacionan en la vía 3 y además apoyar a las grúas reach stacker con los trenes de las vías 1 y 2. Las grúas reach stacker se sitúan en torno al 39% de ocupación cada una de ellas.

Con respecto a los tiempos medios de descarga de contenedor se puede ver que los tiempos de las grúas reach stacker están un poco por debajo de la grúa pórtico, aun teniendo que realizar un mayor acarreo con los contenedores que tienen que llevar a la zona de almacenaje.

12.1.2 Ampliación a tres grúas reach stacker

Si se realiza la ampliación a tres grúas reach stacker los resultados son los siguientes.

Tiempo total de carga [min]	Tiempo total de descarga [min]	Tiempo total de operación [min]
3393	2406	5799

Tabla 12 Tiempos de operación situación actual con tres grúas RS

Tiempo total de operación [min]	Tiempo máximo teórico [min]	Utilización actual (%)
5799	50400	11,51

Tabla 13 Porcentaje de utilización de la terminal en la situación actual con tres grúas RS

La utilización de la terminal disminuye ya que baja el tiempo total de operación al haber más equipos de manutención disponibles. El análisis por vía del número de trenes y de la duración media de las operaciones se puede ver a continuación.

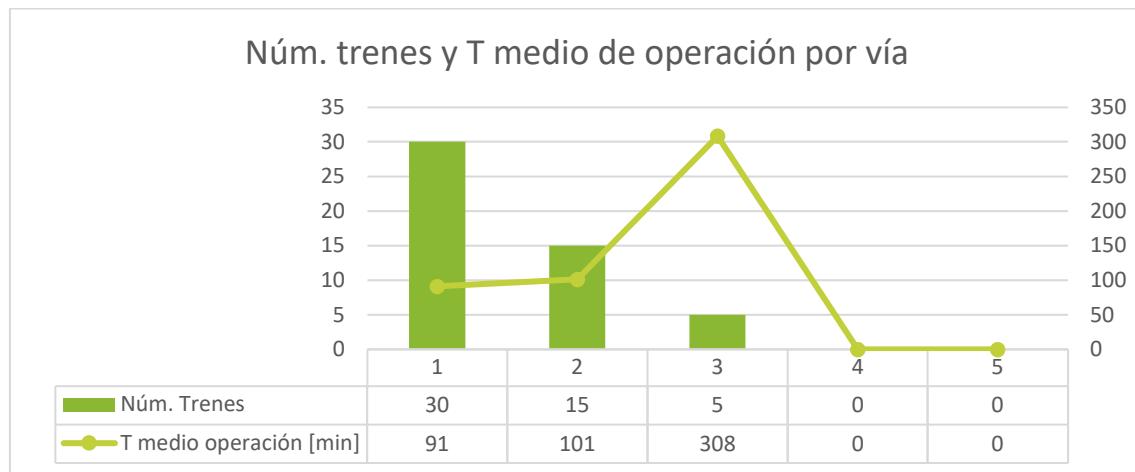


Gráfico 3 Número de trenes y tiempo medio de operación por vía en la situación actual con tres grúas RS

Comparándolo con el escenario anterior se puede ver que los tiempos medios de operación disminuyen, pero aumenta una operación en la vía 3 que es la más costosa temporalmente hablando. A pesar de este motivo, el tiempo medio en la vía 3 es menor ya que la grúa pórtico tiene una mayor disponibilidad para operar sobre estos trenes.

Vía	Tiempo carga [min]	Tiempo descarga [min]	Tiempo total [min]
1	1775	961	2736
2	663	858	1521
3	955	587	1542
4	0	0	0
5	0	0	0
Total	3393	2406	5799

Tabla 14 Tiempos de carga y descarga por vía en la situación actual con tres grúas RS

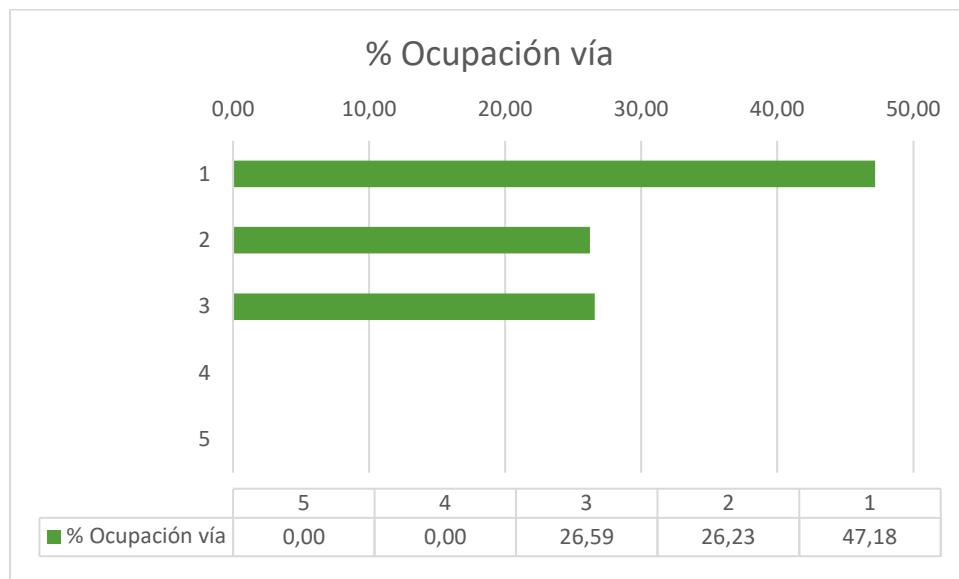


Gráfico 4 Porcentaje de utilización de cada vía en la situación actual con tres grúas RS

Se puede ver que la ocupación de la vía 1, la más rápida en cuanto a operaciones, es menor y que aumenta la ocupación en la vía 3. El aumento del tiempo al haber una operación más en la vía 3 se compensa con operaciones mucho más rápidas en las vías 1 y 2 por lo que al final el tiempo de operación disminuye con respecto al anterior caso.

Equipo de manutención	Núm. contenedores cargados	Núm. contenedores descargados	Número total contenedores	% Utilización
Grúa pórtico	276	284	560	31,11
Grúa reach stacker 1	239	181	420	23,33
Grúa reach stacker 2	224	184	408	22,67
Grúa reach stacker 3	233	179	412	22,89
Total	972	828	1800	100

Tabla 15 Número de contenedores cargados y descargados por equipo de manutención en la situación actual con tres grúas RS

Teniendo en cuenta la distribución por equipos de manutención se puede observar que el porcentaje de utilización de los equipos disminuye ya que los contenedores se distribuyen entre todos los equipos. Sigue con un mayor porcentaje la grúa pórtico al encargarse por completo de las operaciones en la vía 3.

Equipo de manutención	T carga [min]	T descarga [min]	T total [min]	% Ocupación	T medio [min]
Grúa pórtico	1924	1952	3876	38,45	6,92
Grúa reach stacker 1	1751	1298	3049	30,25	7,26
Grúa reach stacker 2	1710	1279	2989	29,65	7,33
Grúa reach stacker 3	1710	1272	2982	29,58	7,24

Tabla 16 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación actual con tres grúas RS

Con respecto a los tiempos cabe destacar que al incluir una grúa reach stacker adicional el tiempo medio aumenta, esto puede ser debido a que el espacio de la terminal es limitado. Los movimientos están condicionados por las grúas circundantes y al haber una más las operaciones con las grúas reach stacker son más lentas. También cabe destacar que solo pueden entrar de uno en uno los camiones en la terminal por lo que al utilizar este medio las grúas pueden tener que esperar a que finalice la operación actual para cargar o descargar su mercancía.

12.1.3 Ampliación a cuatro grúas reach stacker

El siguiente escenario es la incorporación de dos grúas reach stacker adicionales a la situación actual.

Tiempo total de carga [min]	Tiempo total de descarga [min]	Tiempo total de operación [min]
2628	2064	4692

Tabla 17 Tiempos de operación situación actual cuatro grúas RS

Tiempo total de operación [min]	Tiempo máximo teórico [min]	Utilización actual (%)
4692	50400	9,31

Tabla 18 Porcentaje de utilización de la terminal en la situación actual con cuatro grúas RS

La utilización de la terminal vuelve a disminuir por el mismo motivo, baja el tiempo total de operación al haber más equipos de manutención disponibles. El análisis por vía del número de trenes y de la duración media de las operaciones es el siguiente.

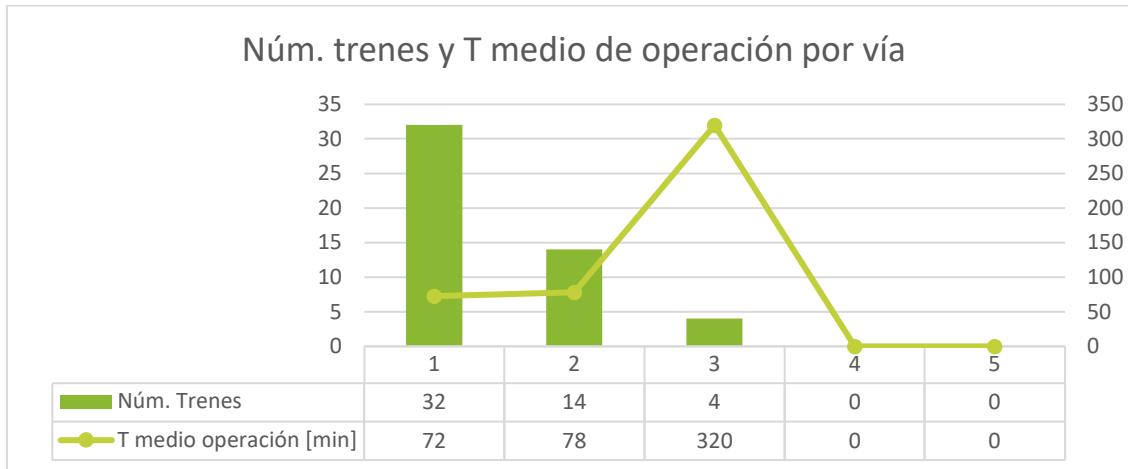


Gráfico 5 Número de trenes y tiempo medio de operación por vía en la situación actual con tres grúas RS

Los tiempos de operación siguen disminuyendo y además se realizan dos operaciones más en la vía 1 reduciendo en una las operaciones en la vía 3. Por el contrario, el tiempo medio de operación en la vía 3 no disminuye, sino que aumenta con respecto al caso anterior.

Vía	Tiempo carga [min]	Tiempo descarga [min]	Tiempo total [min]
1	1430	888	2318
2	479	616	1095
3	719	560	1279
4	0	0	0
5	0	0	0
Total	2628	2064	4692

Tabla 19 Tiempos de carga y descarga por vía en la situación actual con cuatro grúas RS

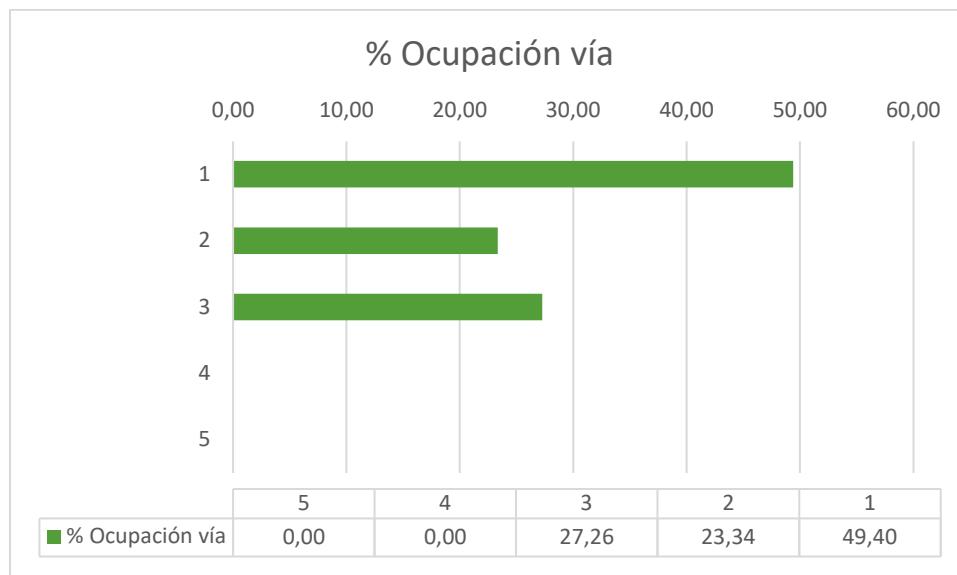


Gráfico 6 Porcentaje de utilización de cada vía en la situación actual con cuatro grúas RS

De manera similar al caso anterior casi el 50% de las operaciones se realizan en la vía 1 quedando el resto entre la vía 2 y la vía 3.

Equipo de manutención	Núm. contenedores cargados	Núm. contenedores descargados	Número total contenedores	% Utilización
Grúa pórtico	232	239	471	26,17
Grúa reach stacker 1	191	146	337	18,72
Grúa reach stacker 2	178	144	322	17,89
Grúa reach stacker 3	186	149	335	18,61
Grúa reach stacker 4	185	150	335	18,61
Total	972	828	1800	100

Tabla 20 Número de contenedores cargados y descargados por equipo de manutención en la situación actual con cuatro grúas RS

Equipo de manutención	T carga [min]	T descarga [min]	T total [min]	% Ocupación	T medio [min]
Grúa pórtico	1655	1686	3341	33,14	7,09
Grúa reach stacker 1	1471	1123	2594	25,73	7,70
Grúa reach stacker 2	1462	1051	2513	24,93	7,80
Grúa reach stacker 3	1469	1116	2585	25,64	7,72
Grúa reach stacker 4	1495	1091	2586	25,65	7,72

Tabla 21 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación actual con cuatro grúas RS

Con respecto a los equipos de manutención se sigue la misma tendencia de descenso del porcentaje de utilización al distribuirse el mismo número de contenedores entre un equipo más. También aumenta el tiempo medio de operación por los mismos posibles motivos señalados en el caso anterior.

12.2 Trenes de contenedores y dos trenes de autopista ferroviaria diarios

12.2.1 Equipos de manutención actuales

En este escenario han aumentado las operaciones de 50 a 64 semanales. Los resultados completos se pueden encontrar en los anexos. Con estos resultados se calcula el tiempo total de operación de los trenes para los procesos de carga y de descarga, en este escenario hay que tener en cuenta las operaciones de contenedores y además las de semirremolques.

Tiempo total de carga [min]	Tiempo total de descarga [min]	Tiempo total de operación [min]
9803	4754	14557

Tabla 22 Tiempos de operación en la situación de ampliación

Tiempo total de operación [min]	Tiempo máximo teórico [min]	Utilización actual (%)
14557	50400	28,88

Tabla 23 Porcentaje de utilización de la terminal en la situación de ampliación

Como se puede observar y era esperable la utilización de la terminal se amplía del 14% a casi el 30% al incluir las 14 operaciones de trenes de autopista ferroviaria. Estas operaciones con

semirremolques son más costosas que las de contenedores ya que solamente las pueden llevar a cabo las grúas reach stacker y se realizan siempre con origen o destino de los semirremolques el camión, que solo pueden entrar de uno en uno en la terminal.

El análisis por vía del número de trenes y de la duración media de las operaciones se puede ver a continuación. Las operaciones de la vía 1 se han diferenciado entre trenes de contenedores y semirremolques para poder realizar un mejor análisis.

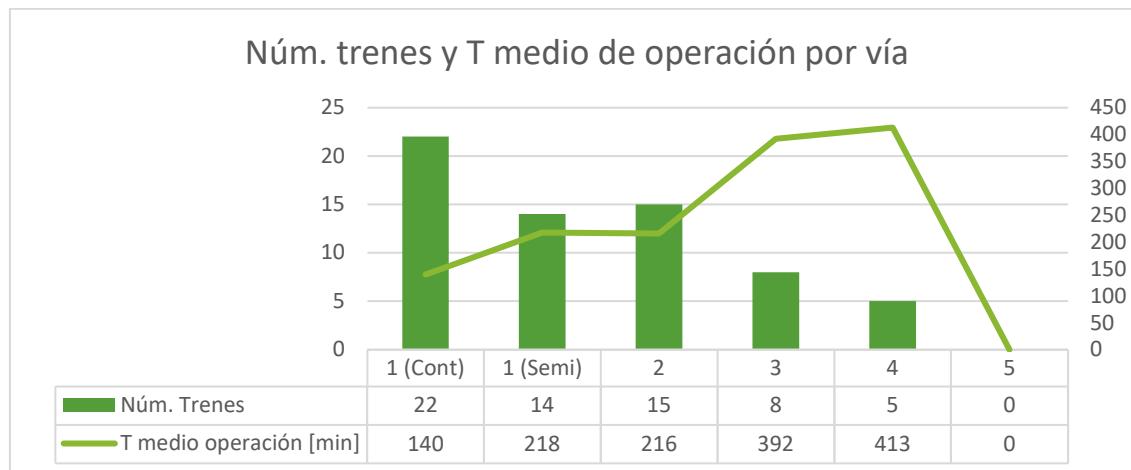


Gráfico 7 Número de trenes y tiempo medio de operación por vía en la situación de ampliación

Al aumentar las operaciones en la vía 1, los trenes de autopista ferroviaria solo se pueden operar en la vía 1, el resto de las vías reciben un mayor número de operaciones. Se realizan operaciones incluso en la vía 4.

El tiempo medio también aumenta ya que las grúas reach stacker tienen que descargar los trenes de autopista ferroviaria sin ayuda de la grúa pórtico y como se puede observar cuanto más lejos de la vía 1 más tiempo medio se invierte en las operaciones.

Tal y como era previsto el tiempo medio de operaciones de los trenes de autopista ferroviaria es mayor al de contenedores ya que el tiempo de operación de cada semirremolque es mayor que el del contenedor.

Vía	Tipo Mercancía	Tiempo carga [min]	Tiempo descarga [min]	Tiempo total [min]
1 (Cont)	CONTENEDOR	1965	1111	3076
1 (Semi)	SEMIRREMOLQUE	1837	1209	3046
2	CONTENEDOR	2316	917	3233
3	CONTENEDOR	2235	902	3137
4	CONTENEDOR	1450	615	2065
5	CONTENEDOR	0	0	0
Total		9803	4754	14557

Tabla 24 Tiempos de carga y descarga por vía en la situación de ampliación

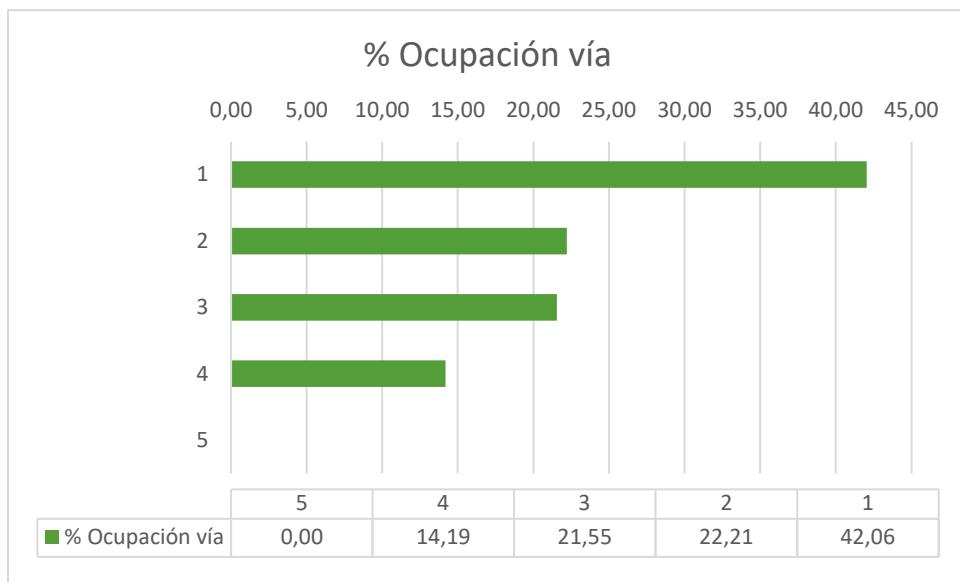


Gráfico 8 Porcentaje de utilización de cada vía en la situación de ampliación

La ocupación como se puede observar es menor en porcentaje en la vía 1 a pesar del aumento de las operaciones debido a que hay un mayor número de operaciones en la vías 3 y 4 que son las más costosas. La ocupación de la vía 2 se mantiene prácticamente constante.

Equipo de manutención	Núm. contenedores cargados	Núm. contenedores descargados	Número total contenedores	% Utilización contenedores
Grúa pórtico	387	412	799	44,39
Grúa reach stacker 1	300	207	507	28,17
Grúa reach stacker 2	285	209	494	27,44
Total	972	828	1800	100,00

Tabla 25 Número de contenedores cargados y descargados por equipo de manutención en la situación de ampliación

Equipo de manutención	Núm. semirrem. cargados	Núm. semirrem. descargados	Número total semirrem.	% Utilización semirrem.
Grúa pórtico	0	0	0	0,00
Grúa reach stacker 1	128	126	254	50,40
Grúa reach stacker 2	124	126	250	49,60
Total	252	252	504	100,00

Tabla 26 Número de semirremolques cargados y descargados por equipo de manutención en la situación de ampliación

Atendiendo al porcentaje de utilización se ve que en torno al 45% de los contenedores se operan con la grúa pórtico. Se produce un ligero aumento respecto al escenario actual. Si que se puede observar que disminuye ligeramente la utilización de las grúas reach stacker para las operaciones de contenedores.

Se trata de un descenso bastante ligero ya que la carga de trabajo aumenta en gran medida al tener que descargar en torno a 250 semirremolques cada grúa reach stacker. Esto hará que el porcentaje de utilización aumentara como se podrá ver más adelante.

Equipo de manutención	T carga cont. [min]	T descarga cont. [min]	T total cont. [min]	T medio [min]
Grúa pórtico	2825	2909	5734	7,18
Grúa reach stacker 1	2042	1390	3432	6,77
Grúa reach stacker 2	1966	1382	3348	6,78

Tabla 27 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación de ampliación

Equipo de manutención	T carga sem. [min]	T descarga sem. [min]	T total sem. [min]	T medio [min]
Grúa pórtico	0	0	0	0
Grúa reach stacker 1	1157	1146	2303	9,07
Grúa reach stacker 2	1137	1121	2258	9,03

Tabla 28 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación de ampliación

El tiempo medio de descarga de los semirremolques es de tres minutos superior de media a los contenedores. Este sería mayor si solo se tuviera en cuenta la operación de carga y descarga, pero el acarreo de los contenedores a la zona de almacenaje contrarresta el mayor tiempo de carga y descarga de los contenedores.

Equipo de manutención	T total cont. [min]	T total sem. [min]	% Ocupación
Grúa pórtico	5734	0	56,88
Grúa reach stacker 1	3432	2303	56,89
Grúa reach stacker 2	3348	2258	55,62

Tabla 29 Tiempo de carga y descarga de semirremolques por equipo de manutención en la situación de ampliación

Atendiendo a la ocupación se puede ver que la grúa pórtico aumenta en torno al 20% al tener que operar un mayor número de mercancías en las vías 3 y 4. La ocupación de las grúas reach stacker aumenta más de un 25% en ambos casos situándose en torno al 56%.

12.2.2 Ampliación a tres grúas reach stacker

Si se aumenta una grúa reach stacker en la situación de ampliación se obtiene un porcentaje de utilización del 20,63% menor que el 28,88% del caso de ampliación, pero superior al 14,24% de la situación actual.

13. Tiempo total de carga [min]	Tiempo total de descarga [min]	Tiempo total de operación [min]
7117	3281	10398

Tabla 30 Tiempos de operación en la situación de ampliación con tres grúas RS

Tiempo total de operación [min]	Tiempo máximo teórico [min]	Utilización actual (%)
10398	50400	20,63

Tabla 31 Porcentaje de utilización de la terminal en la situación de ampliación con tres grúas RS

Esta disminución del porcentaje se fundamenta como en el caso actual con 3 grúas reach stacker en un mayor número de operaciones en las vías 1 y 2 al ser las operaciones más rápidas con una grúa más como se puede ver en el análisis por vía del número de trenes y del tiempo medio.

Como se puede ver en el Gráfico 9 aumentan en 3 las operaciones de trenes de contenedores en la vía 1 disminuyendo en las vías 3 y 4 en dos y una operación respectivamente. También es posible ver que los tiempos medios disminuyen en todas las vías y sobre todo en la primera y la segunda tanto para contenedores como para semirremolques.

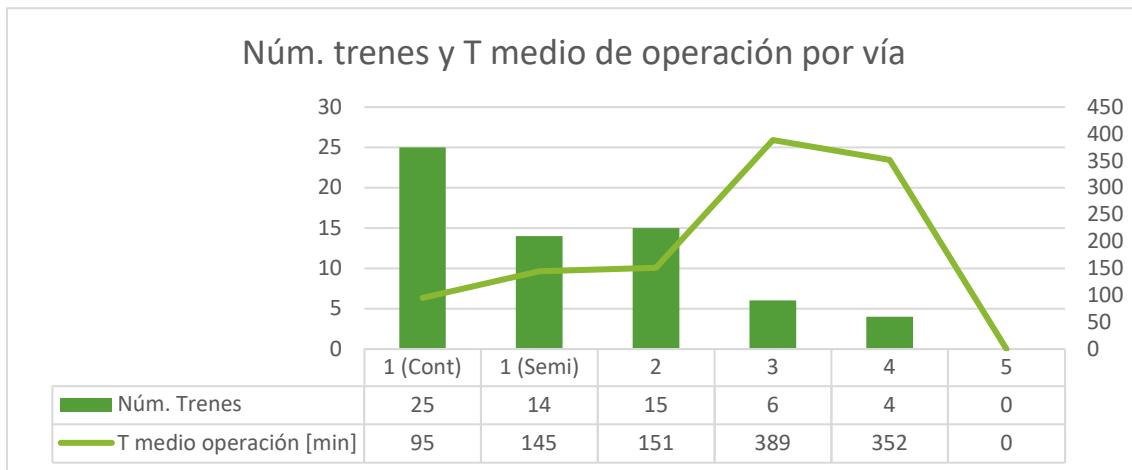


Gráfico 9 Número de trenes y tiempo medio de operación por vía en la situación de ampliación con tres grúas RS

Vía	Tipo Mercancía	Tiempo carga [min]	Tiempo descarga [min]	Tiempo total [min]
1 (Cont)	CONTENEDOR	1334	1039	2373
1 (Semi)	SEMIRREMOLQUE	1128	895	2023
2	CONTENEDOR	1484	779	2263
3	CONTENEDOR	2333	0	2333
4	CONTENEDOR	838	568	1406
5	CONTENEDOR	0	0	0
Total		7117	3281	10398

Tabla 32 Tiempos de carga y descarga por vía en la situación de ampliación con tres grúas RS

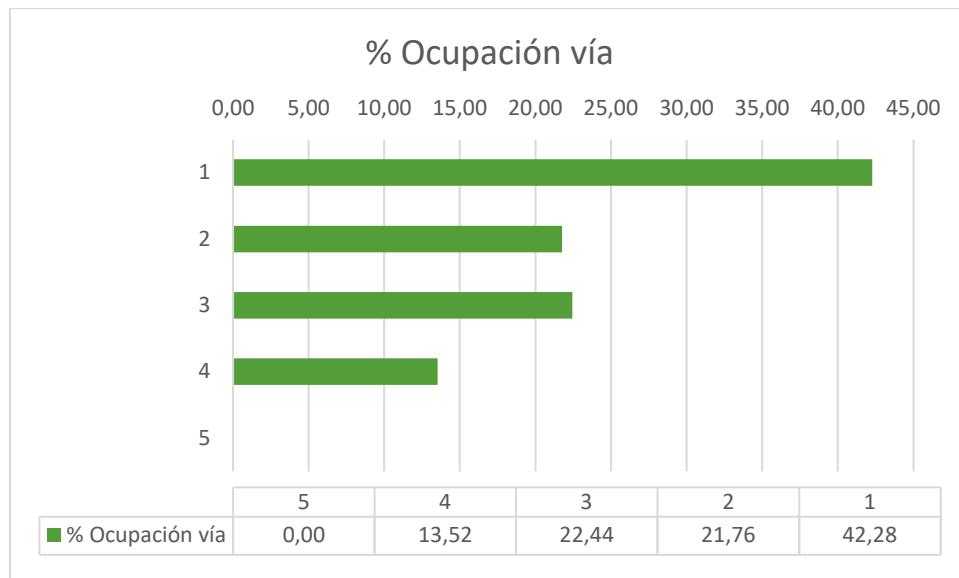


Gráfico 10 Porcentaje de utilización de cada vía en la situación de ampliación con tres grúas RS

Analizando el porcentaje de ocupación por vía se puede ver que la ocupación en porcentaje permanece constante. Esto se debe a que el tiempo total de las operaciones disminuye del mismo modo en todas las vías al reducirse el tiempo medio de operación como se ha podido ver en el Gráfico 9. Esta reducción homogénea se consigue al operar la grúa un menor número de operaciones en las vías 3 y 4 y al existir una grúa reach stacker adicional.

Equipo de manutención	N.º contenedores cargados	N.º contenedores descargados	N.º total contenedores	% Utilización contenedores
Grúa pórtico	397	276	673	37,39
Grúa reach stacker 1	197	181	378	21,00
Grúa reach stacker 2	187	188	375	20,83
Grúa reach stacker 3	191	183	374	20,78
Total	972	828	1800	100,00

Tabla 33 Número de contenedores cargados y descargados por equipo de manutención en la situación de ampliación con tres grúas RS

Equipo de manutención	N.º semirrem. cargados	N.º semirrem. descargados	N.º total semirrem.	% Utilización semirrem.
Grúa pórtico	0	0	0	0,00
Grúa reach stacker 1	85	84	169	33,53
Grúa reach stacker 2	83	84	167	33,13
Grúa reach stacker 3	84	84	168	33,33
Total	252	252	504	100,00

Tabla 34 Número de semirremolques cargados y descargados por equipo de manutención en la situación de ampliación con tres grúas RS

Con respecto a los porcentajes de utilización para los semirremolques se puede ver que se dividen de manera equitativa entre las 3 grúas reach stacker con en torno al 33%. Si se observa los porcentajes de utilización de los contenedores, también disminuyen en todos los equipos al incluir una grúa adicional que permite a la grúa pórtico realizar un menor número de operaciones.

Equipo de manutención	T carga cont. [min]	T descarga cont. [min]	T total cont. [min]	T medio [min]
Grúa pórtico	2953	1903	4856	7,22
Grúa reach stacker 1	1415	1281	2696	7,13
Grúa reach stacker 2	1371	1295	2666	7,11
Grúa reach stacker 3	1361	1282	2643	7,07

Tabla 35 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación de ampliación con tres grúas RS

Equipo de manutención	T carga sem. [min]	T descarga sem. [min]	T total sem. [min]	T medio [min]
Grúa pórtico	0	0	0	0
Grúa reach stacker 1	901	815	1716	10,15
Grúa reach stacker 2	891	799	1690	10,12
Grúa reach stacker 3	909	829	1738	10,35

Tabla 36 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación de ampliación con tres grúas RS

Observando los tiempos medio se puede ver que estos aumentan como en los casos del escenario actual por los mismos motivos ahí planteados.

Equipo de manutención	T total cont. [min]	T total sem. [min]	% Ocupación
Grúa pórtico	4856	0	48,17
Grúa reach stacker 1	2696	1716	43,77
Grúa reach stacker 2	2666	1690	43,21
Grúa reach stacker 3	2643	1738	43,46

Tabla 37 Tiempo de carga y descarga de semirremolques por equipo de manutención en la situación de ampliación con tres grúas RS

El porcentaje de ocupación de los equipos como se puede ver en la Tabla 37 se sitúa en torno al 43% para las grúas reach stacker y en el 48% para la grúa pórtico. Estos porcentajes son menores lógicamente a la situación de ampliación con dos grúas reach stacker, pero permanecen por encima de la utilización de la situación actual.

13.1.1 Ampliación a cuatro grúas reach stacker

Si se añade dos grúas adicionales a la situación de ampliación la utilización disminuye aún más situándose en el 16,16% cerca del 14,14 de la situación actual.

14. Tiempo total de carga [min]	Tiempo total de descarga [min]	Tiempo total de operación [min]
5283	2861	8144

Tabla 38 Tiempos de operación en la situación de ampliación con cuatro grúas RS

Tiempo total de operación [min]	Tiempo máximo teórico [min]	Utilización actual (%)
8144	50400	16,16

Tabla 39 Porcentaje de utilización de la terminal en la situación de ampliación con cuatro grúas RS

En cuanto al análisis por vía se observa que la disminución solo se produce en la vía 4 con dos operaciones que pasan a la vía 2. Disminuyen como en los anteriores casos los tiempos medios de operación en todas las vías excepto en la 4 donde aumenta.

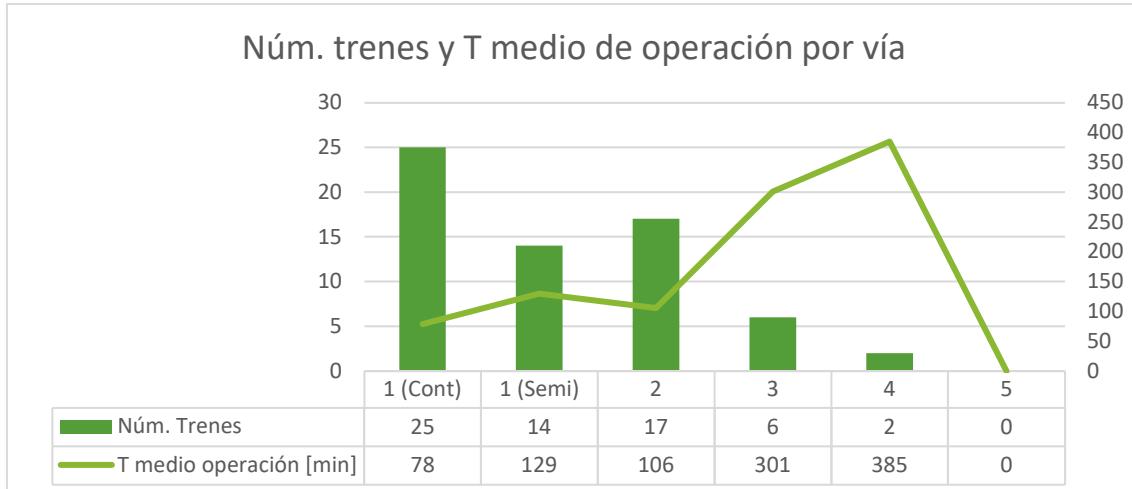


Gráfico 11 Número de trenes y tiempo medio de operación por vía en la situación de ampliación con cuatro grúas RS

Vía	Tipo Mercancía	Tiempo carga [min]	Tiempo descarga [min]	Tiempo total [min]
1 (Cont)	CONTENEDOR	1061	901	1962
1 (Semi)	SEMIRREMOLQUE	1021	791	1812
2	CONTENEDOR	1184	611	1795
3	CONTENEDOR	1247	558	1805
4	CONTENEDOR	770	0	770
5	CONTENEDOR	0	0	0
Total		5283	2861	8144

Tabla 40 Tiempos de carga y descarga por vía en la situación de ampliación con cuatro grúas RS

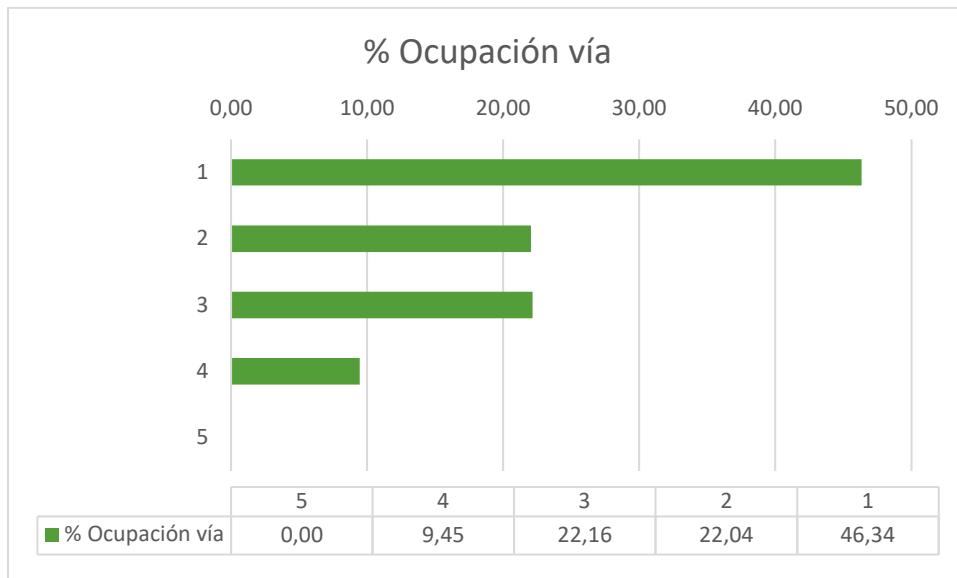


Gráfico 12 Porcentaje de utilización de cada vía en la situación de ampliación con cuatro grúas RS

Atendiendo a la Tabla 40 se ve que disminuyen los tiempos totales de operación en todas las vías. Atendiendo a los porcentajes, el tiempo total disminuye de una manera muy importante en la vía 4 lo que se puede ver en el Gráfico 12 teniendo algo más de relevancia las operaciones en las vías 1 y 2.

Equipo de manutención	Núm. contenedores cargados	Núm. contenedores descargados	Número total contenedores	% Utilización contenedores
Grúa pórtico	335	233	568	31,56
Grúa reach stacker 1	159	146	305	16,94
Grúa reach stacker 2	149	149	298	16,56
Grúa reach stacker 3	172	150	322	17,89
Grúa reach stacker 4	157	150	307	17,06
Total	972	828	1800	100,00

Tabla 41 Número de contenedores cargados y descargados por equipo de manutención en la situación de ampliación con cuatro grúas RS

Equipo de manutención	Núm. sem. cargados	Núm. sem. descargados	Número total sem.	% Utilización sem.
Grúa pórtico	0	0	0	0,00
Grúa reach stacker 1	63	63	126	25,00
Grúa reach stacker 2	61	63	124	24,60
Grúa reach stacker 3	67	63	130	25,79
Grúa reach stacker 4	61	63	124	24,60
Total	252	252	504	100,00

Tabla 42 Número de semirremolques cargados y descargados por equipo de manutención en la situación de ampliación con cuatro grúas RS

Con respecto a los porcentajes de utilización siguen la misma dinámica que en el caso anterior. Las grúas reach stacker se dividen los semirremolques de manera homogénea y la utilización para los contenedores también disminuye en todos los equipos.

Equipo de manutención	T carga cont. [min]	T descarga cont. [min]	T total cont. [min]	T medio [min]
Grúa pórtico	2438	1667	4105	7,23
Grúa reach stacker 1	1241	1127	2368	7,76
Grúa reach stacker 2	1212	1085	2297	7,71
Grúa reach stacker 3	1284	1104	2388	7,42
Grúa reach stacker 4	1278	1076	2354	7,67

Tabla 43 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación de ampliación con cuatro grúas RS

Equipo de manutención	T carga sem. [min]	T descarga sem. [min]	T total sem. [min]	T medio [min]
Grúa pórtico	7,23	0	0	0
Grúa reach stacker 1	7,76	789	715	11,94
Grúa reach stacker 2	7,71	789	701	12,02
Grúa reach stacker 3	7,42	825	710	11,81
Grúa reach stacker 4	7,67	789	709	12,08

Tabla 44 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación de ampliación con cuatro grúas RS

Los tiempos medios también crecen debido al mayor número de equipos circulando en la terminal y la limitación de un solo camión simultáneamente dentro de la terminal.

Equipo de manutención	T total cont. [min]	T total sem. [min]	% Ocupación
Grúa pórtico	4105	0	40,72
Grúa reach stacker 1	2368	1504	38,41
Grúa reach stacker 2	2297	1490	37,57
Grúa reach stacker 3	2388	1535	38,92
Grúa reach stacker 4	2354	1498	38,21

Tabla 45 Tiempo de carga y descarga de semirremolques por equipo de manutención en la situación de ampliación con cuatro grúas RS

Analizando los porcentajes de ocupación se puede ver que con respecto al caso anterior vuelven a disminuir al distribuirse entre un mayor número de equipos. Se quedan los de las grúas reach stacker en torno al 38% y la grúa pórtico en torno al 41%. Mas cercanos a la situación actual pero aun superiores.

15. Conclusiones

En el escenario actual, la terminal se encuentra en un porcentaje de utilización del 14,24% sobre el máximo teórico de utilización de la terminal. Este bajo porcentaje de utilización se debe a la programación de las operaciones. Viendo el plan de transporte se puede observar que la terminal no se está utilizando plenamente tanto en el horario nocturno como los fines de semana.

Los tiempos medios de carga y descarga de contenedores se sitúan en torno a las 2 horas para la vía 1 y 2 horas 20 min para la vía 2. La vía 3 tiene un tiempo medio muy superior de en torno a las 6 horas. Esto es debido a la actuación de los equipos de manutención ya que la grúa pórtico puede operar todas las vías, pero las grúas reach stacker solo las vías 1 y 2.

Los equipos de manutención se sitúan en un porcentaje de ocupación del 44% para la grúa pórtico y del 39% para las grúas reach stacker sobre el tiempo de apertura de la terminal.

Si se introduce una grúa adicional el porcentaje de utilización de la terminal baja al 11,51% ya que el tiempo de operación total se reduce. El tiempo medio de operación también se reduce pasando a 1 hora 30 minutos para la vía 1, 1 hora 40 minutos para la vía 2 y 5 horas 10 minutos para la vía 3. Esta reducción se debe a la grúa reach stacker adicional ya que se realizan operaciones más rápidas y permite a la grúa pórtico operar un mayor tiempo sobre la vía 3. Con respecto a los porcentajes de ocupación de los equipos de manutención estos bajan al 38% para la grúa pórtico y al 30% para las grúas reach stacker.

Si se introducen dos grúas adicionales el porcentaje de utilización de la terminal baja aún más hasta el 9,31%. El tiempo medio de operación también se reduce para las vías 1 y 2, pasando a 1 hora y 15 minutos aproximadamente. Sin embargo, para la vía 3 el tiempo no se reduce, sino que aumenta hasta las 5 horas y 20 minutos. Los porcentajes de ocupación de los equipos de manutención disminuyen al 33% para la grúa pórtico y al 26% para las grúas reach stacker.

Analizando ambos casos se puede ver que al introducir una grúa reach stacker adicional se produce una mejora sustancial reduciéndose en torno a 30 minutos el tiempo medio de operación para las vías 1 y 2 y de 50 minutos para la vía 3. Con una segunda grúa adicional el tiempo solo se reduce en 15 minutos para las vías 1 y 2 pero aumenta para la vía 3. Por lo que tendría sentido la introducción de una grúa adicional si económica mente fuera viable.

En el escenario de ampliación, con dos trenes diarios de autopista ferroviaria, la utilización de la terminal sube al 28,88%. También suben los tiempos medios de operación, ya que los trenes de autopista ferroviaria solo pueden operarse desde la vía 1. En la vía 1, el tiempo medio de operación pasa a 2 horas y 20 minutos para contenedores y 3 horas y 40 minutos para semirremolques. En la vía 2 pasa a 3 horas y 40 minutos. Para la vía 3 y 4, 6 horas y 36 minutos y 7 horas respectivamente.

Los porcentajes de ocupación de las grúas suben al 57% para la grúa pórtico, y al 57% y 56% para las grúas reach stacker.

Si se introduce una grúa reach stacker adicional en el escenario de ampliación, el porcentaje de utilización de la terminal desciende al 20,63%. Los tiempos de operación también se reducen para todas las vías. Para la vía 1 se reduce en 45 minutos, pasando a 1 hora y 35 minutos en trenes de contenedores. En trenes de semirremolques se reduce en 1 hora y 13 minutos pasando a 2 horas y 25 minutos. Para la vía 2 se reduce en 1 hora aproximadamente pasando a 2 horas y



30 minutos. Para la vía 3 prácticamente no se reduce. Sí que lo hace para la vía 4, pasando a las 6 horas y 40 minutos.

Los porcentajes de ocupación de las grúas se reducen al 48% para la grúa pórtico y al 43% para las grúas reach stacker. Estos porcentajes se sitúan un poco por encima de los de la situación actual.

Introduciendo dos grúas adicionales, el porcentaje de utilización vuelve a disminuir al 16,16% cercano al 14,14% actual. Los tiempos medios de utilización se reducen para las dos primeras vías en unos 15 minutos para los contenedores y semirremolques de la vía 1 y en 45 minutos para la vía 2. Para la vía 3 casi se reduce en 1 hora y 30 minutos, pero para la vía 4 aumenta en 30 minutos.

Los porcentajes de los equipos de manutención disminuyen a 41% para la grúa pórtico y a 38% para las grúas reach stacker.

Analizando los dos casos, con una y dos grúas adicionales para el caso de ampliación. Se puede ver que la mejora sustancial se produce al introducir la tercera grúa reach stacker. Con ello se disminuye en gran medida el tiempo medio de operación y los porcentajes de ocupación son ligeramente superiores a los del caso actual. En el caso de las dos grúas adicionales la reducción de tiempos no es tan sustancial como para introducir el equipo adicional. Este análisis se ha realizado en cuanto a tiempos de operación, pero debería ser contrastado con un análisis económico de viabilidad para realizar la inversión.

16. Futura línea de trabajo

Las futuras líneas de trabajo que aparecen para el modelo son muy diversas y diferentes.

Por un lado, está el cálculo de la capacidad con un mayor número de trenes de autopista ferroviaria para ver la utilización de la terminal una vez este servicio crezca. También aparece otra línea de trabajo que es la inclusión de más de un camión simultáneamente en la terminal.

Por otro lado, la mejora del modelo incluyendo procesos de carga y descarga parciales de trenes donde no todos los vagones se cargan o descargan. También la inclusión y el análisis del aparcamiento de camiones que esperan descargar o cargar mercancía o del almacén de contenedores dentro de la terminal modelando el apilado y la distribución.

17. Fuentes de información

- [1] MITMA, “La aportación del transporte por carretera a la intermodalidad.”
- [2] E. J. Conles Barrera and M. Rodríguez Bugarín, “RECOMENDACIONES, METODOLOGÍAS Y ESTÁNDARES PARA EL DISEÑO TÉCNICO DE TERMINALES FERROPORTUARIAS,” 2006.
- [3] ADIF, “Centro Logístico Zaragoza Plaza,” 2005.
- [4] Anylogic, “MULTIMETHOD SIMULATION MODELING FOR BUSINESS APPLICATIONS.”
- [5] Konecranes, “Rail mounted gantry crane specifications.”
- [6] Liebherr, “Reachstacker LRS 545-31 Intermodal.”

18. Índices

18.1 Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Ejemplo de distribución de una terminal intermodal	7
Ilustración 2 Red transeuropea de transporte en España	10
Ilustración 3 Emplazamiento del centro logístico Zaragoza Plaza en Zaragoza.....	10
Ilustración 4 Esquemas de las vías del centro logístico Zaragoza Plaza.....	11
Ilustración 5 Imagen aérea de la zona de carga y descarga del centro logístico Zaragoza Plaza	12
Ilustración 6 Grúa reach stacker	12
Ilustración 7 Grúa Pórtico	12
Ilustración 8 Parámetros de una vía férrea.....	15
Ilustración 9 Vías férreas para carga y descarga	16
Ilustración 10 Desvíos para las cinco vías de carga y descarga.....	16
Ilustración 11 Playa de intercambio de contenedores zonificada	16
Ilustración 12 Zona de almacenaje de contenedores dividida.....	16
Ilustración 13 Ruta de circulación para los camiones dentro de la terminal con los puntos de carga y descarga	17
Ilustración 14 Ampliación de uno de los puntos de carga y descarga para camiones.....	17
Ilustración 15 Almacenes virtuales para la clasificación de los trenes	17
Ilustración 16 Almacenes virtuales para la clasificación de la mercancía.....	17
Ilustración 17 Imagen aérea de la grúa pórtico	18
Ilustración 18 Representación 3D de la grúa pórtico descargando un contenedor	18
Ilustración 19 Bloque de programación TransporterFleet.....	19
Ilustración 20 Parámetros de las grúas reach stacker.....	19
Ilustración 21 Gráfico informativo de las infraestructuras del modelo de la terminal.....	20
Ilustración 22 Representación 3D de una locomotora	22
Ilustración 23 Representación 2D de una locomotora	22
Ilustración 24 Representación 3D de un vagón cargado con un semirremolque	22
Ilustración 25 Representación 2D de un vagón cargado con un semirremolque	22
Ilustración 26 Representación 3D de un vagón cargado con un contenedor	22
Ilustración 27 Representación 2D de un vagón cargado con un contenedor	22
Ilustración 28 Representación 3D de un vagón vacío	22
Ilustración 29 Representación 2D de un vagón vacío	22
Ilustración 30 Representación 3D de un contenedor	23
Ilustración 31 Representación 2D de un contenedor	23
Ilustración 32 Representación 3D de un semirremolque	23
Ilustración 33 Representación 2D de un semirremolque	23
Ilustración 34 Representación 3D de un camión vacío	24
Ilustración 35 Representación 2D de un camión vacío	24
Ilustración 36 Representación 3D de un camión cargado con un semirremolque	24
Ilustración 37 Representación 2D de un camión cargado con un semirremolque	24
Ilustración 38 Representación 3D de un camión cargado con un contenedor	24
Ilustración 39 Representación 2D de un camión cargado con un contenedor	24
Ilustración 40 Representación 3D de una grúa reach stacker	25
Ilustración 41 Representación 2D de una grúa reach stacker	25
Ilustración 42 Representación 3D de una grúa reach stacker cargada con un contenedor	25
Ilustración 43 Representación 2D de una grúa reach stacker cargada con un contenedor	25
Ilustración 44 Representación 3D de una grúa reach stacker cargada con un semirremolque	25



Ilustración 45 Representación 2D de una grúa reach stacker cargada con un semirremolque	25
Ilustración 46 Lógica del modelado de la carga y descarga del flujo ferroviario	28
Ilustración 47 Bloque de programación TrainSource	29
Ilustración 48 Bloque Schedule	29
Ilustración 49 Parámetros del bloque Schedule	29
Ilustración 50 Parámetros bloque trainSource	30
Ilustración 51 Bloque de programación FreeTracks	30
Ilustración 52 Bloque de programación TrainEntering	30
Ilustración 53 Bloque de programación timeMeasureStart	31
Ilustración 54 Bloque de programación timeMeasureEnd	31
Ilustración 55 Bloque de programación TrainEnter	31
Ilustración 56 Bloque de programación Switch	31
Ilustración 57 Bloque de programación InSwitch	31
Ilustración 58 Bloque de programación ExSwitch	31
Ilustración 59 Bloque de programación trainMoveTo	32
Ilustración 60 Vector TracksCollection	32
Ilustración 61 Propiedades del vector TracksCollection	32
Ilustración 62 Bloque de programación Split	32
Ilustración 63 Orden de carga o descarga para la mercancía	33
Ilustración 64 Propiedades del bloque Split para el proceso de carga	34
Ilustración 65 Propiedades del bloque Split para el proceso de descarga	34
Ilustración 66 Bloque de programación ExitLoad	35
Ilustración 67 Propiedades del bloque de programación ExitLoad para la descarga	35
Ilustración 68 Bloque de programación Queue	35
Ilustración 69 Bloque de programación EnterLoaded y bucle de activación de cargas	35
Ilustración 70 Bloque de programación delay	36
Ilustración 71 Bloques de programación ExSwitch y ReleaseTrack	36
Ilustración 72 Bloque de programación Split	36
Ilustración 73 Bloque de programación UnloadedTrainsWarehouse	36
Ilustración 74 Bloque de programación LoadedTrainsWarehouse	36
Ilustración 75 Bloque de programación trainDispose	36
Ilustración 76 Lógica del modelado de la descarga del flujo de la mercancía	39
Ilustración 77 Lógica del modelado de la carga del flujo de la mercancía	40
Ilustración 78 Bloque de programación Enter	41
Ilustración 79 Bucle de distribución para contenedores en vía 1 y 2	41
Ilustración 80 Bloque de programación selectOutput	41
Ilustración 81 Bucle de distribución para contenedores en vías 3, 4 y 5	42
Ilustración 82 Bucle de distribución para semirremolques	42
Ilustración 83 Bloque de programación timeMeasureStart	42
Ilustración 84 Bloque de programación timeMeasureEnd	42
Ilustración 85 Bloques de programación Split y Sink	43
Ilustración 86 Código de la función CalcDropoffLoading	43
Ilustración 87 Código de la función CalcWarehouseLoading	43
Ilustración 88 Bloque de programación moveByCrane	44
Ilustración 89 Bloque de programación moveByTransporter	44
Ilustración 90 Lógica de los agentes Truck para el proceso de carga	45
Ilustración 91 Bloque de programación Source	45
Ilustración 92 Bloques de programación WaitForTrailer y TruckLoading	45



Ilustración 93 Bloque de programación MoveToLoading	45
Ilustración 94 Bloque de programación Sink	46
Ilustración 95 Bloques de programación Split y ExitLoaded del proceso de carga.....	46
Ilustración 96 Almacenes virtuales representados en el modelo físico.....	46
Ilustración 97 Bloque de programación UnloadedContainersWarehouse	47
Ilustración 98 Bloque de programación UnloadedTrailersWarehouse.....	47
Ilustración 99 Bloque de programación LoadedContainersWarehouse	47
Ilustración 100 Bloque de programación LoadedTrailersWarehouse.....	47
Ilustración 101 Bloque de programación sacaDatos y conexión con fichero Excel	47
Ilustración 102 Código de programación del bloque sacaDatos.....	48
Ilustración 103 Hoja Excel donde se exportan los datos de los agentes Load.....	49
Ilustración 104 Hoja Excel donde se exportan los datos de los agentes Train	49

18.2 Índice de tablas

Tabla 1 Dimensiones de la grúa pórtico [3]	18
Tabla 2 Velocidades de la grúa pórtico [5].....	18
Tabla 3 Parámetros grúas reach stacker [6].....	19
Tabla 4 Tiempos de carga y descarga para cada tipo de grúa	44
Tabla 5 Plan de transporte actual	50
Tabla 6 Plan de transporte con la ampliación de AF	51
Tabla 7 Tiempos de operación situación actual.....	52
Tabla 8 Porcentaje de utilización de la terminal en la situación actual	52
Tabla 9 Tiempos de carga y descarga por vía en la situación actual.....	53
Tabla 10 Número de contenedores cargados y descargados por equipo de manutención en la situación actual	54
Tabla 11 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación actual	54
Tabla 12 Tiempos de operación situación actual con tres grúas RS	54
Tabla 13 Porcentaje de utilización de la terminal en la situación actual con tres grúas RS	54
Tabla 14 Tiempos de carga y descarga por vía en la situación actual con tres grúas RS	55
Tabla 15 Número de contenedores cargados y descargados por equipo de manutención en la situación actual con tres grúas RS.....	56
Tabla 16 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación actual con tres grúas RS.....	56
Tabla 17 Tiempos de operación situación actual cuatro grúas RS.....	56
Tabla 18 Porcentaje de utilización de la terminal en la situación actual con cuatro grúas RS ...	56
Tabla 19 Tiempos de carga y descarga por vía en la situación actual con cuatro grúas RS.....	57
Tabla 20 Número de contenedores cargados y descargados por equipo de manutención en la situación actual con cuatro grúas RS	58
Tabla 21 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación actual con cuatro grúas RS	58
Tabla 22 Tiempos de operación en la situación de ampliación	58
Tabla 23 Porcentaje de utilización de la terminal en la situación de ampliación	58
Tabla 24 Tiempos de carga y descarga por vía en la situación de ampliación.....	59
Tabla 25 Número de contenedores cargados y descargados por equipo de manutención en la situación de ampliación	60

Tabla 26 Número de semirremolques cargados y descargados por equipo de manutención en la situación de ampliación.....	60
Tabla 27 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación de ampliación	61
Tabla 28 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación de ampliación	61
Tabla 29 Tiempo de carga y descarga de semirremolques por equipo de manutención en la situación de ampliación	61
Tabla 30 Tiempos de operación en la situación de ampliación con tres grúas RS.....	61
Tabla 31 Porcentaje de utilización de la terminal en la situación de ampliación con tres grúas RS.....	61
Tabla 32 Tiempos de carga y descarga por vía en la situación de ampliación con tres grúas RS62	
Tabla 33 Número de contenedores cargados y descargados por equipo de manutención en la situación de ampliación con tres grúas RS.....	63
Tabla 34 Número de semirremolques cargados y descargados por equipo de manutención en la situación de ampliación con tres grúas RS	63
Tabla 35 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación de ampliación con tres grúas RS.....	63
Tabla 36 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación de ampliación con tres grúas RS.....	63
Tabla 37 Tiempo de carga y descarga de semirremolques por equipo de manutención en la situación de ampliación con tres grúas RS.....	64
Tabla 38 Tiempos de operación en la situación de ampliación con cuatro grúas RS.....	64
Tabla 39 Porcentaje de utilización de la terminal en la situación de ampliación con cuatro grúas RS.....	64
Tabla 40 Tiempos de carga y descarga por vía en la situación de ampliación con cuatro grúas RS	65
Tabla 41 Número de contenedores cargados y descargados por equipo de manutención en la situación de ampliación con cuatro grúas RS.....	65
Tabla 42 Número de semirremolques cargados y descargados por equipo de manutención en la situación de ampliación con cuatro grúas RS.....	66
Tabla 43 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación de ampliación con cuatro grúas RS.....	66
Tabla 44 Tiempo de carga y descarga de contenedores por equipo de manutención en la situación de ampliación con cuatro grúas RS.....	66
Tabla 45 Tiempo de carga y descarga de semirremolques por equipo de manutención en la situación de ampliación con cuatro grúas RS.....	66

18.3 Índice de diagramas

Diagrama 1 Modelado del proceso de carga y descarga	26
Diagrama 2 Modelado del proceso de carga del flujo ferroviario	27
Diagrama 3 Modelado del proceso de carga del flujo ferroviario	27
Diagrama 4 Modelado del proceso de descarga del flujo de la mercancía	37
Diagrama 5 Modelado del proceso de carga del flujo de la mercancía	38

18.4 Índice de gráficos

Gráfico 1 Número de trenes y tiempo medio de operación por vía en la situación actual	53
Gráfico 2 Porcentaje de utilización de cada vía en la situación actual	53
Gráfico 3 Número de trenes y tiempo medio de operación por vía en la situación actual con tres grúas RS.....	55
Gráfico 4 Porcentaje de utilización de cada vía en la situación actual con tres grúas RS.....	55
Gráfico 5 Número de trenes y tiempo medio de operación por vía en la situación actual con tres grúas RS.....	57
Gráfico 6 Porcentaje de utilización de cada vía en la situación actual con cuatro grúas RS.....	57
Gráfico 7 Número de trenes y tiempo medio de operación por vía en la situación de ampliación	59
Gráfico 8 Porcentaje de utilización de cada vía en la situación de ampliación.....	60
Gráfico 9 Número de trenes y tiempo medio de operación por vía en la situación de ampliación con tres grúas RS.....	62
Gráfico 10 Porcentaje de utilización de cada vía en la situación de ampliación con tres grúas RS	62
Gráfico 11 Número de trenes y tiempo medio de operación por vía en la situación de ampliación con cuatro grúas RS	64
Gráfico 12 Porcentaje de utilización de cada vía en la situación de ampliación con cuatro grúas RS.....	65