



TÍTULO

**ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD ÓPTIMA DE UNA TERMINAL DE
CONTENEDORES INTERMODAL EN SEVILLA**

AUTORA

Sonia Valdivieso Rodríguez

Tutor Esta edición electrónica ha sido realizada en 2024
Dr. D. Jesús Muñuzuri Sanz

Instituciones Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad de Cádiz ;
Universidad de Sevilla

Curso *Máster Universitario en Logística y Gestión de Operaciones (2022/23)*

© Sonia Valdivieso Rodríguez

© De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía

Fecha documento 2023



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD OPTIMA DE UNA TERMINAL DE CONTENEDORES INTERMODAL EN SEVILLA

Apellidos, Nombre: Valdivieso Rodríguez, Sonia

Máster Universitario en Logística y Gestión de Operaciones

Universidad Internacional de Andalucía, Universidad de Cádiz y Universidad de Sevilla

Keywords

Capacity
Berthing length
Container yard
Limiting subsystem

Capacidad
Longitud de atraque
Patio de contenedores
Subsistema limitante

Abstract

Today the transport of goods have a great importance worldwide, this movement of goods requires intermodal transport. However, the spaces available in strategic areas are increasingly insufficient. Knowing the optimal capacity available to carry out these jobs provides opportunities for growth and opens the doors to new studies.

The terminal under study is located in an area with an important nearby population center, and which brings maritime traffic closer to the interior of the peninsula. From this study we deduce its current optimum capacity in order to observe its growth possibilities

Resumen

Hoy en día el transporte de mercancías tiene gran importancia a nivel mundial, este traslado de mercancías requiere intercambios de modos de transporte. Sin embargo, los espacios disponibles en las zonas estratégicas son cada vez más insuficientes. Conocer la capacidad óptima de que se dispone para realizar estos trabajos aporta oportunidades de crecimiento y abre las puertas a nuevos estudios.

La terminal objeto de estudio está ubicada en una zona con un núcleo poblacional cercano importante, y que acerca el tráfico marítimo al interior de la península. De este estudio deducimos su capacidad optima actual para poder observar sus posibilidades de crecimiento.

Índice de contenido:

1. Introducción	3
1.1. Evolución del transporte marítimo.....	3
1.2. Justificación del tema elegido	3
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.4. Objetivos que se pretenden conseguir.....	3
2. Contextualización	4
2.1. Proceso de transferencia de mercancía	4
2.2. Indicadores	6
2.3. Análisis de la capacidad.....	7
3. Metodología usada.....	8
4. Desarrollo del trabajo.....	8
4.1. Requisitos	8
4.2. Metodología	8
5. Conclusiones.....	15
6. Bibliografía:	16

Índice de imágenes:

Imagen nº 1: Esquema gráfico de una terminal de contenedores. (Fuente: Estrada, 2007)	4
Imagen nº 2: Tipos de grúas para la carga y descarga de contenedores: grúas móviles, grúas sobre buque y grúas pórtico. (distintas fuentes).....	5
Imagen nº 3: Capacidad anual por línea de atraque de un sistema E2/E4/n y espera relativa de 0,05 para atraques de 250 m. Fuente: Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores (2011)	12
Imagen nº 4: Plano esquemático de distribución de contenedores en el patio de la terminal. Fuente: Elaboración propia	13

Índice de Tablas:

Tabla nº 1: Recomendación UNCTAD 1985 para la formación de colas. Fuente (UNCTAD 1985).	10
Tabla nº 2: Extracto de tabla: Recomendaciones para la tasa de ocupación admisible (Φ) en función del número de atraques y del sistema para terminales de contenedores $T_e/T_s=0,05$. Fuente: Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores, 2011, pag 128.....	11
Tabla nº 3: Tipología de atraques y capacidad anual por metro. Fuente: Elaboración Propia. .	11
Tabla nº 4: Datos de tiempo de estancia medios de contenedores. Fuente: Qlik. Aplicación de Big Data, propia de la terminal.....	13
Tabla nº 5: Número de huellas del patio de la terminal. Fuente: Elaboración propia.	14
Tabla nº 6: Porcentaje de huellas de la terminal según reefer, llenos y vacíos. Fuente: Elaboración propia.	14
Tabla nº 7: Capacidad del patio de contenedores. Fuente: Elaboración propia.	14
Tabla nº 8: Datos de transbordo medios. Fuente: Qlik. Aplicación de Big Data, propia de la terminal	14

1. Introducción

1.1. Evolución del transporte marítimo

El contenedor marítimo fue creado por el estadounidense Malcolm McLean en la década de 1950 con el objetivo de simplificar el proceso de envío de carga a través del océano. El proceso de implementación del contenedor fue conocido como la contenerización y permitió la automatización del manejo de la carga unitaria y un aumento sustancial en la productividad del comercio marítimo.

En 1956, Sealand marcó uno de los hitos más importantes de la industria con el zarpe del Ideal-X, desde Nueva Jersey a Houston, transportando 58 contenedores. Este fue el primer trayecto de un buque portacontenedores y marcó lo que sería el futuro de esta industria.

Desde entonces, el uso del contenedor en el transporte marítimo ha revolucionado la industria del transporte de mercancías y ha permitido una mayor eficiencia y seguridad en el transporte de bienes.

1.2. Justificación del tema elegido

La capacidad de una terminal portuaria se refiere al volumen de carga que es capaz de manipular dicha terminal a lo largo de un año. Esta capacidad máxima viene limitada por las infraestructuras portuarias, instalaciones, equipos y recursos humanos existentes en el puerto y a disposición de la terminal.

Conocer la capacidad óptima de una terminal portuaria es importante porque permite planificar y optimizar la gestión de los recursos disponibles para maximizar la eficiencia y minimizar los costos. Además, permite a los operadores portuarios tomar decisiones adecuadas respecto a la inversión en infraestructuras y equipos para mejorar la capacidad de la terminal.

La capacidad óptima de una terminal portuaria depende de varios factores, como el tamaño de la línea de atraque, tamaño de la explanada de almacenamiento, el tipo de carga que se maneja, la disponibilidad de mano de obra y equipos, y las condiciones climáticas.

Por este motivo, conocer la capacidad óptima de una terminal portuaria es fundamental para garantizar una gestión eficiente y rentable del puerto y para la toma de decisiones sobre inversiones en infraestructuras y equipos.

1.3. Planteamiento del problema

Como se ha referido anteriormente, conocer la capacidad de una terminal portuaria es importante para poder planificar y gestionar el tráfico de mercancías y optimizar los recursos disponibles.

La capacidad de una terminal portuaria puede ser medida en términos físicos o económicos. La medición física se refiere al volumen máximo de carga que puede manipular una terminal portuaria en un año. La medición económica se refiere al valor monetario máximo de carga que puede manipular una terminal portuaria en un año.

Conocer la capacidad de una terminal portuaria es importante para poder planificar y gestionar el tráfico de mercancías y optimizar los recursos disponibles. La planificación del tráfico de mercancías implica conocer la capacidad disponible en cada terminal portuaria para poder asignar la carga adecuada a cada una. La optimización de los recursos disponibles implica conocer la capacidad disponible en cada terminal portuaria para poder asignar los recursos adecuados a cada una.

1.4. Objetivos que se pretenden conseguir

Con este estudio se pretende evaluar la capacidad optima que posee una terminal portuaria determinada a través de un análisis de los condicionantes actuales. El conocimiento de este dato sirve como base del desarrollo de nuevos proyectos que se realicen en la terminal de modo que se incremente su operatividad y por lo tanto su beneficio.

2. Contextualización

2.1. Proceso de transferencia de mercancía

Las terminales de contenedores marítimos de carga general presentan diferentes características entre sí, prestando diferencias principalmente en su morfología, el grado de automatización de que disponen y su especialización.

En el caso de estudio se trata de una terminal intermodal donde las entradas y salidas de mercancías se producen por distintos medios, ya sea camión, ferrocarril o barco, produciendo un intercambio en el modo de transporte del contenedor. Entendiendo por una terminal de contenedores como un espacio de almacén de contenedores organizado. La organización de los huecos se realiza por medio de calles, pilas, andanas, y altura. Cuando llega un contenedor a la terminal se le asigna una posición, así como los equipos de trabajo para su manipulación y que pueda estar colocado en la posición adecuada. Esta debe seguir criterios de eficiencia y optimización del espacio.

Para transferir las mercancías de un buque a una terminal se utiliza un modelo operacional en tres fases principales:

- Descarga o carga de mercancías del buque
- Almacenamiento en terminal
- Entrega o recepción de mercancías.

Estas fases según Estrada, J.L. (2007) las clasifica como subsistemas y añade un cuarto subsistema de interconexión interna.

“El subsistema de carga y descarga resuelve la interfaz tierra-buque. El subsistema de almacenamiento, tal como su nombre indica, está dedicado al depósito temporal de los contenedores. El tercer subsistema corresponde a la recepción y entrega donde se produce la entrada o salida de la terminal del contenedor por vía terrestre, bien por ferrocarril bien por carretera y las puertas. Finalmente, el subsistema de interconexión interna resuelve los movimientos horizontales necesarios para conectar los tres anteriores subsistemas.”

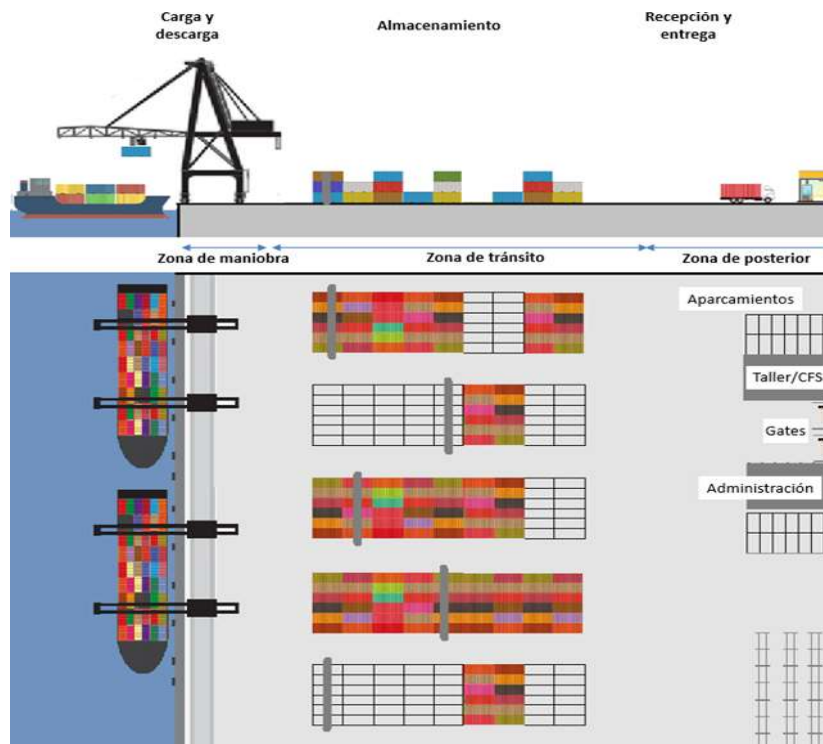


Imagen nº1: Esquema gráfico de una terminal de contenedores. (Fuente: Estrada, J.L., 2007)

Como características de estas fases o subsistemas operacionales se distingue:

2.1.1. Fase 1ª. La Carga o descarga de mercancías del buque:

Esta fase el buque se encuentra en el muelle y distinguimos dos tipos de operaciones. La primera relativa al atraque y desatraque del buque y la segunda relativa a las operaciones realizadas de carga y descarga de. La eficiencia de este proceso dependerá de: el número de puestos de atraque en el muelle, los equipos de que se disponga para el manejo de la mercancía (ver Figura 1) y de la organización de las operaciones.

Las horas que permanece el buque atracado en el puerto comprenden el tiempo que transcurre desde que el buque atraca en puerto hasta su desatraque. Distinguimos en este periodo las horas en las que el buque es atendido por los equipos necesarios para la carga y descarga de mercancía. La diferencia entre las horas en operación y el tiempo atracado representa las demoras que pueden asociarse al tiempo que tarda la operativa en colocar la grúa o la falta de disponibilidad de estas.

Durante el tiempo que está operando la grúa también pueden producirse demoras, pudiendo ser estas imputables a la gestión de la terminal las cuales pueden ser corregidas y otras no imputables a la misma, por lo que no pueden ser evitadas. La principal demora que se produce en un puerto de interior como el de Sevilla se produce por la influencia de las mareas para tener el calado necesario en la entrada y salida del buque a puerto, lo cual no es imputable a la operativa de la terminal.

En esta operación la elección del tipo de grúa que va a operar en la terminal es fundamental, distinguiéndose tres tipos de grúas para la carga y descarga de contenedores: grúas móviles, grúas sobre buque y grúas pórtico.



Grúas móviles

Grúas sobre buques

Grúas pórtico

Imagen nº 2: tipos de grúas para la carga y descarga de contenedores: grúas móviles, grúas sobre buque y grúas pórtico (diversas fuentes).

Dentro de esta variabilidad, las grúas pórtico portacontenedores del tipo STS (Ship To Shore), son las más usadas donde hay un gran número de movimientos de contenedores, ya que estas permiten un mayor número de operaciones por intervalo de tiempo y permiten depositar el contenedor en los equipos adecuados para poder desplazarlo por la terminal hacia la zona de almacenaje. Son grúas sobre raíles paralelos al cantil de muelle, pudiéndose desplazar para realizar operaciones en las distintas bodegas del buque, maximizando el número de equipos para un mismo buque además de contar con la ventaja de que mejora la visión del operador para la maniobrabilidad y por lo tanto su eficacia.

2.1.2. 2ª Fase, Almacenamiento

Esta fase de la operativa está dedicada al depósito temporal de contenedores. Es la fase que más espacio precisa por los desfases y los ritmos de operación de los modos de transporte (marítimo y terrestre) que operan en la terminal, las necesidades de los distintos cargadores y las características de las distintas mercancías entre otras razones.

La disposición en planta de los contenedores en el patio trata de aprovechar al máximo la superficie para aumentar la capacidad del patio en condiciones de eficiencia y seguridad. Los contenedores pueden estar orientados paralelo o perpendicular al cantil del muelle, en este caso se orienta en paralelo por eficiencia según el método de trabajo utilizado.

Los contenedores generalmente se disponen en zonas, en función de distintos criterios: exportación, importación, tránsito, vacíos, reefer, carga y descarga de ferrocarril, buques, dimensiones especiales, ubicación de peligrosos, etc. El objetivo de esta organización en diferentes zonas es minimizar, en la medida de lo posible, las remociones, que disminuyen la productividad de la terminal.

El tamaño de los bloques, tanto en altura como en anchura, influyen en la capacidad del patio o explanada, que irá de la mano de las características de los equipos empleados en esta fase para el transporte y ubicación de los contenedores.

En esta fase los indicadores operativos son: tiempo de estancia del contenedor; geometría de la zona, operatividad y posibles demoras en la misma (ver figura 1 anterior)

2.1.3. 3ª Fase, recepción y entrega de mercancías.

En la fase de entrada o salida de los contenedores estos pasan a estar dentro de los flujos de exportación o importación, respectivamente. Aquí es donde se produce un cambio de modo de transporte, resolviendo la interfaz terrestre, a través del camión o el ferrocarril, que a su vez está compuesto por dos tipos de operaciones. De una parte, las de acceso o salida de la terminal, a través del control de acceso terrestre, y de otra parte las de recepción y entrega de los contenedores, donde se carga o descarga del transporte externo de la terminal. En este proceso se identifican los vehículos y contenedores y se verifica todo el proceso documental a seguir para poder acceder o salir de las instalaciones. Se consideran variables el tiempo de espera del contenedor en la aduana, el tiempo de ejecución de las formalidades aduaneras y las causas de demoras de los trámites aduaneros.

2.1.4 Fase de interconexión

Esta fase o subsistema podría estar englobado dentro de los anteriores puesto que aquí se encarga del traslado de los contenedores entre las fases anteriores. El tipo de patio y los equipos disponibles determina el tiempo que se emplea en realizar los traslados bien entre zonas de entrega y recepción terrestres al patio de contenedores, como del muelle al patio o viceversa, así como otras necesidades que pudieran surgir como son las inspecciones, reparaciones o remociones. Generalmente estos traslados se realizan con los equipos de patio, disponiendo para ello carretillas reachstackers.

2.2. Indicadores

Como hemos visto, tenemos una serie de parámetros o indicadores de desempeño que condicionan la funcionalidad de la operativa portuaria. Estos parámetros nos permiten identificar los elementos que distorsionan el análisis de la capacidad portuaria:

Analizando las causas de demora en esta primera fase tenemos las imputables a la terminal y las que no. Las imputables a la terminal tienen que ver con la preparación de maniobras, los turnos de estibadores, máquinas para el movimiento de contenedores de la terminal, sus fallos o manejo. Entre los factores externos tenemos problemas en apertura y cierre de bodegas del buque, fallos en equipos del buque (grúas, tapas de escotillas o entrepuentes), conflictos laborales, trámites administrativos, inspecciones, fondeos y enmiendas, días festivos, fallos o faltas en los equipos de transporte o capacidad de acceso al canal del muelle, por mareas o por el paso por la esclusa.

Los indicadores de la segunda fase son: tiempo de estancia del contenedor; geometría de la zona, operatividad y posibles demoras en la misma.

Se consideran variables de la tercera fase el tiempo de espera del contenedor en la aduana, el tiempo de ejecución de las formalidades aduaneras y las causas de demoras de los trámites aduaneros.

Y para la cuarta fase el objeto de este estudio se considerarán los siguientes indicadores: la disponibilidad de equipos para la carga y el transporte, la frecuencia de arribo del transporte al área de almacenamiento, el tiempo de espera del contenedor en el área de almacenamiento.

2.3. Análisis de la capacidad

Para poder realizar el análisis de la capacidad es imprescindible determinar cuáles son los factores desempeño que se relacionan con las distintas actividades que se realizan en el puerto, como son los relacionados con infraestructuras portuarias, instalaciones, equipos y recursos humanos existentes en el puerto y a disposición de la terminal.

En concreto los **cuatro factores** que influyen en la capacidad de la terminal son:

- La capacidad de las líneas de atraque.
- La capacidad de carga y descarga.
- La capacidad de depósito y almacenamiento.
- La capacidad de las puertas de entrada y salida de la terminal.

Cada uno de estos factores limitará la capacidad de la terminal en diferente medida, siendo uno de ellos el limitante al ser el de menor capacidad

1. Capacidad de las líneas de atraque.

Por capacidad de líneas de atraque se entiende el máximo número de buques que la terminal tiene capacidad de atender a lo largo de un año. Esta capacidad es la consecución de:

- **Características técnicas**, influirán las dimensiones de los buques y las características de la línea de atraque (eslora media, carga de los buques, longitud y número de amarres, etc)
- **Características operativas**, refiriéndose estas a si las llegadas de buques al puerto son aleatorias o regulares, la gestión del propio atraque o el tiempo de espera de maniobras y tiempo de operaciones.

2. Capacidad de carga y descarga.

Refiriéndonos al volumen máximo de mercancías que la terminal es capaz de cargar y descargar a lo largo de un año. Esta capacidad está limitada por características técnicas entendiendo por tales, la maquinaria usada y los recursos humanos, y las características operativas, determinadas a su vez por los rendimientos de productividad de los equipos mecánicos y recursos humanos.

3. Capacidad de depósito y almacenamiento del patio de contenedores.

Se trata de conocer cuál es la capacidad del patio a través del volumen máximo de mercancía capaz de depositarse y almacenarse en el interior del mismo a lo largo de un año. La capacidad de almacenamiento depende de:

- **Características técnicas**, es decir, el tamaño y apilabilidad de la carga, la superficie destinada a almacenamiento, la disposición en planta de la mercancía.
- **Características operativas** asociadas a los rendimientos de la gestión de la carga almacenada y tiempo de estancia de la carga dentro de la terminal, así como a los equipos y recursos humanos necesarios para su manipulación.

4. Capacidad de las puertas de entrada y salida de la terminal.

Viene establecida por el volumen máximo de carga capaz de moverse a través de los puntos de interconexión con los distintos **modos de transporte terrestres** a lo largo de un año. Esta capacidad depende de las características técnicas de dichos modos (carretera, ferrocarril, tubería, etc) y de los **rendimientos** de los mismos, determinando estos rendimientos los mecanismos de transferencia de mercancías y de información.

Por lo tanto, debe haber un **equilibrio entre estos cuatro factores, debiendo estar cada uno de ellos dimensionados correctamente** de acuerdo a las necesidades de la terminal y la carga de los buques a los que da servicio.

Hay que tener que estos factores impiden establecer un modelo portuario estándar debido a su variabilidad.

3. Metodología usada

La metodología usada para el estudio se divide en cinco fases principales:

Fundamentos: se realiza una introducción sobre el tema, se observa una problemática y se realiza una justificación sobre la necesidad de resolverlo. En este punto también planteamos el objetivo sobre lo que queremos conseguir.

Análisis de la información: Se realiza un análisis de las fuentes de información que disponemos, tal como: medios de transporte, evolución del transporte marítimo, terminales marítimas de contenedores, desarrollo portuario a nivel global y antecedentes de casos de estudio sobre la capacidad portuaria. Todos estos datos nos servirán como referencia para nuestro estudio.

Contexto: se analizan los procesos logísticos que se producen en las terminales portuarias, a través de este análisis se deducen los indicadores que determinarán la capacidad portuaria.

Elementos de la metodología propuesta: Se realiza desde el punto de vista del diseño y la operatividad.

Metodología propuesta: Se trata de determinar si el análisis de los resultados y el método elegido para su evaluación dan respuesta al objetivo de estudio.

Finalmente se establecen las conclusiones del trabajo desarrollado, sus limitaciones y prospectiva.

4. Desarrollo del trabajo

4.1. Requisitos

Se evalúa la capacidad óptima de la terminal portuaria a través de las actividades que constituyen las tres maniobras del sistema de transferencia de mercancías, en términos de optimización operacional e infraestructura.

4.2. Metodología

La capacidad de una terminal portuaria puede definirse como el máximo tráfico que puede dar servicio un escenario definido. Se propone una metodología analítica, al ser una terminal ya construida, tal cual indica el "Manual de Capacidad Portuaria: Aplicación a Terminales de Contenedores" (Monfort, Aguilar, Vieira, Monterdem Obrer, Calduch, Martín y Sapiña, 2011) de la Fundación Valenciaport.

Al tratarse de una terminal de interior, presenta ciertos factores limitantes como un calado para buques pequeño de unos seis metros más márgenes y adecuado a este calado una longitud de atraque pequeña.

Esto nos va a delimitar condiciones límites de capacidad referidas a aspectos:

Optimización económica de las instalaciones

Saturación de estas

Mínimo admisible de calidad de servicio percibida por los clientes (compañías navieras, transportistas terrestres y cargadores).

A la hora de referirnos a la calidad del servicio la clasificamos con el nivel de servicio, en el que influye el coste de la escala en concepto de tasas y tarifas y el tiempo de escala que pasa el buque en puerto siendo mejor cuanto menor sea este. En este último punto el tiempo de escala no sólo depende de la operativa sino también de las posibilidades de entrada y salida del puerto por las mareas, por lo que se convierte en una operativa muy programada y estable.

Para definir el nivel de satisfacción respecto el tiempo de escala el aspecto más importante sería el volumen de mercancía manipulada por unidad de tiempo en puerto dando la siguiente ratio:

$$\frac{T_p}{Q}$$

Donde T_p es el tiempo de estancia del buque en puerto

Y Q es la cantidad de mercancías a mover por escala en puerto.

T_p se desglosa en 3 componentes:

$$T_p = T_e + T_m + T_s$$

T_e : Tiempo de espera fondeado que por congestión tiene que esperar a ser atendido

T_m : Tiempo de maniobra desde la posición de fondeo hasta el atraque

T_s : Tiempo de servicio o tiempo que el buque está atracado

El tiempo de maniobra depende de las condiciones de operación del puerto por lo que debe de minimizarse, así, despejando de la fórmula anterior tenemos que:

$$\frac{T_p}{Q} = \frac{T_s}{Q} \left(1 + \frac{T_e}{T_s} \right)$$

La calidad del servicio está asociado a la expresión espera relativa ε que viene definida por:

$$\varepsilon = \frac{T_e}{T_s}$$

Observando q T_s/Q es la inversa de la productividad del buque atracado la fórmula queda de la siguiente forma:

$$\frac{T_p}{Q} = \frac{1}{P} (1 + \varepsilon)$$

De este modo se obtiene un factor principal que depende de la productividad y otro que amplifica es primero relativo a la congestión de la terminal. La congestión de la terminal para buques es prácticamente nula al ser llegadas muy programadas y dependientes de las mareas, sin embargo, el tiempo de estancia del buque en terminal es muy alto por la misma casuística. Con motivo de la limitación de calado, la productividad tampoco es alta ya que no permite la entrada en puerto de buques de gran calado.

Si lo planteamos desde el punto de vista del usuario terrestre (camión, ferrocarril), la situación es parecida pero más sencillo. El caso del camión se limita a 1 o 2 contenedores por servicio, por lo que los tiempos suman los tiempos de espera y gestión en las puertas de entrada y en el interior de la terminal.

Por otra parte, tenemos el tiempo de estancia de los contenedores en la terminal, o tiempo de almacenaje, se utiliza como índice de calidad de servicio de cargadores (importación, exportación). En este caso este factor aparentemente depende de factores exógenos a la gestión de la terminal, ya que dependería de las tarifas de almacenamiento, y funcionamiento de aduanas e inspección, pasa a ser un aspecto clave desde el punto de vista comercial.

Como hemos visto en el punto 3.3. Análisis de la capacidad de los cuatro factores que intervienen el limitante será el de menos capacidad, siendo estos factores:

- La capacidad de las líneas de atraque.
- La capacidad de carga y descarga.
- La capacidad de depósito y almacenamiento.
- La capacidad de las puertas de entrada y salida de la terminal.

Desde un punto de vista de planificación ni la capacidad de carga y descarga ni la capacidad de las puertas de entrada y salida de la terminal pueden ser factores limitantes de la capacidad de la terminal puesto que son factores planificados y dotados con suficiente equipamiento y capacidad para que esto no ocurra.

Con estas apreciaciones pasamos a estudiar los otros dos factores, capacidad de líneas de atraque y capacidad de depósito y almacenamiento.

Capacidad de líneas de atraque:

Para el cálculo de la capacidad por líneas de atraque deberemos tener en cuenta los siguientes aspectos principales:

Previsión de volumen de mercancía a manipular (demanda) en contenedor, tráfico rodado.

Distribución estadística de las llegadas de los buques y sus características (calado y eslora).

Características de las líneas de atraque (calado y longitud).

Distribución estadística de los tiempos de servicio.

Productividad de los equipos de muelle.

Nivel de calidad del servicio, asociado a la espera relativa.

Tiempo operativo de la terminal al año.

Así la capacidad anual de la línea de atraque sería igual al número de puestos de atraques, por la tasa de ocupación del muelle, por las horas operativas anuales y la productividad horaria media de los buques mientras están atracados.

$$C_{LA} = n * \phi * t_{año} * P$$

Siendo:

C_{LA} : Capacidad anual de la línea de atraque (toneladas, contenedores o TEUS, unidades por año)
 n : número de puestos de atraque, en este caso son 3.

ϕ : Tasa de ocupación admisible, función del número de puestos de atraque, de la caracterización de las llegadas, del tiempo de servicio y de la espera relativa asociada a la calidad del servicio. La tasa de ocupación se puede calcular usando la teoría de colas o a través de simulación. La UNCTAD 1985 proporciona una serie de recomendaciones para estos cálculos aportando una serie de datos orientativos para tratar la formación de colas:

Número de posiciones de atraque	Máxima ocupación portuaria
1	40
2	50
3	55
4	60
5	65
6-10	70

Tabla nº 1: Recomendación de la UNCTAD para la formación de colas (UNCTAD 1985)

$T_{año}$: Horas operativas de la terminal al año. Es función de los días que opera el puerto, las condiciones laborales y meteorológicas.

P : Productividad media anual del buque atracado. Relacionado con el volumen de mercancías a manipular y los tiempos brutos anuales de atraque estimado.

Este resultado es similar al que aparece reflejado en el Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores, en la siguiente tabla.

Nº de atraques (n)	Tasa de ocupación admisible Φ (%)
	$T_e/T_s=0,05$
	$E2/E4/n$

Tabla nº 2: Extracto de: tabla de Recomendaciones para la tasa de ocupación admisible (Φ) en función del número de atraques y del sistema para terminales de contenedores para $T_e/T_s=0,05$. (Manual de capacidad portuaria; aplicación a terminales de contenedores Pag 128)

Por otra parte, basándonos en una interpolación de datos de las tablas obtenidas a partir de Ashar (2009) representadas en la Tesis Doctoral: Arturo MONFORT (2015) "Análisis de los factores determinantes en el cálculo de la capacidad por línea de atraque de una terminal de contenedores: propuesta de niveles de servicio en su concesionamiento, Universitat Politècnica de Valencia, obtengo los siguientes datos:

Tipo de atraque	Buque de diseño	Longitud del puesto de atraque	Puestos de atraque (n)	Longitud LA	Capacidad anual		
					Por puesto de atraque	Terminal	Línea de atraque
					(TEUs)	(TEUs)	(TEUs/m)
Early Containerships	750	243	3	728	325.556	976.667	1.342
Sub Panamax	3.000	250	3	750	350.000	1.050.000	1.400
Panamax	4.500	280	3	840	450.000	1.350.000	1.607

Tabla nº 3: Tipología de atraques y capacidad anual por metro

La capacidad anual por línea de atraque está estudiada referenciando a los metros lineales de atraque y al número de atraques, pero como se puede observar en los datos de la tabla el buque tiene menos capacidad de TEUs que los otros que se han usado como dato para la interpolación de las líneas de atraque. Teniendo en cuenta que la tasa de ocupación admisible (Φ) es igual a 0,53, se calcula el número de TEUs a los que se puede dar servicio por año.

$$\begin{aligned} \text{Capacidad TEUs año proveniente de buque} &= 750 \times 3 \times 0,53 \times 365 \\ &= 425.262,5 \text{ contenedores} \end{aligned}$$

Este dato de capacidad es inferior al anterior, por tanto será limitante respecto de la capacidad por línea de atraque.

Asimismo, dentro del análisis de carga y descarga de buques hay que distinguir la operación de la carga y descarga del buque que depende del número de grúas y de los equipos de interconexión. Para este análisis contamos con el dato de la productividad de la grúa (P) que es de 34 mov/h, lo cual nos indica que tiene un rendimiento óptimo. Siguiendo con el Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores, tenemos una representación gráfica de la relación (P) con la capacidad anual de la línea de atraque para atraques de 250 metros.

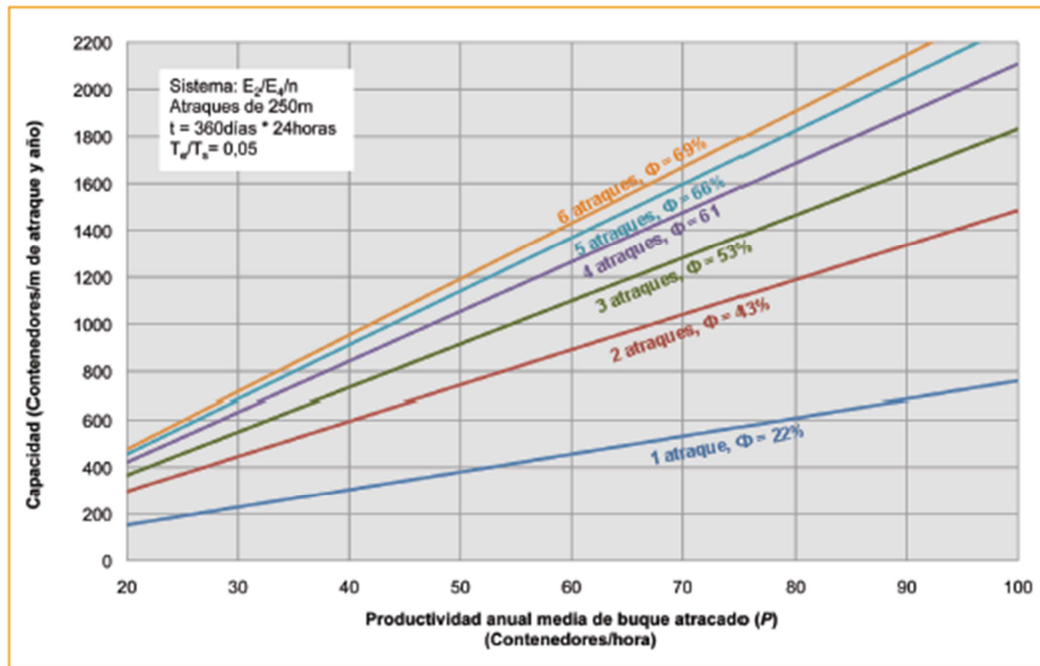


Imagen nº 3. Capacidad anual por línea de atraque de un sistema E₂/E₄/n y espera relativa de 0,05 para atraques de 250 m. Fuente: Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores (2011).

Considerando que para calcular el costo precisamos el tiempo de espera de los buques más el tiempo de servicio, podemos usar la siguiente expresión:

$$C_{e+s} \left[\frac{\text{€}}{\text{año}} \right] = 365 \left[\frac{\text{días}}{\text{año}} \right] * S * \sigma * (1 + F_e) * C_b \left[\frac{\text{€}}{\text{Día}} \right]$$

Siendo los parámetros:

C_{e+s}: Costo del uso de los buques en un año

F_e: Factor de espera en función del tiempo de servicio

C_b: Costo por buques diario

Capacidad de almacenamiento:

El estudio de la capacidad de almacenamiento de un patio de mercancías se puede realizar desde dos perspectivas:

Con un tráfico dado que superficie se precisa para que sea operable

Dada una superficie, cuál es el tráfico máximo que puede atender

Según El Manual de Capacidad Portuaria: Aplicación a Terminales de Contenedores, la capacidad de almacenamiento depende de:

- La forma de presentación de las mercancías
- La densidad superficial y productividad de los sistemas de almacenaje
- Altura de apilado
- Tiempos de estancia de las mercancías en la terminal
- La estacionalidad del tráfico
- Forma y superficie en planta de la terminal
- Gestión de patio referido a los sistemas de operaciones de la terminal

Referidas específicamente estas características a las terminales de contenedores la formula genérica de la capacidad de almacenamiento es:

$$C_p = N^{\circ} \text{ Huellas TEU} \times H \times \frac{365}{T_a} \times K$$

Teniendo que,

- C_p Es la capacidad anual de almacenamiento de la terminal medida en TEUS
- H Altura máxima de apilado o altura nominal del equipo
- T_a Tiempo de estancia medio
- K Factor operacional, minora la altura de almacenamiento para trabajar sin realizar demasiadas remoniciones y que sea más operable
- $365/T_a$ Número medio de rotaciones anuales

A partir de esta fórmula y teniendo en cuenta que por el tipo de servicio que se ofrece a la carta hay una amplia casuística para la colocación de los contenedores en el patio, se trata de simplificar los cálculos. Tomando datos del programa Qlik, aplicación de big data propia de la terminal, analizamos como periodo de referencia las medias del 2022 por ser un año completo y el más próximo a la actualidad, sabiendo que las principales características para la altura de apilado por huella de patio son llenos 3 alturas, vacíos 4 alturas, reefer 2 alturas. Observamos también que el tiempo de estancia de los contenedores son distintos según el tipo de tráfico, conociendo por operativa que los tiempos de estancia para vacíos es de 12 días y los llenos tienen un tiempo de estancia medio de 4 días, y de reefer llenos es menor a 4 días

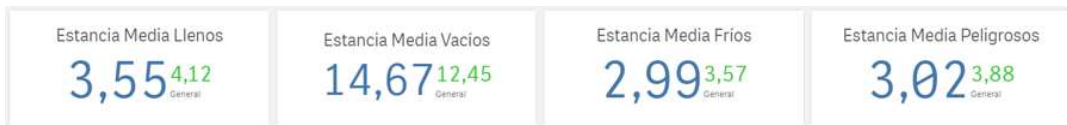


Tabla nº 4: Datos de tiempo de estancia medios de contenedores. Fuente Qlik, aplicación de Big Data propia de la terminal.

Los peligrosos los englobamos dentro de los llenos, ya que el tiempo de estancia es similar y la altura de apilado es igual a la de llenos. Tenemos que, la formula anterior se vería modificada a la siguiente:

$$C_p = N^{\circ} \text{ de Huellas TEU} \times 365 \times \left(\% \text{ llenos} \times \frac{H_{ll} \times K_{ll}}{T_{ll}} + \% \text{ vacíos} \times \frac{H_v \times k_v}{T_v} + \% \text{ reefer} \times \frac{H_r \times k_r}{T_r} \right)$$

En esta fórmula no se hace distinción por tipo de operador, importación, exportación, zonas de revisión y averiados, ya que estarían incluidos en los tantos por ciento de llenos y vacíos.

Para el cálculo del número de huellas se realiza un estudio de la distribución de contenedores en la terminal comenzando con el plano esquemático siguiente:

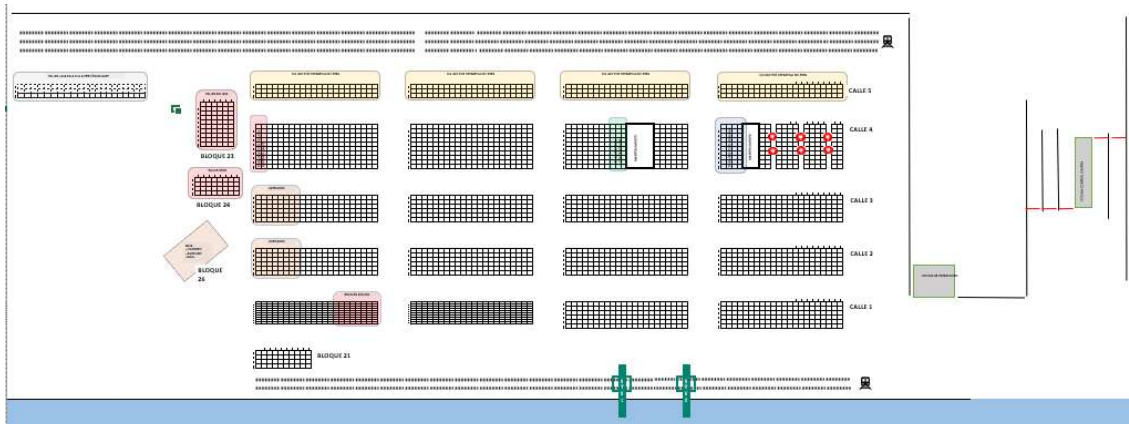


Imagen nº 4: Plano esquemático de distribución de contenedores en el patio de la terminal. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, teniendo en cuenta la dedicación de cada bloque y su altura apilado, se calcula el nº total de huellas

CAPACIDAD POR BLOQUES						
Block Name	Bay Number	Row	Height	Ground Slot	Container in a bay	Total
TOTAL:				2811	766	10140

Tabla nº 5: Número de huellas del patio de la terminal. Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de ocupación media de la terminal de Qlik calculamos los tanto por cientos de cada tipo de contenedor: llenos, vacíos y reefer:

	Reefer	Llenos	Vacios	Total
Huellas	120	744	1907	2811
%	4%	26%	68%	

Tabla nº 6: Porcentaje de huellas de la terminal según reefer, llenos y vacíos. Fuente: Elaboración propia.

Introduciendo los datos en la fórmula tenemos:

% Llenos	26
% vacíos	68
% reefer	4
Hll	3
Hv	4
Hr	2
Kll	0,8
Kv	0,8
Kr	1
Tll	4
Tv	12
Tr	4
Nº Huellas TEUs	2811
Cp=	366.629,36

Tabla nº 7: Capacidad de patio de contenedores. Fuente: Elaboración propia.

La fórmula anterior se podría hacer comparable con la Capacidad anual por línea de atraque, esta comparación se hará teniendo en cuenta el volumen de transbordo que recibe la terminal, con los datos proporcionados por Qlik vemos que este dato es prácticamente nulo:



Tabla nº 8: Datos de transbordo medios. Fuente: Qlik. Aplicación de Big Data propia de la terminal.

Lo cual da un % aproximado de 1%.

Siendo la fórmula a utilizar:

$$C_{P eq LA} = K_{PTB} \times C_p$$

$C_{P eq LA}$: Capacidad anual de almacenamiento equivalente a capacidad anual por línea de atraque

K_{PTB} : Coeficiente de transformación de contenedores de capacidad de patio en contenedores equivalentes de capacidad de línea de atraque, que se calcula con la siguiente expresión:

$$K_{PTB} = \frac{200}{2 \times \% \frac{O}{D} + \%TB}$$

Siendo % TB: porcentaje de tráfico de transbordo sobre el tráfico total

% O/D: porcentaje de tráfico de origen/destino terrestre sobre el tráfico de la terminal

Con lo que resulta un K_{PTB} de 1, por lo tanto, son asimilables.

El otro factor que influye en la capacidad de almacenaje del patio es la densidad de almacenamiento del patio, es decir el número de huellas de contenedores por superficie de almacenamiento.

Densidad superficial: Huellas-TEU por superficie.

La densidad de patio superficial se calcula mediante el cociente entre el número de huellas y el área del patio en hectáreas. El número de huellas a su vez depende de del sistema de almacenamiento que se utilice, además de los criterios de distribución de la mercancía que se establezcan en el patio, según operados, importación, exportación, vacíos, llenos, peligrosos, zonas de revisión de contenedores, zonas de taller, inspecciones, fríos y dimensiones especiales.

A partir de los datos de estudio de la terminal se obtiene las dimensiones del área de la terminal, la dimensión del área de almacenaje y con los datos del número de huellas se calcula la densidad del patio.

- Área de la terminal: 10,9 ha
- Área de almacenaje: 6,5 ha
- Nº de huellas TEUs: 2811
- Densidad de almacenaje del patio: 54,77

5. Conclusiones

La terminal de Sevilla es una terminal de interior con fuertes restricciones de acceso condicionadas por las mareas y el calado de la zona de atraque de 6 metros más márgenes, esto condiciona el tamaño de los buques que acceden a ella y el número de ellos.

La longitud de atraque de la que dispone la terminal es adecuada y suficiente para el tamaño de los buques, sin embargo, la capacidad de los mismos limita el uso de la línea de atraque en cuanto al número de TEUs que es capaz de recibir para descarga, aunque en caso necesario podría mejorarse añadiendo una zona de atraque. La capacidad de la grúa no es un factor limitante.

Por otro lado, capacidad del patio de almacenaje de 366.629,36 contenedores al año, por lo tanto, es el dato más restrictivo de todos los datos calculados en cuanto a capacidad se refiere, siendo el subsistema limitante de la capacidad. Esta cifra podría mejorarse incrementando la altura de apilado.

Así con los números vistos anteriormente se deduce que, se trata de una terminal joven, con amplio margen de capacidad de crecimiento.

Bibliografía:

- Acacia Technologies (2023), “Contenedores Marítimos: historia, función y optimización”. <https://acaciatec.com/contenedores-maritimos/>.
- Amador, A (2015). Más que ingeniería. “¿Qué es una terminal portuaria? Un estudio por sistemas”. Disponible en: <https://masqueingenieria.com/blog/que-es-una-terminal-portuaria/>. Consulta: 7 julio 2023.
- Amador, A. (2016). Más que ingeniería. “¿De qué depende la capacidad de una terminal portuaria?”. Disponible en: <https://masqueingenieria.com/blog/de-que-depende-la-capacidad-de-una-terminal-portuaria/>. Consulta: 7 julio 2023.
- Estrada, J. L. (2007). “Mejora de la competitividad de un puerto por medio de un nuevo modelo de gestión de la estrategia aplicando el cuadro de mando integral” (Doctoral dissertation, Caminos). [Mejora de la competitividad de un puerto por medio de un nuevo modelo de gestión de la estrategia aplicando el cuadro de mando integral - Dialnet \(unirioja.es\)](http://www.unirioja.es). Universidad de la Rioja
- Estrada, J.L. (2019), Portus the online magazine of rete. “Terminales de contenedores” Disponible en: [Terminales de Contenedores - PORTUS \(portusonline.org\)](http://portusonline.org). 7 julio 2023.
- Gobierno de México, D.G. de Puertos. (2023), “Programa Maestro de Desarrollo de Puerto Lázaro Cárdenas 2020-2025”. Disponible en: [Programa Maestro de Desarrollo Portuario \(puertolazarocardenas.org\)](http://puertolazarocardenas.org). Consulta: 7 julio 2023.
- Logistec (2019), “Contenedor: Su historia y las claves que lo acreditan como la herramienta clave en el transporte internacional de mercancías”. <https://www.revistalogistec.com/logistica/freight-management-2/2517-contenedor-su-historia-y-las-claves-que-lo-acreditan-como-la-herramienta-clave-en-el-transporte-internacional-de-mercancias> Consulta: 7 julio 2023.
- Martin, B. (2019) ShipLilly. “La Historia de la Contenedorización y su Impacto en el envío de la carga”. 19 noviembre. Disponible en: <https://www.shiplilly.com/es/blog/la-historia-de-la-contenedorizacion-y-su-impacto-en-el-envio-de-carga/>. Consulta: 7 julio 2023.
- Monfort, A., Aguilar, J., Vieira, P., Monterde, N., Obrer, R., Calduch, D., Martín, A.M., y Sapiña, R. (2011). “Manual de Capacidad Portuaria: Aplicación a Terminales de Contenedores”. <https://www.fundacion.valenciaport.com/publicacion-tecnica/bookid-71/>. Fundación Valenciaport.
- Monfort, A. (2015), “Análisis de los factores determinantes en el cálculo de la capacidad por línea de atraque de una terminal de contenedores: propuesta de niveles de servicio en su concesionamiento”, <https://riunet.upv.es/handle/10251/61987>, Universitat Politècnica de Valencia.
- Monfort, A., Aguilar, J. (2016). “Propuesta de caracterización del nivel de servicio por línea de atraque en contratos de concesión de terminales portuarias de contenedores”, <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/98292/3504-9226-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Universitat Politècnica de València, España. XII Congreso de Ingeniería del Transporte València, Universitat Politècnica de València.
- Ovalle, L. (2021). Revista de Marina. “El contenedor, la caja que cambió al mundo”. Disponible en: <https://revistamarina.cl/es/articulo/el-contenedor-la-caja-que-cambio-al-mundo>. Consulta: 7 julio 2023.
- Yáñez, P. (2014). “Análisis de capacidad portuaria: intensidad media diaria de contenedores vs intensidad media anual de contenedores”, <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5648/tfm-yana.pdf?sequence=1>. UPCT