



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



**Estudio para la automatización de la terminal APMT Valencia:
costes económicos de la implementación**

LUIS MIGUEL POZO CARRILLO

Tutor:

Sr. José Aguilar Herrando

Memoria para obtener el Título de

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.

Valencia – España

curso 2020 / 2021

RESUMEN

El transporte marítimo se ha convertido en las últimas décadas en parte importante del comercio mundial, siendo uno de los grandes factores en el proceso de globalización. Ante lo cual, se comprende la necesidad de analizar la automatización de la Terminal portuaria APM Terminals Valencia, ya que se trata de una terminal polivalente emplazada en los muelles Levante y Llovera con acceso terrestre para el transporte de mercancías por medio de camiones y ferrocarril.

El objetivo de este estudio es ayudar con el dimensionamiento, propuesta de diseño operacional y análisis de costes de implementar una terminal de contenedores totalmente automatizada. Dado que la ubicación estratégica del Puerto de Valencia, considerado como Puerto **HUB** dentro del mar mediterráneo, hace indispensable lograr que todas sus terminales se automaticen, dentro de una periodo a corto plazo.

En el presente estudio se abordarán y desarrollarán temas relacionados con la automatización de una terminal, permitiendo conocer las características actuales de la terminal, subsistemas, equipos empleados en una terminal de contenedores automatizada y generar una propuesta de diseño operacional.

Finalmente una vez que se identifiquen todos los elementos de la terminal automatizada se desarrollara un análisis de costes comparando una terminal convencional con una automatizada, aplicando los cambios que se debieran llevar a cabo, para identificar cuáles son los costes que generan mayores fluctuaciones en los montos totales.

Palabras Clave: Terminal, automatización, APM Terminals Valencia, puerto, almacenamiento, costes, infraestructura.

ABSTRACT

In recent decades, maritime transport has become an important part of world trade, being one of the major factors in the globalisation process. This is why it is necessary to analyse the automation of the APM Terminals Valencia port terminal, as it is a multi-purpose terminal located on the Levante and Llovera quays with land access for the transport of goods by lorry and rail.

The objective of this study is to assist with the sizing, operational design proposal and cost analysis of implementing a fully automated container terminal. Given that the strategic location of the Port of Valencia, considered as a **HUB** Port within the Mediterranean Sea, it is essential that all its terminals are automated, within a short period of time.

This study will address and develop issues related to the automation of a terminal, allowing to know the current characteristics of the terminal, subsystems, equipment used in an automated container terminal and generate a proposal for operational design.

Finally, once all the elements of the automated terminal are identified, a cost analysis will be developed comparing a conventional terminal with an automated one, applying the changes that should be carried out, in order to identify which are the costs that generate greater fluctuations in the total amounts.

Keywords: Terminal, automation, APM Terminals Valencia, port, storage, costs, infrastructure.

LISTADO DE ACRÓNIMOS

En breve un listado de los acrónimos utilizados en el desarrollo del presente trabajo, para la mejor comprensión del lector.

- **AGV:** Automated Guided Vehicle
- **APV:** Autoridad Portuaria de Valencia
- **ARMG:** Automated Rail Mounted Gantry crane
- **ASC:** Automated Stacking Crane
- **ASH:** Automated Sthuddle
- **BEST:** Barcelona Europe South Terminal
- **CAPEX:** Capital Expenditure
- **CTA:** Container Terminal Altenwerder
- **ECT:** Europe Container Terminal
- **FEU:** Forty-Foot Equivalent Unit
- **FLC:** Full Container load
- **LCL:** Less Container Load
- **OPEX:** Operating expense
- **RMG:** Rail Mounted Gantry crane
- **RS:** Reach Stacker
- **RTG:** Rubber Tired Gantry
- **STS:** Ship to Shore
- **TC:** Terminal Convencional
- **TCA:** Terminal de Contenedores Automatizada
- **TEU:** Twenty-Foot Equivalent Unit (Contenedor de 20 pies)
- **TOS:** Terminal Operating System

- **TPCs:** Terminales Portuarias de Contenedores
- **TSa:** Terminal Semiautomatizada
- **TT:** Tractor de Terminal
- **TTI:** Total Terminal International

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. TRANSPORTE MARÍTIMO	5
2.1. EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE MARÍTIMO	5
2.2. EL CONTENEDOR	8
2.3. EL BUQUE PORTACONTEDEDOR	14
2.4. TERMINALES PORTUARIAS DE CONTENEDORES	17
2.4.1 TERMINALES AUTOMATIZADAS DEL MUNDO	20
2.4.2 TERMINALES AUTOMATIZADAS DE ESPAÑA.	27
3. AUTOMATIZACIÓN DE TERMINALES PORTUARIAS DE CONTENEDORES	30
3.1 GRADOS DE AUTOMATIZACIÓN	33
3.1.1 TERMINALES AUTOMATIZADAS	33
3.1.2 TERMINALES SEMIAUTOMATIZADAS	35
3.2 FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LA AUTOMATIZACIÓN	36
3.3 CONSIDERACIONES PARA LA AUTOMATIZACIÓN	38
3.4 CONFIGURACIONES EN LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA TERMINAL PORTUARIA DE CONTENEDORES	40
4. SISTEMAS DE MANIPULACIÓN EN UN TPC	43
4.1 SUBSISTEMA DE CARGA Y DESCARGA DE BUQUES	44
4.2 SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO	49
4.3 SUBSISTEMA DE RECEPCIÓN Y ENTREGA	52
4.4 SUBSISTEMA DE INTERCONEXIÓN	54
5. PUERTO DE VALENCIA - APM TERMINALS VALENCIA	56
5.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	56
5.2 ZONA DE INFLUENCIA LOGÍSTICA	59
5.3 INSTALACIONES Y EQUIPO EXISTENTE EN EL PATIO DE CONTENEDORES	61
5.4 NECESIDADES DE LA AUTOMATIZACIÓN	64

6. ANÁLISIS DEL DISEÑO TÉCNICO DE LA TERMINAL	68
6.1 CRITERIOS DE DISEÑO	68
6.2 EQUIPAMIENTO EMPLEADO	70
6.2.1 EQUIPO DE MUELLE	70
6.2.2 EQUIPOS DE TRANSPORTE HORIZONTAL	72
6.2.3 EQUIPOS DE ALMACENAMIENTO	74
6.2.4 EQUIPOS DE RECEPCIÓN Y ENTREGA	75
6.3 DISEÑO DE LA TERMINAL	75
6.3.1 CAPACIDAD POR LÍNEA DE ATRAQUE	75
6.3.2 DISEÑO DE ALMACENAMIENTO	81
6.4 PROPUESTA DE DISEÑO OPERACIONAL DE LA TERMINAL	85
7. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN	87
7.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO	87
7.2 DESGLOSE DE COSTES ASOCIADOS A LA TERMINAL	89
7.3 COSTES ASOCIADOS A LAS OPERACIONES DEL CONTENEDOR EN TERMINAL	99
7.4 COSTES COMPARATIVOS	101
8. CONCLUSIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	104

1. INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo es el medio de transporte más antiguo e indispensable, reconocido mundialmente para el comercio internacional, es por ello que es la vía más utilizada debido al gran volumen transportado en un solo viaje. De esta manera, se convierte en la solución que satisface las necesidades de la economía en general.

La evolución del transporte ha llevado a generar la necesidad de construir el elemento más desequilibrante en la manipulación de la mercancía, “el contenedor”, el que ha supuesto una revolución en el comercio, facilitando el crecimiento del comercio internacional a grandes escalas, en especial el aumento en el comercio marítimo intercontinental, siendo considerado uno de los grandes factores del proceso de globalización. La OECD en el 2015 hace un trabajo de comparación de los volúmenes de crecimientos generados entre 1995 y 2009, tal como se puede apreciar en la ilustración de más adelante.

Actualmente, el comercio marítimo se puede establecer como una red de transporte intermodal, donde se encuentran presentes los denominados puertos **Hub** y puertos **Feeder**, los cuales presentan estrategias de internalización y diversificación de las actividades. En la última década el puerto *Hub* se ha convertido en la clave de las cadenas logísticas de transporte internacional, ofreciendo los servicios puerta a puerta, junto con operadores logísticos actuando como polo de atracción de tráfico y mercancías, es por ello que un hito muy importante es la **automatización** presente en estos puertos, denominados puertos de 6ª Generación, los que cuentan con un desarrollo tecnológico, sostenibilidad ambiental y económica.

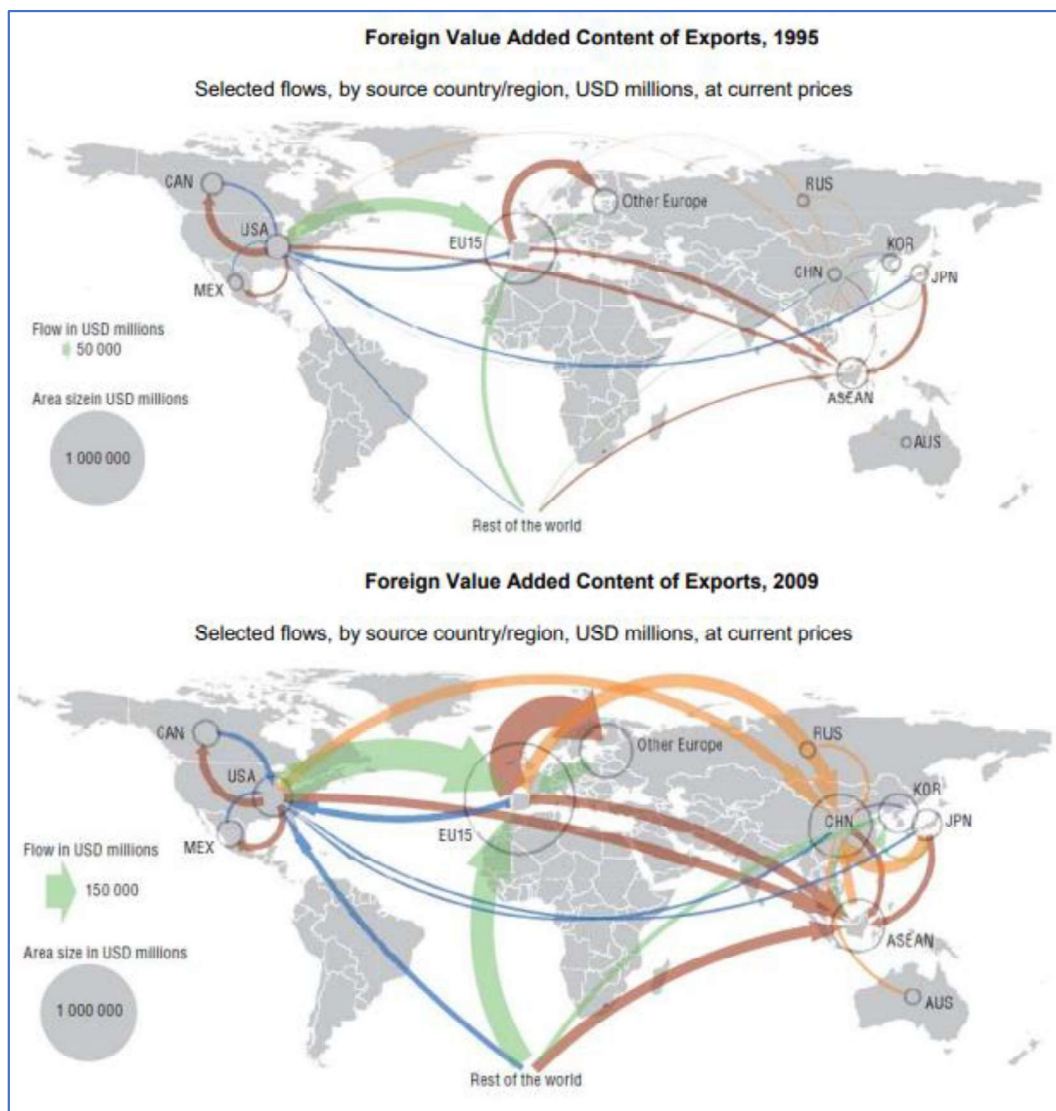


Ilustración 1. Evolución de transporte marítimo por la Globalización. Fuente: *Enquiries Into Intellectual Property's Economic Impact*, OECD 2015

De esta forma la automatización ha presentado un papel importante dentro de comercio y transporte marítimo internacional, el cual representa aproximadamente un 90% del comercio mundial. El aumento de la contenerización ha implicado que los puertos inviertan en tecnologías para aumentar la eficiencia y eficacia en el manejo de carga y descarga de los buques, es por ello por lo que es importante el estudio de la implementación de nuevas tecnologías en el puerto, que ayuden a disminuir los tiempos muertos. En la siguiente ilustración se puede apreciar el aumento consecutivo desde 1996 a 2018 de los millones TEU cargados y transportados en los puertos a nivel internacional.

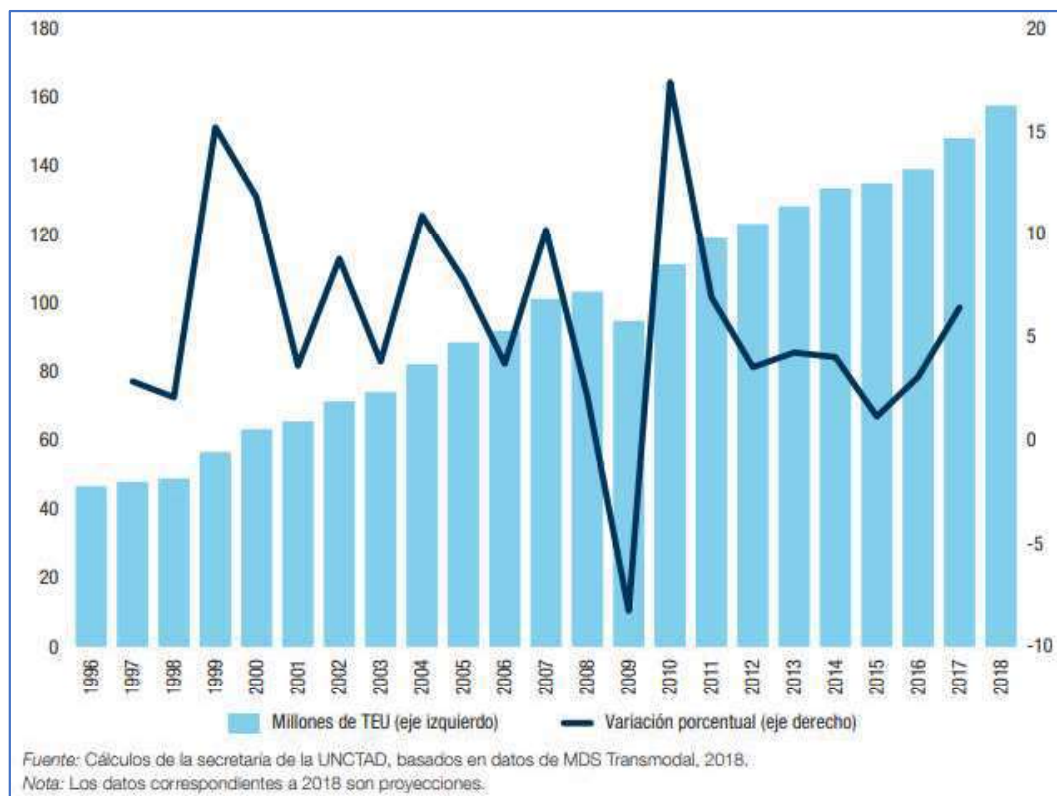


Ilustración 2. Comercio Contenedorizado mundial, 1996-2018. Fuente: Informe sobre el Transporte Marítimo 2018, UNCTAD

Por otro lado, la tendencia actual de las empresas navieras es a la concentración de sus flotas, de esta forma se puede realizar una reducción los destinos de las rutas a una concentración de puertos **Hub** con capacidad para absorber la carga y descarga de mercancías, y luego distribuir a los puertos **Feeder**. Es por ello por lo que se hace importante el estudio de la automatización de la APM Terminals Valencia, ya que se encuentra ubicada dentro del puerto **Hub del mar Mediterráneo**.

Europa, posee una fuerte tradición comercial desde la antigüedad, disponiendo de una gran cantidad de puertos y terminales de capacidad media y pequeña, destacando una fuerte competencia entre ellos dentro de las áreas de influencia de puertos **Hub**. España no es distinta a esta tradición ostentando 46 puertos de interés general, de los cuales 27 tienen tráfico de contenedores y solo 3 son considerados importantes a nivel mundial por la cantidad de TEU movilizados. Es por ello, que las terminales de estos puertos menores o mayores

que aún no presenten un alto nivel de servicio estudien las posibilidades de automatización, aun teniendo en cuenta que resulte difícil, debido a que las inversiones en infraestructura portuaria son elevadas y conlleva dificultades al gestionar para tráficos menores.

Actualmente, lo que concierne a la modernización y optimización de terminales, se encuentra en un punto en el que la automatización de operaciones y procesos se está convirtiendo en una necesidad imperativa, ya que no envuelve solo a los recursos de infraestructura mecánica, sino además a la gestión, comunicación, operatividad, seguridad y sostenibilidad ambiental de un puerto en el conjunto de sus terminales.

El objeto de este estudio es determinar una alternativa óptima para la automatización de APM Terminals Valencia dentro del puerto de Valencia, es decir, en el sector Norte del puerto, que oriente a la toma de decisiones de inversión, mediante la generación de la caracterización de instalaciones y disposición del patio de contenedores, enfocadas en la necesidad de nuevas tecnologías, infraestructura y ventajas, analizando los costes de implementación.

2. TRANSPORTE MARÍTIMO

2.1. EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE MARÍTIMO

El comercio es una de las actividades más antiguas y principales del ser humano, permitiendo el crecimiento e intercambio cultural entre países y, en las últimas décadas, de continentes. De esta forma el transporte marítimo, asume gran importancia dentro del comercio internacional, debido a su gran capacidad de movilizar mercancía.

Europa y, propiamente tal, España, dispone de una fuerte tradición del comercio y transporte marítimo en el mediterráneo desde la época clásica, que incluye la actividad del mar del norte, los viajes a América y resto del mundo, siendo estos motivados principalmente por la búsqueda de nuevas rutas comerciales, siendo uno de los continentes con mayor historia de transporte de mercancías.

Sin embargo, el comercio marítimo internacional sufrió una fuerte evolución y crecimiento desde 1956, debido al primer viaje de transporte de mercancías en contenedor. Esta caja metálica ha permitido que se pudiese estandarizar el comercio marítimo, de forma tal, que se ha logrado transportar mayores cantidades de mercancía de una manera más simple, rápida y segura. Siendo un actor importante dentro de la globalización, generando que el comercio marítimo creciera de forma continua en los últimos 40 años.

El aumento que se generó debido a la introducción del contenedor como medio de transporte de las mercancías, impacto directamente en la especialización de los buques y en el aumento de capacidad de ellos, apareciendo buques de mercancías a granel líquido, granel sólido y mercancía

general. De esta forma, el transporte de marítimo ha sufrido cambios consecutivos en la manera de normalizar la forma de gestionar y transportar las mercancías.

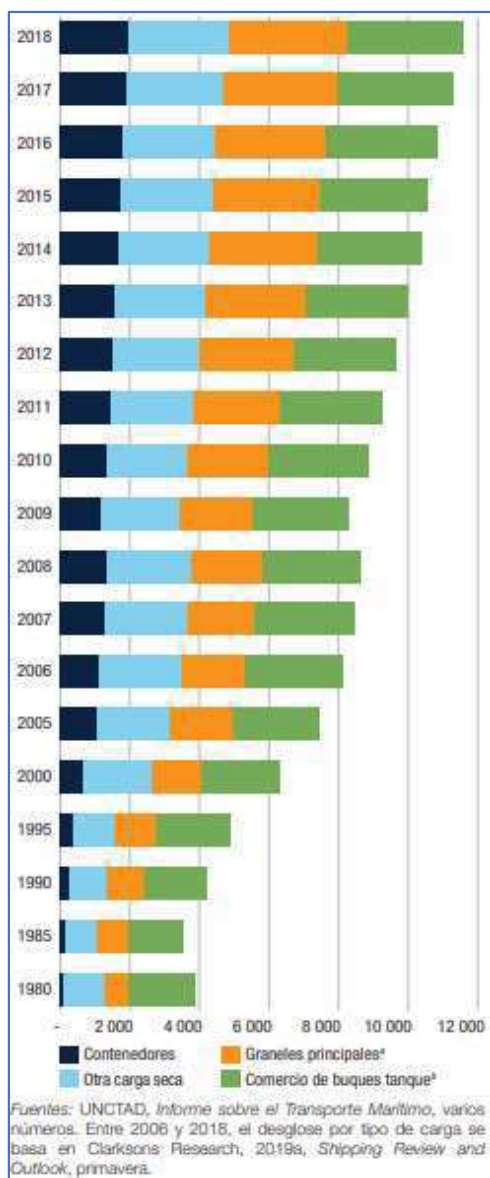


Ilustración 3. Evolución del comercio Marítimo por tipo de carga (en Millones de Toneladas Cargadas). Fuente: Informe sobre el Transporte Marítimo 2019-UNCTAD

En el siglo XX aparecen distintas organizaciones y/o acuerdos que ayudan a la estandarización del transporte marítimo comercial, siendo alguna de estas:

- BIMCO (1905)
- Cámara de Comercio Internacional (1919)

- Organización Internacional del Trabajo (1919)
- Organización de las Naciones Unidas (1945)
- Fondo Monetario Internacional (1945)
- Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (1947)
- Organización Marítima Internacional (1958)
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (1961)
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (1964)
- Organización Mundial del Comercio (1995)

Es importante destacar la automatización que se llevó a cabo en el puerto de Rotterdam en el año 1993, siendo pionera en la materia, provocando un fuerte impacto en el transporte marítimo mundial. Aunque en la actualidad no es la terminal con mayores transacciones de contenedores, gracias a la innovación tecnológica y reducción de los costos de construcción y operación generados en los puertos asiáticos en especial los de China. Cabe destacar el estudio de *Markets and Markets* en el 2017, donde se pronosticó que el volumen de negocio era de 8.84 billones de dólares para 2018 y de 10.89 billones para el año 2023 en terminales de contenedores automatizadas, de ahí la importancia de estudiar la posibilidad de automatización de la APM Terminals Valencia.

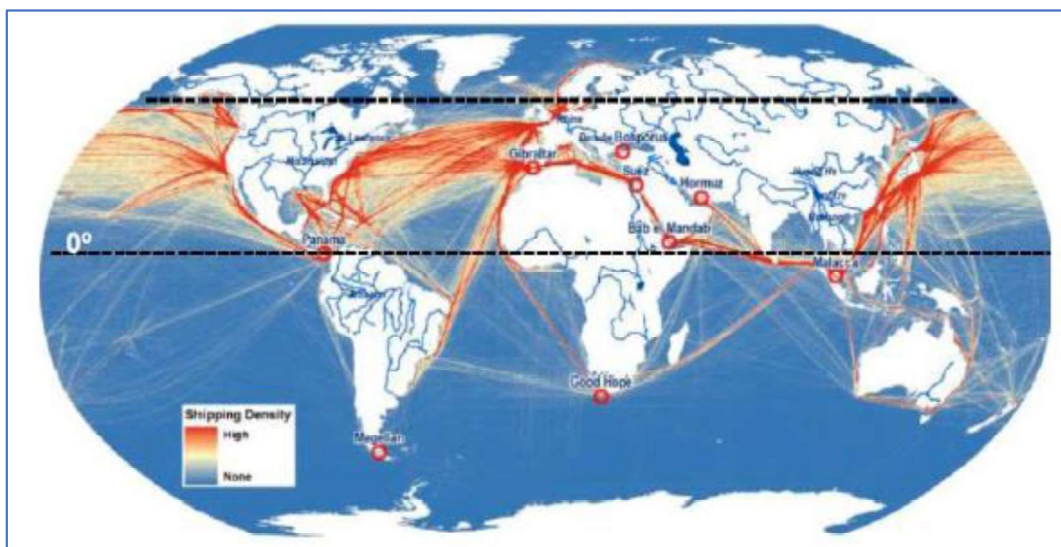


Ilustración 4. Densidad de Flujos Marítimos. Fuente: *El transporte Marítimo*, Pérez V., Juan, 2012

Además, es importante recalcar que, en los 70.000 kilómetros aproximados de costas en la Unión Europea, se han definido 329 puertos claves, de estos 104 son considerados puertos principales sobre la base de un conjunto de criterios predefinidos¹, de los cuales gran parte se encuentra automatizado o semiautomatizado, esperando que se encuentren conectados al interior para el 2030 y el restante de puerto para el 2050²

Por último, en lo referente a la mejora en el rendimiento operativo de terminales y a la reducción de sus costes asociados, que conllevan directamente en un aumento del transporte marítimo de una terminal portuaria, cabe destacar por un lado que las terminales se han tenido que ir adaptando al crecimiento de los buques, ampliando las capacidades e infraestructura, así como generar las instancias de introducir nuevas innovaciones relacionadas con la digitalización y automatización de procesos. A pesar del alto grado de inversiones que conlleva la automatización, la cual se presenta como una de las mejores alternativas para mejorar la productividad y reducir los costes operacionales del servicio.

2.2. EL CONTENEDOR

La historia nos cuenta como en el transporte marítimo de mercancías se han diseñado e inventado diferentes formas de facilitar el transporte y la contenerización de la mercancía. Uno de los ejemplos más claros y conocidos son las ánforas selladas, tal como se aprecia en la ilustración, en el hallazgo de un barco romano hundido hace más de 2.000 años en Mallorca, España.

¹ Reglamento (UE) nº1315/2013

² Informe especial, El transporte marítimo en la UE se mueve en aguas turbulentas- mucha inversión ineficaz e insostenible, Tribunal de Cuentas Europeo,2016.



Imagen 1. Ánforas encontradas en barco Romano en Mallorca. Fuente Departamento de Cultura de Mallorca.

Durante siglos la idea de transportar mercancía se ha mantenido intacta con respecto al propósito, el cual es:

- Disminuir y simplificar los movimientos de carga.
- Asegurar el embarque de la mercancía.
- Utilizar una forma de almacenaje lo más amplia posible.

Atendiendo a estos propósitos, el contenedor aparece en el mercado del transporte marítimo estadounidense en el año 1956, gracias a la invención de Sr. Malcom McLean, empresario del área del transporte de carga por carretera. El uso del contenedor se extendió progresivamente en todos los puertos del mundo, y a consecuencia del gran uso los modelos de contenedor se normalizan según los estándares de la ISO (International Organization for Standardization). La norma ha evolucionado al pasar de los años consecuencia de la evolución tecnológica presente en los puertos y buques, siendo de esta forma:

- ISO 668 - Contenedores de carga - Clasificación, dimensiones y calificaciones
- ISO 830 - Contenedores de carga - Terminología
- ISO 1161 - Contenedores de carga - Accesorios de esquina - Especificación
- ISO 1496 - Contenedores de carga - Especificación y pruebas
- ISO 2308 - Ganchos para levantar contenedores de carga de hasta 30 toneladas de capacidad - Requisitos básicos
- ISO 3874 - Contenedores de carga - Manipulación y sujeción
- ISO 6346 – Contenedores de carga – Codificación, identificación y marcado
- ISO 8323 - Contenedores de carga - Contenedores de uso general de aire / superficie (intermodal) - Especificación y ensayos
- ISO 9669 - Contenedores de carga - Conexiones de interfaz para contenedores cisterna
- ISO 9711 - Contenedores de carga - Información relacionada con contenedores a bordo de buques
- ISO 9897 - Intercambio de datos de equipos de contenedores (CEDEX)
- ISO 10368 - Contenedores térmicos de carga - Monitoreo remoto del estado
- ISO 10374 - Contenedores de carga - Identificación automática

De acuerdo con la definición del Convenio Internacional sobre la Seguridad de los Contenedores (CSC) de 1972, un contenedor es un elemento de equipo de transporte de:

- Carácter permanente y, por tanto, suficientemente resistente para permitir su empleo repetido.
- Ideado para facilitar el transporte multimodal, sin manipulación intermedia de carga.
- Fácil manipulación.

- Un tamaño tal y que la superficie delimitada por las cuatro esquinas inferiores exteriores sea, por lo menos, de 14 metros cuadrados o, como mínimo, de 7 metros cuadrados si lleva cantoneras superiores.

Debido al gran uso del contenedor, se tuvo que modificar el concepto de terminal portuaria, generando grandes cambios en la gestión de los usos de espacio dentro de un puerto, además, implicó un cambio en los acoplados de transporte terrestre, tanto viales como ferroviarios, por lo que se considera el gran impulsor del cambio del concepto del transporte de mercancías, aunque no tuvo grandes adeptos en un comienzo por las problemáticas de desconfianza en empresas estibadoras, que en muchas oportunidades llevaron a la quiebra a grandes empresas.






Las empresas de transporte de mercancías que actualmente se conocen, se fundaron una década después de observar los grandes fracasos en la ambición de transportar mayores cantidades de volúmenes en buques portacontenedores, es el caso de *Evergreen Marine* en 1968, *Mediterranean Shipping Company (MSC)* en 1970 y *Mærsk Line* 1973 (si bien es fundada en 1928 construye su primer barco portacontenedores en 1973 el *Svendborg Mærsk*).

Es en mayo de 1966, cuando se realiza el primer viaje transatlántico desde Nueva York hasta Rotterdam, con un total de 228 contenedores, marcando un hito en el que sería el auge del transporte por contenedor, corroborando la visión que tuvo Malcom McLean basado en las ventajas que ofrecía el contenedor al transporte marítimo y terrestre de mercancías, tales como:

- Fácil manipulación.
- Mayor productividad.
- Optimización de espacio en altura.
- Variedad de productos almacenados.
- Reducción de tiempos.
- La mercancía solo de manipula en la carga y descarga.

De esta forma, siguiendo estas ventajas y con el objetivo de transformarlas en un mayor beneficio económico, la automatización de las terminales portuarias aprovecha la estandarización de los contenedores ISO, para generar tecnologías aplicables a distintos subsistemas existentes dentro de una terminal, tratando de optimizar en un mayor grado los tiempos utilizados para las distintas actividades.

Los tipos de contenedores que existen actualmente, independiente de la forma o condiciones de apertura, en su estructura contiene 8 dados en sus extremos para su fácil manipulación. Debido a la estandarización de los movimientos en los puertos del mundo, se introduce el concepto de **TEU** (*twenty foot Equivalent Unit*) como unidad de medida normalizada en el transporte marítimo. De esta forma, la tipología común es:

TIPO DE CONTENEDOR	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
DRY VAN (Contenedor Seco)	Contenedor estándar, cerrado hermetico, sin ventilación o refrigeración y con puerta en un solo lado.	
HIGH CUBE	Contenedor tipo Dry Van, con aumento de medidas en altura, ancho o longitud. Comunmente de 40 pies de largo y 9,6 pies de alto	
REEFER	Contenedor refrigerado, en sus versiones de 20 y 40 pies. Requieren de conexión eléctrica, tanto en el buque, puerto y camión terrestre	
OPEN TOP	Contenedor sin techo, el cual se tapa con un techo removible de lona. Utilizados para cargas de gran volumen y tamaño.	
DOUBLE DOOR	Contenedor similar al DRY VAN, pero con doble puerta en sus extremos Especial para el transporte de mercancías largas.	

TIPO DE CONTENEDOR	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
FLAT RACK	Contenedor sin techos ni paredes laterales, se utiliza para el transporte de maquinaria o mercancías sobredimensionadas. Tienen la capacidad de acoplarse lateralmente, "Break Bulk"	
PLATAFORMA	Contenedor que no posee caras laterales y superior. Se utiliza para sobre carga dimensionada en anchura, altura o longitud	
OPEN SIDE	Contenedor que posee puerta en una de caras en longitud. Se utiliza usualmente para cargas de gran tamaño.	
ISO TANK	Contenedor utilizado para el transporte de líquidos a granel. La estructura que lo contiene tiene las mismas dimensiones que un DRY VAN	
ISO TANK	Contenedor con una puerta escotilla en una de sus caras en la parte inferior. Utilizado para el transporte de granel sólido	

Ilustración 5. Tipología y Características de los contenedores. Fuente: Propia

Con la necesidad de identificar de una manera más rápida los contenedores y registrar su circulación en aguas internacionales en el **Bareu International du Conteneur**, la Organización Internacional de Normas ISO estableció un sistema de codificación de fácil lectura e interpretación (ISO 2716), que permite a través de una combinación alfanumérica de 11 caracteres distinguirlos, los cuales corresponden a :

- Un Código de propietario comúnmente conocido como código BIC.
- Una letra de identificación del tipo de equipamiento.
- Un número de Serie.
- Un dígito de comprobación.
- Un código que establece la medida y el tipo de contenedor.
- Un código de país.
- Marcas de operación.

- Indicación del peso máximo de la tara en kilogramos y libras.

Lo anterior se puede apreciar en la siguiente ilustración.

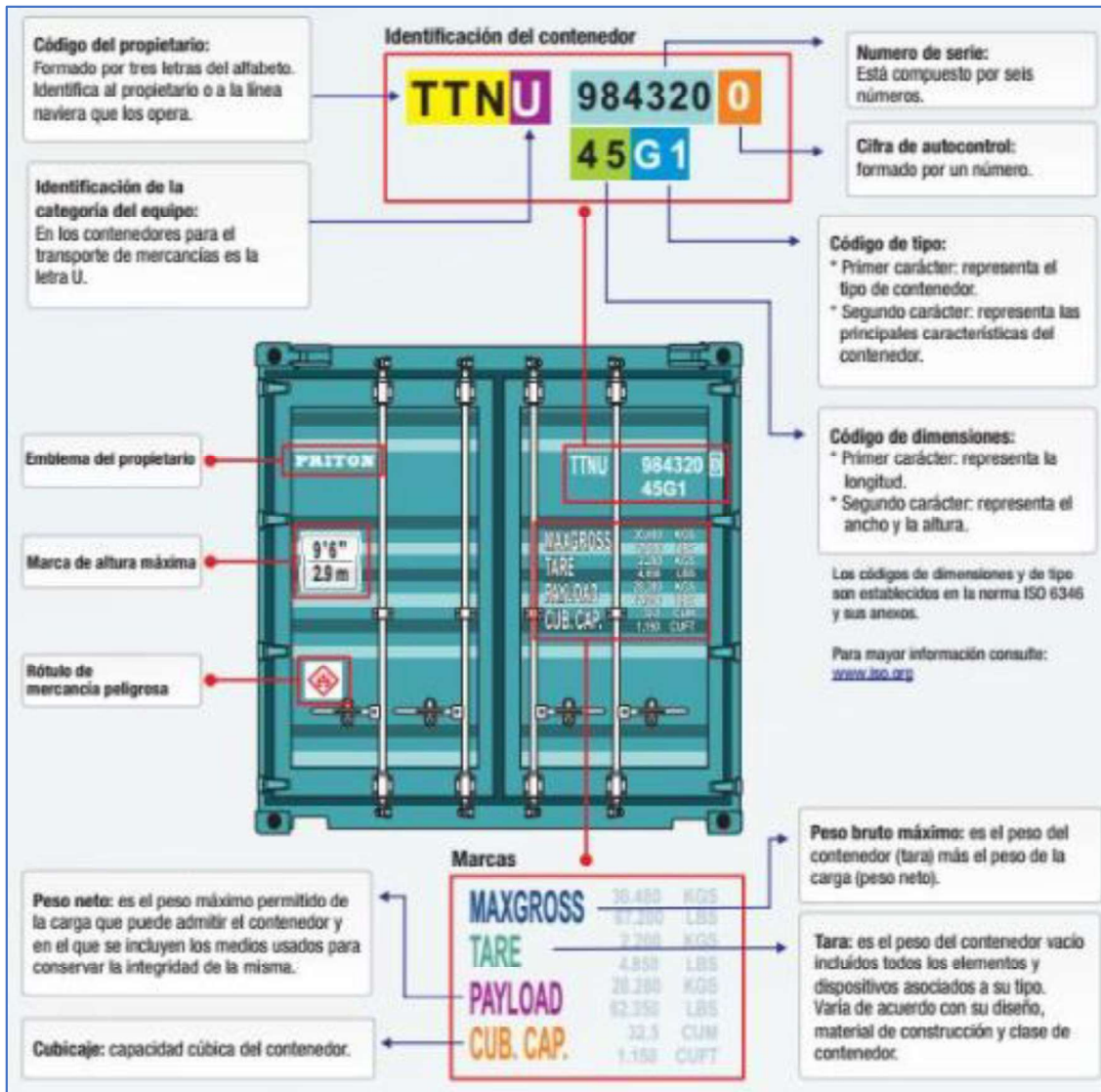


Ilustración 6. Infografía sobre contenedores. Fuente: LEGISCOMEX

2.3. EL BUQUE PORTACONTENEDOR

La evolución del comercio y transporte de mercancías a lo largo de la historia ha conllevado a la modificación continua de los buques, de esta forma con la entrada del contenedor en el transporte marítimo ha generado un incremento en el tamaño de los buques a lo largo de las últimas décadas, siendo

en esta última la generación de buques portacontenedores de volúmenes impensados.

Debido a que el objetivo es transportar la mayor cantidad de mercancías y así reducir los costes, el tamaño de los buques no ha dejado de crecer, y parece que por el momento no dejará de hacerlo, ya que en los últimos cinco años se ha generado una carrera entre las empresas navieras por poseer el buque con mayor capacidad de TEUs.

La evolución de los buques portacontenedores estuvo marcada en un comienzo por los límites de los puertos en cuanto a infraestructura, después tuvo gran importancia los límites del canal de Panamá, debido a la revolución que marcó *Mærsk* con su buque *Regina* de 318 metros de eslora, 42 metros de manga y 14,5 metros de calado, iniciando la era de los buques *Post-Panamx* con capacidad de 6.400 TEUs. En el año 2015, tras el ensanchamiento del canal de Panamá, se crean los buques *New Panamax* con una eslora de 365 metros, una manga de 49 metros y un calado de 15,2, metros, para una capacidad de 12.500 TEUs, diseñados para atravesar cómodamente el canal.

La siguiente era son los buques denominados *Post New Panamax*, los cuales no pueden atravesar el canal de Panamá por su tamaño, puesto que poseen capacidades de entre 15.000 a 20.000 TEUs. Es así como desde el año 2017 se han construido buques portacontenedores que superan los 20.000 TEUs, generando una carrera entre las navieras por presentar la nave con mayor capacidad, dentro de los cuales podemos encontrar los siguientes portacontenedores más grandes del mundo:

- 1. HMM Algeciras (construido en 2020). TEU máximo: 23.964.
- 2. HMM Oslo (2020). TEU máximo: 23.820
- 3. MSC Gülsün (2019). TEU máximo: 23.756
- 4. MSC Mina (2019). TEU máximo: 23.656
- 5. CMA CGM Jacques Saadé (2020). TEU máximo: 23.112

- 6. OOCL Hong Kong (2017). TEU máximo: 21.413
- 7. COSCO Shipping Universe (2018). TEU máximo: 21.237
- 8. CMA CGM Antoine de Saint Exupery (2018). TEU máximo: 20.954
- 9. Madrid Mærsk (2017). TEU máximo: 20.568
- 10. Ever Golden (2018). TEU máximo: 20.388

La siguiente ilustración muestra la evolución de los buques desde 1968 hasta 2020.

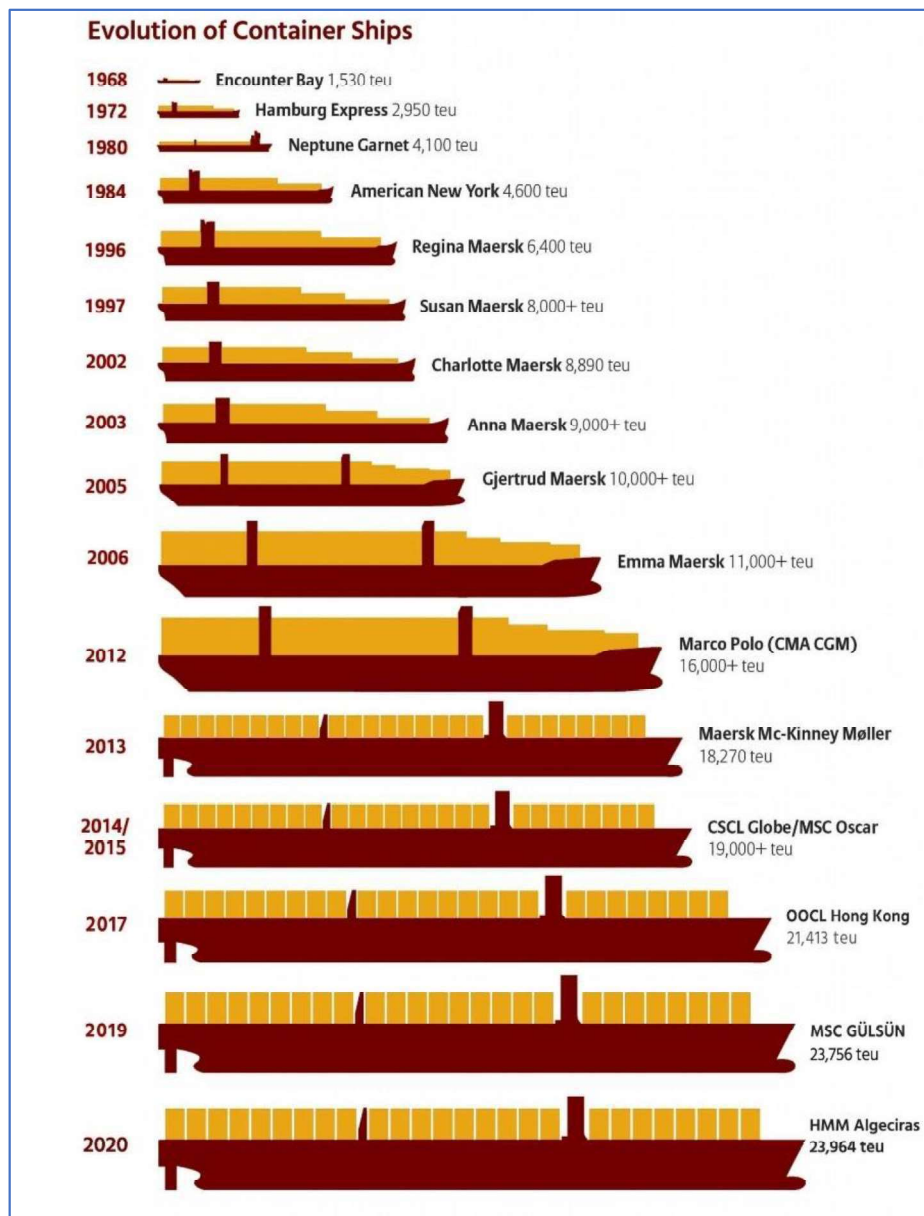


Ilustración 7. Evolución del buque portacontenedores. Fuente: shippingandfreightresource.com

2.4. TERMINALES PORTUARIAS DE CONTENEDORES

Para entender el papel de la Terminal de Contenedores dentro de la cadena logística, hay que conocer su relación con los puertos, para ello una definición muy acertada es que, *“Una terminal portuaria es un intercambiador modal que suele disponer de un área de almacenamiento en tierra para coordinar los diferentes ritmos de llegadas de los modos de transporte terrestre y marítimo”*³. Por lo que es un elemento crítico en la cadena del transporte de mercancías, con lo cual se debe garantizar la transferencia de las mercancías de un medio de transporte al otro (marítimo a terrestre), considerando las óptimas condiciones de rapidez, eficiencia económica y ambiental, así como la seguridad de la mercancía.

Adicionalmente, la definición que da la UNCTAD muestra claramente el carácter multifuncional de los puertos: *“Los puertos son interfaces entre los distintos modos de transporte y son típicamente centros de transporte combinado. En suma, son áreas multifuncionales, comerciales e industriales donde las mercancías no sólo están en tránsito, sino que también son manipuladas, manufacturadas y distribuidas. En efecto, los puertos son sistemas multifuncionales, los cuales, para funcionar adecuadamente, deben ser integrados en la cadena logística global. Un puerto eficiente requiere no sólo infraestructura, superestructura y equipamiento adecuado, sino también buenas comunicaciones y, especialmente, un equipo de gestión dedicado y cualificado y con mano de obra motivada y entrenada”*.

De esta forma desde un punto de vista general, la terminal es parte de la infraestructura de un puerto, cuya función es transferir las mercancías entre los dos modos de transporte, el marítimo y terrestre. En general, se trata de una superficie contigua a la línea de atraque marítima, donde confluyen el transporte por carretera y ferrocarril.

³ Monfort et al, 2001

El contenedor ha influido significativamente en la generación de una nueva tipología de terminal portuaria, debido a la estandarización de sus medidas, lo que ha posibilitado a su vez la aparición de nuevas tecnologías utilizadas por otras industrias respecto a la manipulación de las mercancías en la recepción, entrega, transporte horizontal y almacenamiento. Lo que ha producido un gran incremento en los intercambios dentro de una terminal, propias de la automatización portuaria.

De acuerdo con Arturo Monfort (2001), una terminal portuaria es un sistema integrado, con conexión física y de información con las redes de transporte terrestres y marítimas. De esta forma para el análisis se considera que está compuesto por cuatro subsistemas:

- a) **El subsistema de carga y descarga de buques** es el encargado de la carga y descarga de buques para lo que cuenta con una línea de atraque como infraestructura específica, con medio de manipulación y equipamientos adaptados a la mercancía a manipular ya los buques que se van a operar. En una terminal de contenedores el equipamiento principal para las operaciones de carga y descarga son las grúas STS.
- b) **El subsistema de almacenamiento de contenedores** es el que ocupa la mayor parte de la superficie de la terminal y su función es la de depósito temporal de los contenedores, se tiene que adaptar tanto al ritmo de descarga de contenedores de buque, como a la introducción de contenedores para exportar a buques, como al tiempo medio de estancia de los contenedores en terminal. En consecuencia, la disposición de este subsistema y su extensión dependen tanto del volumen de tráfico como del equipamiento principal que se emplee. De la combinación de estos factores resulta una configuración de patio, es decir, la altura y anchura de las pilas de contenedores, la separación entre las mismas, las dimensiones de los viales y pasillos internos, por lo que son uno de los factores principales que determinan los rendimientos operacionales de la terminal.

- c) **El subsistema de recepción y entrega** es el encargado de la transferencia de contenedores entre los medios de transporte terrestre externos y la terminal. En una TPC hay que distinguir la operación de acceso a la terminal de la propia actividad de recepción y entrega, que se realiza en las pilas o en las áreas definidas para ello. Los accesos a la terminal se caracterizan por el funcionamiento de las puertas terrestres, es decir el número de estas, horario, el sistema informático e incidencias que se producen debido a la cantidad de información que se debe procesar, y al propio ritmo de la operación de carga y descarga de los contenedores en las pilas de la terminal. Referido a este aspecto último, la recepción y entrega de contenedores depende de los equipos asignados a esa operación en cuanto al tipo y número de estos, y del modo de gestionar el volumen de trabajo y la información que lleva asociada.
- d) **El subsistema de interconexión o transporte horizontal** en una TPC se encarga del transporte horizontal de los contenedores entre las diferentes zonas de la terminal (muelle, diferentes áreas del patio, etc.), conectando el resto de los subsistemas, lo que engloba tanto el equipamiento elegido como las herramientas de transmisión de la información necesaria.

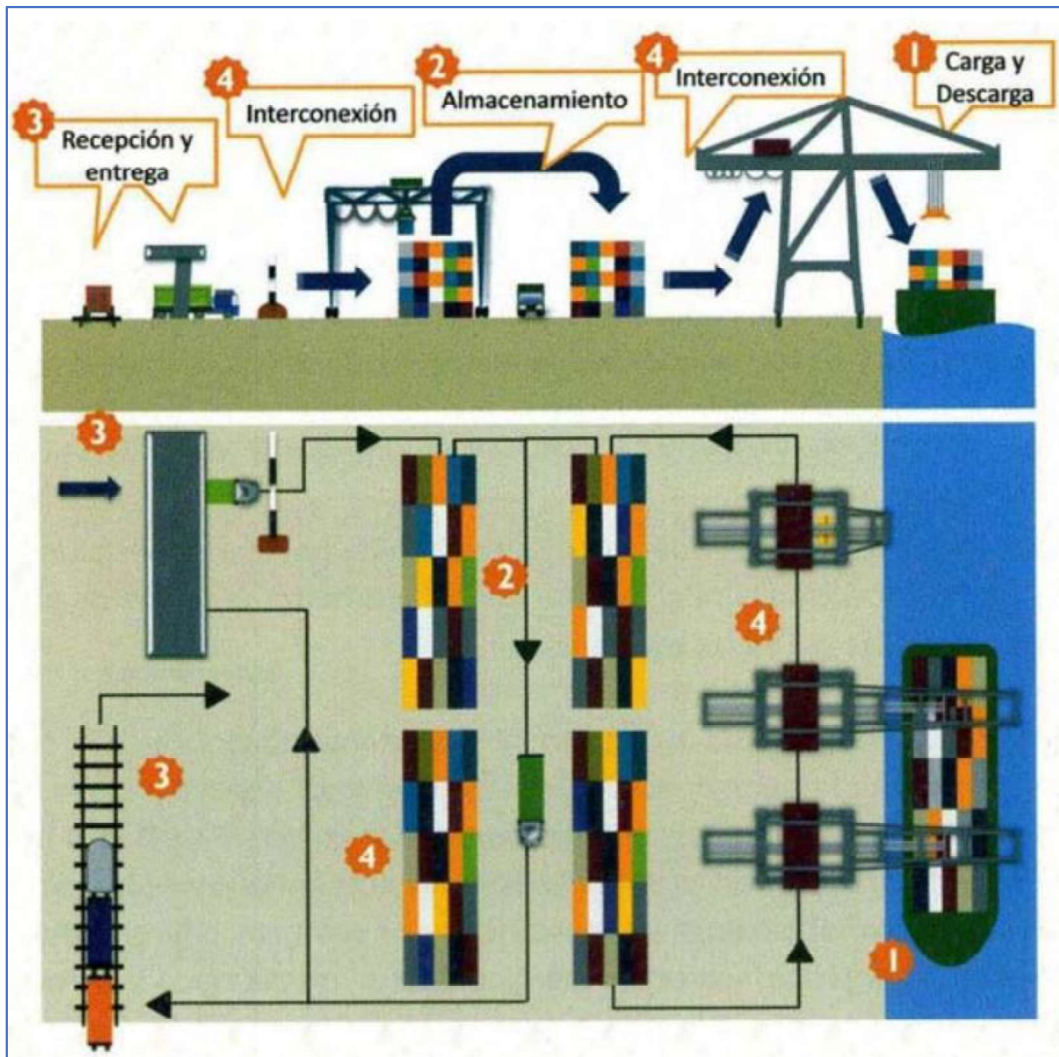


Ilustración 8. Subsistemas de una Terminal de Contenedores. Fuente: Fundación Valenciaport, 2011

2.4.1 TERMINALES AUTOMATIZADAS DEL MUNDO

Dentro de las terminales portuarias que existen en el mundo, desde la incitación de esta tipología por parte del Puerto de Rotterdam en 1993, se ha integrado una gran cantidad de nuevos puertos en diferentes lugares. De suma importancia es conocerlos y tenerlos presentes para el estudio, ya que son un parámetro de análisis económico, estructural, tecnológico, ambiental, entre otros.

En la siguiente ilustración se muestran el top 10 del ranking de puertos de contenedores desde el año 2010 al 2019, donde se puede apreciar que todos ellos cuentan con terminales automatizadas.

RANKING DE PUERTOS DE CONTENEDORES										
Rk.	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	Shanghái 29.069	Shanghái 31.737	Shanghái 32.529	Shanghái 33.617	Shanghái 35.285	Shanghái 36.537	Shanghái 37.133	Shanghái 40.233	Shanghái 42.010	Shanghái 43.300
2	Singapur 28.431	Singapur 29.538	Singapur 31.640	Singapur 32.579	Singapur 33.869	Singapur 35.922	Singapur 36.904	Singapur 33.667	Singapur 36.600	Singapur 37.200
3	Hong Kong 23.663	Hong Kong 24.384	Hong Kong 23.117	Shenzhen 23.278	Shenzhen 24.037	Shenzhen 24.205	Shenzhen 23.979	Shenzhen 25.209	Ningbo-Zhoushan 26.350	Ningbo-Zhoushan 27.530
4	Shenzhen 22.510	Shenzhen 22.571	Shenzhen 22.941	Hong Kong 22.352	Hong Kong 22.226	Ningbo-Zhoushan 20.627	Ningbo-Zhoushan 21.561	Ningbo-Zhoushan 24.607	Shenzhen 25.740	Shenzhen 25.770
5	Busan 14.194	Busan 16.185	Busan 17.046	Busan 17.686	Ningbo-Zhoushan 19.450	Hong Kong 20.073	Hong Kong 19.813	Hong Kong 20.779	Busan 21.663	Guangzhou 22.830
6	Ningbo-Zhoushan 13.147	Ningbo-Zhoushan 14.719	Ningbo-Zhoushan 16.175	Ningbo-Zhoushan 17.351	Busan 18.683	Busan 19.469	Busan 19.456	Busan 20.493	Guangzhou 21.620	Busan 21.910
7	Guangzhou 12.546	Guangzhou 14.250	Guangzhou 14.547	Qingdao 15.522	Qingdao 16.580	Guangzhou 17.625	Guangzhou 18.856	Guangzhou 20.356	Hong Kong 19.600	Qingdao 21.010
8	Qingdao 12.012	Dubái 13.031	Qingdao 14.503	Guangzhou 15.311	Guangzhou 16.389	Qingdao 17.436	Qingdao 18.050	Qingdao 18.310	Qingdao 19.320	Hong Kong 18.360
9	Dubái 11.600	Qingdao 13.020	Dubái 13.280	Dubái 13.641	Dubái 15.249	Dubái 15.592	Dubái 14.772	Dubái 15.368	Tianjin 16.010	Tianjin 17.300
10	Róterdam 11.348	Róterdam 11.877	Tianjin 12.983	Tianjin 13.012	Tianjin 14.961	Tianjin 14.113	Tianjin 14.516	Tianjin 15.061	Dubái 14.950	Róterdam 14.800

Ilustración 9. Ranking de TOP 10 de Puertos Contenedores 2010-2019. Fuente: TRANSPORTE XXI

A continuación, se describen algunos de los puertos con terminales automatizadas del mundo.

PUERTO DE SHANGHÁI, CHINA

El puerto de Shanghái ha sido el puerto con mayor actividad del mundo desde que en 2010 destronó del primer puesto del ranking al puerto de Singapur. Desde entonces, ha vivido una evolución sorprendente, batiendo récords un año tras otro.

En 2016, el puerto gestionó 37 millones de TEUs, lo que en su momento suponía la cifra más alta gestionada por un puerto en un año. Un año después, rompía su propio récord añadiendo 3 millones más a la cifra hasta llegar a los 40

millones de TEUs. Su camino superándose a sí mismo continuó en 2018 cuando cruzó la barrera de los 42 millones.

Estas cifras son impresionantes, incluso para los estándares chinos, sobre todo si tenemos en cuenta que Shanghái se encuentra actualmente a tan sólo 3 millones de TEUs de los 45 millones que el puerto se había fijado como meta para 2040.

El puerto de Shanghái también acoge a la mayor terminal automatizada del mundo, el Shanghái Yangshan Deep Water Port, que comenzó sus operaciones a finales de 2017.



Imagen 2. . Puerto de Shanghái, China: Fuente: UNCTAD

PUERTO DE SINGAPUR

El puerto de Singapur comprende una serie de instalaciones y terminales que manejan una amplia gama de carga transportada en diferentes formas,

incluidos contenedores y carga convencional y a granel. La Autoridad Marítima y Portuaria de Singapur (MPA) es responsable del desarrollo y crecimiento general del puerto de Singapur para desarrollar y promover Singapur.

Datos del puerto de Singapur:

- Singapur es actualmente el segundo puerto más grande del mundo en términos de capacidad de TEU, el centro de transbordo más grande y el líder mundial en abastecimiento de combustible.
- En 2015, se levantaron más de 45 millones de toneladas de bunkers en Singapur. Esto es suficiente para llenar más de 17.000 piscinas olímpicas.
- Singapur está bien conectado con 600 puertos en más de 120 países.
- Los buques que pasan por el Estrecho de Singapur son monitoreados por el Centro de Control de Operaciones Portuarias de la Autoridad Marítima y Portuaria (MPA), utilizando el Sistema de Información de Tráfico de Buques (VTIS), que tiene la capacidad de manejar hasta 10,000 pistas en cualquier momento.
- Anualmente, más de 130.000 barcos hacen escala en Singapur.
- En la actualidad, hay más de 5.000 establecimientos marítimos que aportan alrededor del 7% del producto interior bruto de Singapur y emplean a más de 170.000 personas

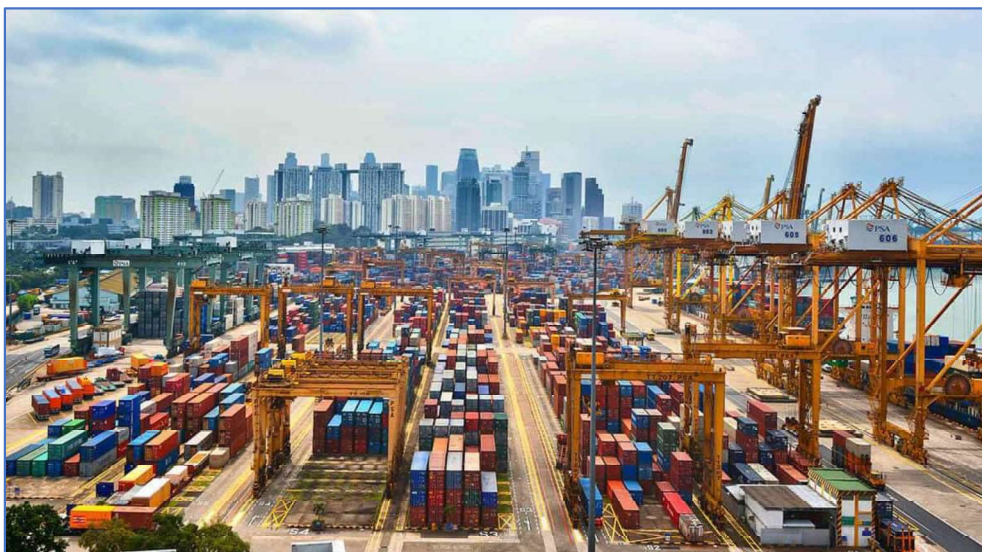


Imagen 3. Puerto de Singapur. Fuente: Maritime Industry Foundation

PUERTO DE JEBEL ALI, DUBAI

Mina Jebel Ali es un puerto importante en Dubái, con más de 15 millones de TEU enviados en 2019. Construido en 1970, fue construido para manejar el tráfico de contenedores y carga desde Mina Rashid, y rápidamente superó a los puertos circundantes en términos de envíos.

Actualmente, Jebel Ali es el noveno puerto más activo del mundo, el más activo del Medio Oriente y maneja una parte significativa del tráfico de contenedores a través de la región. Ha ganado numerosos premios por su infraestructura e instalaciones.

El puerto libre de Jebel Ali es un centro para empresas, tanto nacionales como internacionales. Incluye una estación de carga (CFS) que se ocupa de las unidades de contenedores LCL.

El puerto también está bien conectado con la ciudad, el aeropuerto internacional de Dubai y Airport Air Cargo Village. Mina Jebel Ali es el puerto insignia de la presencia global de Dubai Ports World. Se ocupa de los envíos a Asia, Oriente Medio, África del Norte y Europa. La capacidad de manipulación de carga es actualmente de 22,4 millones de TEU.

La terminal de carga general de Jebel Ali cubre un área de almacenamiento total de más de 1,4 millones de metros cuadrados que comprenden 27 atracaderos, con una profundidad de muelle de 15 metros, lo que permite atracar buques de carga muy grandes y especiales.

El puerto tiene casi 5 kilómetros de muelles, dando servicio a barcos de más de 150 puertos de origen. Las terminales de contenedores se dividen en las zonas T1, T2 y T3, con una zona T4 planificada en camino.

- Container Terminal 1 (T1) tiene una capacidad de 9 millones de TEU y es una de las terminales más concurridas. Con 15 amarres y 51 grúas de muelle, T1 es la base que ha permitido al puerto de Jebel Ali alcanzar su posición como uno de los diez mejores puertos a nivel mundial.
- La Terminal de Contenedores 2 (T2) con 32 grúas de muelle y 8 atracaderos tiene una capacidad de 6,5 millones de TEU. Su tecnología de punta ha disminuido la emisión de carbono en un 30%.
- Container Terminal 3 (T3) es conocida por sus notables logros tecnológicos. Tiene 5 amarres y una capacidad de 3,8 millones de TEU. Inaugurada en 2014, T3 es una de las terminales semiautomatizadas más grandes del mundo equipada con 19 grúas de muelle automatizadas y 50 grúas de pórtico automáticas para patios (ARMG). Es capaz de manejar buques portacontenedores ultra grandes (ULCV) con capacidades superiores a 18.000 TEU.
- Container Terminal 4 (T4) será el próximo punto de referencia para el mundo del comercio con capacidades diseñadas para satisfacer las necesidades actuales y futuras del mercado. Una vez finalizado, llevará la capacidad del puerto a 22,4 millones de TEU.



Imagen 4. Puerto de Jebel Ali. Fuente: Hasaco Ship

PUERTO DE ROTTERDAM

La terminal de Europe Container Terminals (ECT), situada en Rotterdam (Países Bajos), fue la primera terminal del mundo en utilizar un sistema completamente automatizado, en el año 1993. El puerto de Rotterdam maneja actualmente un tráfico en 2016 de 12.400 miles de TEU/año, siendo el mayor de Europa (Drewry, 2017).

La terminal tiene unas dimensiones de 265 hectáreas, con una línea de atraque de 3'6 km y un calado máximo de 17'5 m (en muelle 16'65 m). Dispone de 40 grúas STS (30 Super Post Panamax y 10 Post Panamax) para la descarga de barcos y barcazas. La interconexión se realiza mediante 140 vehículos guiados automatizados (AGV). Mientras que el patio está operado por 140 Automated Stacking Cranes (ASC), similares a las grúas RMG pero con un sistema automatizado de operación. La terminal también tiene dos terminales ferroviarias: la terminal de tren del Este y Terminales de Carril Oeste y se conecta directamente a la red ferroviaria nacional. El manejo de camiones en la terminal (alrededor de 20.000 camiones semanales) se realiza mediante una operación automática de las grúas ASC y la actuación de los propios conductores que chequean y autorizan la descarga/carga del contenedor siguiendo unas directrices de la terminal para la adecuada manipulación del contenedor en la operativa.

Además, para facilitar la operación con buques transoceánicos, feeder y barcazas, la terminal dispone de una terminal dedicada para barcazas y feeder, situada en el extremo norte del recinto que permite la descarga de estos cuando los muelles principales se encuentran ocupados con buques de mayor magnitud, con unas dimensiones de 7'5 ha, 800 metros de línea de atraque y un calado de 10'5 m.



Imagen 5. Puerto de Rotterdam. Fuente: Port of Rotterdam

2.4.2 TERMINALES AUTOMATIZADAS DE ESPAÑA.

PUERTO DE ALGECIRAS

El Puerto situado en Bahía de Algeciras, es un puerto líder del Mediterráneo y del sistema portuario español, se encuentra cada año en disputa con el puerto de Valencia por ser el de mayor tráfico de contenedores del Mediterráneo. Se sitúa en un enclave geoestratégico, por lo que destaca por ser un puerto hub por antonomasia, al ser principalmente su tráfico de contenedores de transbordo. En la actualidad se encuentra entre los principales puertos de Europa, en el puesto 6º en 2016 por tráfico de contenedores, con 4.760.000 TEU en 2016 (Drewry).

Con el fin de garantizar la infraestructura portuaria necesaria para atender el crecimiento y la diversificación de sus tráficos, la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras apostó por el desarrollo de sus instalaciones, fomentando la instalación de una terminal automatizada en sus instalaciones. Se realizó una

gran apuesta con la instalación en Isla Verde Exterior de una terminal semiautomática, pionera de contenedores en el Mediterráneo. Total, Terminal International Algeciras S.A.U. es la empresa impulsada por la compañía surcoreana Hanjin Shipping (que entró en quiebra en 2016) para la construcción y explotación de la segunda terminal de contenedores del Puerto Bahía de Algeciras, en la actualidad es propiedad de la empresa Hyundai Merchant Marine, teniendo un tráfico anual en torno al millón de TEU.

La terminal dispone de una superficie de 300.119 m² con dos alineaciones de muelle de 650 metros en el E y de 550 metros en el N, con calados de 18'5 y 17'5 metros respectivamente. La terminal es capaz de manejar mother vessels de última generación, con un equipo de 8 grúas de STS, 32 grúas de patio automáticas montadas sobre raíles (ASC) y 22 Shuttle Carriers (SC).



Imagen 6. Puerto de Algeciras. Fuente: APBA

PUERTO DE BARCELONA

La terminal BEST, emplazada en el Puerto de Barcelona es la primera terminal semiautomática de Hutchinson Ports Holding dentro de su red de 52 puertos en 26 países. Actualmente BEST dispone de 11 grúas de muelle Super Post-Panamax, 42 grúas automatizadas (ASC) y 26 Shuttle Carriers, operando a lo largo de 1.500 metros de muelle con un calado de 16.5 metros de profundidad. El objetivo del proyecto final de la terminal son disponer de 1500

metros de línea de atraque, 100 ha de patio y 18 grúas STS que permitan operar varios mother vessels simultáneamente.

La terminal dispone de la última generación de software, gracias al sistema nGen (Next Generation Terminal Management System para terminales semiautomáticas), desarrollado conjuntamente entre los equipos de BEST y de HPH, que permite alcanzar altas productividades, especialmente en la recepción de los buques portacontenedores más grandes. BEST ha ofrecido al mercado unos excelentes rendimientos alcanzando una productividad de buque (VOR) de más de 220 movimientos por hora y una productividad de grúa (GCR) promedio anual alrededor de 40 movimientos por hora, uno de los más altos de toda Europa.

En sus instalaciones cuenta con uno de los más modernos sistemas de gestión de puertas de Europa, y una de las terminales ferroviarias más grandes dentro de una terminal marítima de contenedores, con ocho vías de ancho mixto (ibérico y europeo).

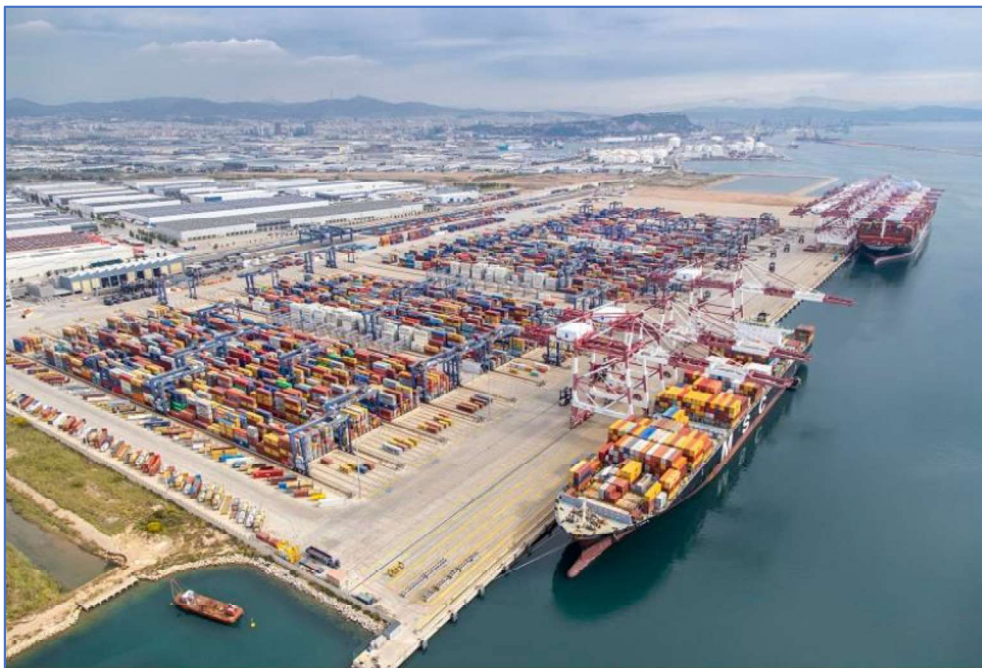


Imagen 7. Puerto de Barcelona. Fuente: Barcelonaport

3. AUTOMATIZACIÓN DE TERMINALES PORTUARIAS DE CONTENEDORES

En la actualidad las terminales automatizadas de contenedores han prosperado, debido a la gran necesidad por parte de las empresas operadoras de reducir los costos de los movimientos dentro de la terminal, lo que genera a su vez un mayor control de la información, calidad y seguridad en las operaciones.

Desde el año 1993 se han establecido alrededor de 58 terminales automatizadas en el mundo para el año 2020. Estas terminales se encuentran repartidas por todo el mundo, las cuales poseen diversos mecanismos automatismos en la manipulación y/o transporte de los contenedores, entre los cuales se encuentran:

- Sistemas de control de gestión centralizado
- Sistemas de control de puertas e identificación automática de matrículas de camión y contenedores.
- Sistemas de control de las labores de apilado de los contenedores.
- Sistemas de control y coordinación de los transportes de interconexión de los contenedores en la terminal.
- Sistema de control de pesaje
- Sistema de control y descarga de contenedores de barco a muelle
- Sistema de carga y descarga de contenedores en vehículos de recepción de entrega automatizados.



Imagen 8. Sistema automatizado en GATES. Fuente: Terminales Automatizadas y Semiautomatizadas. Operativa y equipamientos. Jaime Rodrigo de Larrucea

Con la implementación de los sistemas automatizados se logra que los elementos no automatizados no interfieran con la operación de los vehículos autoguiados dentro de la terminal. A continuación, se muestra la lista de terminales automatizadas en el mundo, destacando las Algeciras y Barcelona en España.

TERMINAL	Puerto	País	Inicio Operaciones
Delta Terminal	Róterdam	Holanda	1993
Pasir Panjang Terminal (PPT)	Singapur	Singapur	1997
London Thamesport	Isla de Grain, Kent	Reino Unido	2000
Container Terminal Altenwerder (CTA)	Hamburgo	Alemania	2002
Fishermans Island Terminal	Brisbane	Australia	2002
Ohi Terminal	Tokio	Japón	2003
Evergreen Marine Terminal	Kaohsiung	Taiwan	2005
Antwerp Gateway	Amberes	Bélgica	2007
Korea Express Busan Cont. Term. (KBCT)	Busan	Corea del Sur	2007
Virginia International Gateway	Portsmouth	Estados Unidos	2007
Pusan Newport	Busan	Corea del Sur	2009
Euromax Terminal	Róterdam	Holanda	2008
Tobishima Container Berth	Nagoya	Japón	2008
Hanjin New Port Terminal	Busan	Corea del Sur	2009
Taipei Port Container Terminal (TPCT)	Taipei	Taiwan	2010
Container Terminal Burchardkai (CTB)	Hamburgo	Alemania	2010
TTI Algeciras	Algeciras	España	2010
Hyundai Pusan New Port Term. (HPNT)	Busan	Corea del Sur	2010
Kao Ming Container Terminal	Kaohsiung	Taiwan	2010
Kaohsiung Intercontinental Terminal	Kaohsiung	Taiwan	2011
Pusan Newport Phase 2-3 (BNCT)	Busan	Corea del Sur	2012
Barcelona Europe South Terminal (BEST)	Barcelona	España	2012
Khalifa Container Terminal	Abu Dhabi	Abu Dhabi	2012
Brisbane	Brisbane	Australia	2014
London Gateway Berth 1 and 2	Londres	Reino Unido	2013
Global Terminals NY/NJ	New York – N.J.	Estados Unidos	2014
Sydney Int. Container Terminals (SICTL)	Port Botany Sydney	Australia	2014
Xiamen Ocean Gate Cont. Term. (XOCT)	Haicang, Xiamen	China	2014
Trapac	Long Beach	Estados Unidos	2014
TERMINAL	Puerto	País	Inicio Operaciones
Lamong Bay Terminal	Surabaya	Indonesia	2014
Jebel Ali Container Terminal 3 (T3)	Dubai	Dubai	2014
Brisbane Container Terminals (BCT)	Brisbane	Australia	2014
Sydney AutoStrad Terminal	Port Botany Sydney	Australia	2015
PSA PPT 3-1a Terminal 5	Singapur	Singapur	2015
PSA PPT 3-1b	Singapur	Singapur	2015
Manzanillo International Terminal (MIT)	Colón	Panamá	2015
APM Terminals Maasvlakte II	Róterdam	Holanda	2015
Rotterdam World Gateway	Róterdam	Holanda	2015
Long Beach Cont. Term. (Middle Harbor)	Long Beach	Estados Unidos	2016
Liverpool2	Liverpool	Reino Unido	2016
Lázaro Cárdenas Terminal 2 (TEC 2)	Lázaro Cárdenas	México	2017
Terminal Petikemas Semarang (TPKS)	Java	Indonesia	2017
Tuxpan Port Terminal (TPT)	Veracruz	México	2016
PSA PPT 3-2a phase 3+4	Singapur	Singapur	2017
London Gateway Berth 3	Londres	Reino Unido	2017
Victoria International Cont. Term. (VICTL)	Melbourne	Australia	2017
Yangshan Phase 4	Yangshan, Shanghai	China	2017
PSA PPT 3-2b	Singapur	Singapur	2017
Yangshan Deepwater Port	Shanghai	China	2017
Container Terminal Burchardkai (CTB)	Hamburg	Alemania	2017
Jebel Ali Container Terminal 4	Dubai	Dubai	2018
Vado Ligure	Vado	Italia	2018
Qingdao Qianwan Container Terminal	Qingdao	China	2018
APM Terminals MedPort Tangier	Tánger	Marruecos	2019
Tiajin Wuzhou Container Terminal	Tianjin	China	2019
Tuas Terminal MPA	Singapur	Singapur	2019
Ports of Auckland	Auckland	Estados Unidos	2019
DP World Sydney	Sidney	Australia	2020

Ilustración 10. Terminales Automatizadas en el Mundo al 2020. Fuente: Transporte XXI.

3.1 GRADOS DE AUTOMATIZACIÓN

En la última dos décadas se ha venido observando una constante alza en los costes de mano de obra por exigencias de normativas y leyes, el aumento del nivel tecnológico de la industria portuaria y la estandarización de los sistemas de manipulación de los contenedores ha conllevado a la decisión de desarrollar la automatización de los puertos y sus terminales. De manera que se han ido equipando progresivamente al observar un aumento en la productividad de movimientos en las terminales. Es importante remarcar que esta definición, no considera los grados de automatización que puedan existir por ejemplo en las puertas de acceso a la terminal portuaria.

Ante lo cual se pueden distinguir terminales automatizadas y semiautomatizadas, dependiendo del nivel de equipamiento automatizado con que cuenten dentro de los subsistemas de manipulación, de esta forma se han de considerar su distinción dependiendo del grado en automatizaciones menores y automatizaciones mayores, de acuerdo con el Manual de Capacidad Portuaria (Monfort, A., 2011).

De acuerdo, a los datos de la UNCTAD (2018), solo el 1% de las terminales portuarias están completamente automatizadas y solo un 2% del total se considera semiautomatizada, por lo que es clave la automatización para agilizar la cadena logística dentro del transporte marítimo, considerando que la inversión expuesta es de gran envergadura.

3.1.1 TERMINALES AUTOMATIZADAS

Se denomina terminal de contenedores totalmente **automatizada** a aquella que tenga las mismas características que la primera terminal

automatizada⁴, es decir, Europe Container Terminals de Rotterdam, por lo cual, se considera a aquella terminal en la que se ha automatizado las operaciones relativos a los movimientos horizontales realizados en el patio e interconexión muelle-patio, considerando que las operaciones correspondientes a grúa-buque se realicen de forma manual con operarios.

Actualmente existen varios ejemplos de terminales completamente automatizadas, pero la primera en hacerlo fue Victoria International Container Terminals de Melbourne, Australia en 2017, siguiendo por varias más hasta el 2020, la cual dentro de su equipo cuenta con:

- 5 Neo Panamax Quay Cranes
- 11 Automatic Container Carriers (ACC)
- 20 Automatic Stacking Cranes

Otro ejemplo claro y de la importancia de la automatización de la terminal portuaria para disminuir tiempos, aumentar la seguridad de la mercancía y de los trabajadores, es la terminal Qingdao Qianwang Container Terminal, Qingdao, en China, 2018, la cual cuenta con:

- 7 Cranes Ship to Shore (STS) por control remoto
- 38 Automatic Stacking Cranes (ASC)
- 38 Automatic Guided Vehicle (AGV)
- Escáner laser y sistemas GPS para depositar los contenedores en las AGV

Es tal, la eficiencia que se logra con la automatización, que los costos de mano de obra en la Terminal de Qingdao se han reducido aproximadamente en un 70% y la eficiencia aumento en un 30%, donde los trabajadores que se utilizaban para descargar un buque llegaban a los 60, siendo reducidos a

⁴ Manual de Capacidad Portuaria. Monfort Mulinas, A. et. al. 2011. Fundación Valencia Port

solamente 9. Esto permite a la terminal trabajar de manera continua las 24 horas durante los 7 días de la semana.



Imagen 9. Terminal automatizada de Qingdao Qianwang Container Terminal. Fuente: MasContainer

3.1.2 TERMINALES SEMIAUTOMATIZADAS

Para este tipo de terminales se reconoce que el movimiento en el patio se encuentra automatizado y la conexión entre el muelle-patio aún se efectúa con equipos convencionales manejados por operarios, y se considera también que sea viceversa la automatización.

Se considera que este tipo de terminal es una transición de aquellos puertos que buscan llegar a la automatización total de sus terminales, es por ello que muchas de ellas han empezado a invertir en estructura e infraestructura necesaria para logara la automatización, consecuencia de los altos costos.

Un gran ejemplo de España es la Terminal BEST del Puerto de Barcelona, inaugurada el 2012, es semiautomática, la cual en el transcurso de los años ha ido aumentando la flota de grúas tipo Super Post Panamax, con las cuales se consolida como mega terminal, potenciando sus ventajas competitivas, disminuyendo tiempos de tráfico, costes de estancia y emisiones de CO2.

3.2 FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LA AUTOMATIZACIÓN

La automatización de una terminal conlleva muchas veces a enfrentar el análisis de sus fortalezas y debilidades, es por ello por lo que se menciona estas para entender más a fondo lo que implica el desarrollo de esta iniciativa dentro de una terminal portuaria. Por lo cual, se enumeran a continuación algunas de ellas, identificadas por Jaime Rodrigo de Larrucea en su trabajo, “Terminales Automatizadas y Semiautomatizadas. Operativa y Equipamientos”, de la Universidad Politécnica de Cataluña.

FORTALEZAS

- Mayor predictibilidad y consistencia de las operaciones.
- Potencial ahorro de costes operativos, por menor coste de mano obra, al sustituir el OPEX por el CAPEX⁴. El objetivo es disminuir el coste operativo en su conjunto, así como evitar la incertidumbre que el trabajo manual puede ocasionar (por ejemplo, los incrementos salariales debido a la inflación, los problemas derivados de las negociaciones con los agentes sociales y la posibilidad de disputas y huelgas).
- Incremento de los aspectos de Seguridad e Higiene en el trabajo, debido a la no presencia humana en las áreas de operaciones.
- Menor tiempo de inactividad debido a la influencia de factores externos (por ejemplo, fuertes vientos).
- Incremento de las jornadas de trabajo, debido a que las máquinas pueden funcionar 24/7 sin necesidad de cambio de turno).

- Mayor eficiencia energética (más equipos eléctricos y menos equipos de combustión), siendo una opción potencialmente más ecológica.
- Menor coste de mantenimiento, derivado de una reducción de los equipos de combustión y una menor probabilidad de accidente.
- Mayor precisión y prevención del error humano, debido a que se elimina el factor humano, reduciendo la variabilidad en el proceso.
- Reducción de daños en equipos y cargas.
- Disminución del factor de pico (los movimientos de reordenación del patio de contenedores tienen un coste muy bajo y se puede trabajar a alta capacidad sin incidir en la estructura horaria: costes de nocturnidad, festividades, etc.).
- Mayor densidad de contenedores. Los bloques pueden ser de 8 hasta 11 contenedores de ancho (e incluso más, ya que las grúas ASC se adaptan a las características de la terminal). También se apila a más altura promedio (5 y 6 alturas), debido al casi nulo coste de la remoción de patio.

DEBILIDADES

- Una fuerte inversión, que en muchos casos puede limitar la viabilidad del proyecto al no proporcionar el retorno esperado por el inversionista o por la capacidad financiera del inversor. Se debe tener en cuenta que el equipamiento de patio y transporte horizontal debe ser agregado en grandes cantidades y de inicio, en lugar de efectuarse de manera gradual como en una terminal convencional.
- Posibilidad de conflicto social. La migración de trabajo convencional hacia el automatizado puede topar con una difícil negociación con los agentes sociales, dado que disminuye mucho la demanda de mano de obra, y ello tiene fuerte impacto social. La negociación final de las condiciones de trabajo de la terminal automatizada puede dificultar el alcance total de la reducción de personal que ofrece la automatización, determinando si la automatización tiene sentido o no.

- Criticidad de la falta de redundancia operativa. La avería en una grúa apiladora de contenedores que funcione de manera automatizada (con carácter general, grúa ASC (siglas de *Automatic Stacking Cranes*) influye en la operatividad del bloque de contenedores, ya que las grúas ASC no pueden cambiar su posición de un bloque a otro, posibilidad que sí ocurre con las grúas pórtico sobre neumáticos o RTG.
- Las terminales automatizadas carecen de flexibilidad. Su el diseño físico es difícil de cambiar una vez decidido y normalmente se mantiene para el a largo plazo. Las decisiones que deben tomarse en la etapa de diseño requieren prever las necesidades de la terminal en el largo recorrido, sin embargo, tanto la actividad de la terminal como las necesidades de sus clientes pueden cambiar de forma significativa durante el tiempo de concesión de la terminal.
- Si los niveles de actividad caen temporalmente, una terminal manual es más capaz de economizar y adaptarse a las nuevas circunstancias, ya que, en caso necesario, el personal adscrito a la terminal puede ser reubicado, o en su caso, aplicarse medidas de empleo.
- Los procesos llevados a cabo por una terminal no son necesariamente estables y homogéneos. Estos, pueden ser volátiles y cambiar con el tiempo. Se debe tener muy en cuenta que la automatización requiere y busca un alto grado de repetición y predictibilidad.
- La automatización no necesariamente supone una manipulación más rápida y mayores niveles de servicio.
- Los proyectos de automatización tienen un mayor riesgo y son más difíciles de implementar, mientras que las terminales manuales están sobradamente probadas y contrastadas.

3.3 CONSIDERACIONES PARA LA AUTOMATIZACIÓN

Al momento de considerar la automatización de una terminal portuaria, el diseño no está estandarizado debido a las características propias de cada terminal y su emplazamiento de acuerdo con condiciones climáticas y marítimas.

El desarrollo tecnológico que se ha vivido durante la última década es también una de las condicionante que se debe tener en cuenta, ya que todos los años de mejoran los sistemas operativos dentro de una terminal.

Existen distintos parámetros a considerar dentro de la inversión de la automatización pero uno de los más importantes es decidir si las obras deben ser llevadas desde cero o recurrir a la ampliación y mejora de las existente, ante lo cual un estudio debe considerar un análisis multicriterio donde se establezca como la base de todo no hacer nada y después analizar cada una de las opciones, donde intervienen una multitud de factores, provocando que el desarrollo de una terminal automatizada sea única y distinta a otras.

Por otro lado, se debe señalar que las inversiones en infraestructura se manejan bajos dos conceptos básicos altamente utilizados como lo son Greenfield (campo verde o abierto) o Brownfield (campo marrón u ocupado), es decir:

- Se considera una solución de inversión en estructura e infraestructura greenfield de una terminal, cuando se considera el desarrollo de una terminal desde cero con respecto a la ubicación y sus recursos, donde se construirá y montará una nueva terminal, teniendo en cuenta la nueva línea de atraque del muelle. Pudiendo implementar toda la tecnología necesaria para que la terminal sea completamente automatizada.
- Se considera una solución de inversión en estructura e infraestructura brownfield de una terminal, cuando existen proyectos de reposición, expansión, o ampliación adosada o aumentos de capacidad productiva, desarrollados en áreas existentes de la terminal portuaria. De esta forma la automatización se realiza en una terminal ya existente y operativa, en la que se hace necesario cambiar el layout o sistemas operativos para automatizar. Esto conlleva grandes dificultades al momento de la selección del equipo y superficie para los nuevos sistemas automatizados. Este tipo de desarrollo se lleva a cabo por parte en la terminal para evitar grandes pérdidas por los trabajos.

Es importante tener claro que, al considerar la automatización de una terminal, se deben establecer criterios únicos para construir una solución y de esta forma tomar la decisión de invertir en la automatización de una Terminal Portuaria de Contenedores, se recomienda la utilizar los distintos tipos de análisis multi objetivo existentes.

3.4 CONFIGURACIONES EN LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA TERMINAL PORTUARIA DE CONTENEDORES

Para la configuración y propiamente tal el diseño de una terminal automatizada asume gran importancia en cuanto a la disponibilidad existente o proyectada de superficie para disposición del patio y los sistemas de manipulación, los cuales conllevarán a unas condiciones puntuales para la configuración final de la terminal. Se ha de tener en cuenta que debido a las consideraciones que se tengan en cuenta afectara directamente a la configuración, pero aun así alrededor del mundo se pueden encontrar configuraciones bien habituales entre los puertos.

STS + RMG + INTERCONEXIÓN

Se trata de la configuración más común de terminales automatizadas, ya que las RMG son más fáciles de automatizar que otros equipos de patio, y las grúas STS en la actualidad ya están operando totalmente automatizadas en distintos puertos como en el de Melbourne desde 2017.

Esta configuración al ser tan común entre los puertos del mundo hace que su introducción sea mucho más fácil, de esta forma los diferentes puertos que ya cuentan con este sistema en sus terminales permitan desarrollar nuevas

tecnologías, configuraciones y diseños que modifiquen la operación en busca de un mayor rendimiento.

WIDE SPAN GANTRY CRANE + RMG

Se trata de una configuración bastante usual en pequeñas terminales de puertos interiores o fluviales de los países del norte de Europa. Se conforman por grúas de muelle de largo alcance que tienen dentro de su amplitud de maniobra parte de las pilas de almacenamiento, de forma que depositan los contenedores desde la cubierta del barco en el patio de almacenamiento sin unidades de interconexión.

Debido a la complejidad del sistema y el reducido uso de equipos, esta configuración apenas permite cambios y modificaciones, siendo poco flexibles a cambios en la demanda o en la llegada de barcos de mayor tamaño.

STS + RTG + INTERCONEXIÓN

Las grúas RTG son los equipos de patio más populares en el mundo, en la actualidad estas grúas tienen la posibilidad de semi-automatizarse, de forma que se pueden realizar las operaciones por operarios a control remoto. La ventaja fundamental aun no siendo completamente automática es permitir la reducción de costes y flexibilidad, al desplazarse sobre neumáticos no necesita la inversión en la infraestructura de railes que necesitaría un RMG

OHBC

El sistema de las OHBC es un sistema concebido para la automatización de los equipos, que otorga grandes rendimientos respecto a la densidad de patio y su funcionamiento. Se trata de un equipo con un precio bastante elevado, con

una instalación muy compleja y que debido a la densidad de patio se pierden las ventajas operativas, puesto que se tiene que realizar un gran número de remociones.

STS + AUTOSTRADS

Esta configuración, permite a las grúas STS depositar los contenedores de los buques en el suelo de la terminal para que un Autostrad (shuttle carries) lo cargue y lo deposite en patio. Se trata de un sistema de operación con un flujo bastante rápido, eficiente y económico frente a otras tipologías.

4. SISTEMAS DE MANIPULACIÓN EN UN TPC

De acuerdo con el concepto de una terminal portuaria anteriormente señalado, se pueden diferenciar cuatro subsistemas operacionales, los cuales se interrelacionan a través de la superestructura, infraestructura e infoestructura. Siendo estos subsistemas:

- Carga y descarga
- Almacenamiento
- Recepción y entrega
- Interconexión o transporte horizontal.

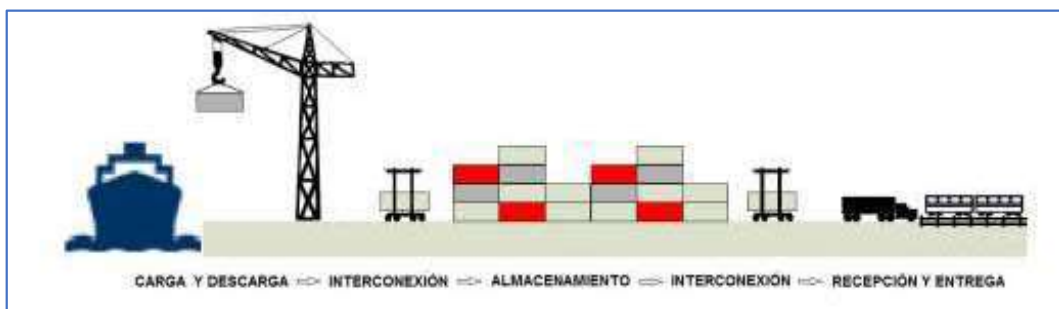


Ilustración 11

La posibilidad de descomposición de la terminal en los distintos subsistemas permite generar un análisis de las diferentes alternativas operacionales, las cuales se encuentran definidas por las características de manipulación y gestión de la información que lleguen a ser utilizadas en la terminal.

A continuación, se desarrollarán las características técnicas y posibilidades de automatización de cada subsistema.

4.1 SUBSISTEMA DE CARGA Y DESCARGA DE BUQUES

Son todos aquellos equipos o elementos situados en el muelle de la terminal que permiten la carga/descarga de contenedores de los buques atracados, es decir, las grúas, que con la aparición del contenedor produjo un cambio radical en la forma de su estructura, llevando a la especialización y estandarización para desembarcar los contenedores. Actualmente las Grúas STS, conllevan una ventaja significativa para terminales de contenedores automatizadas, debido a sus altos rendimientos, gran precisión y alta seguridad en las maniobras.

Se debe tener en cuenta que uno de los principales indicadores del rendimiento operacional observado, es la capacidad de la línea de atraque y los tiempos de duración de la operación de carga/descarga de un buque, de esta forma es fundamental tener en cuenta la cantidad de grúas que se encuentren disponibles y el rendimiento operativo para los distintos buques.

Este subsistema es considerado como crítico dentro de una Terminal Portuaria de Contenedores, debido a que, si este posee una alta densidad de tráfico, puede generar una reducción en el rendimiento general de la terminal.

Existen dos tipos básicos de grúas de muelle, para la carga y descarga de contenedores: las grúas pórtico y las grúas móviles, siendo estas últimas más polivalentes y las primeras diseñadas específicamente para operar con contenedores.

A continuación, se exponen ambos tipos de grúas de muelle y algunos de los sistemas de carga y descarga más utilizados actualmente en terminales automatizadas o semiautomatizadas.

GRÚAS *SHIP TO SHORE* (STS)

Las grúas STS son las más utilizadas en las terminales portuarias de contenedores, para la carga y descarga de buques portacontenedores. Permiten que la acción de descarga se realice en un solo plano perpendicular, con mayor precisión, rapidez y seguridad.

Estas son grúas pórticos montadas sobre carriles paralelos a la línea de atraque, permitiendo desplazarse para atender las diferentes bodegas de un buque. Funciona a través de una pluma abatible por donde circula un carro de aproximación en la prolongación vertical al contenedor que se desea cargar, una vez llega la posición el spreader desciende por medio de unos cables, hasta posicionarse sobre la tapa del contenedor y enganchar los twist-locks, que se accionan para cerrarse y bloquear el contenedor, e izar el contenedor trasladándolo horizontalmente hasta la plataforma de interconexión con la terminal.

En la actualidad las Grúas STS han alcanzado la automatización total, como las existentes en la terminal APM Terminal del Puerto de Tánger Med de Marruecos, que cuentan con un operador de la grúa a distancia en un edificio ubicado dentro de las dependencias de la terminal.

La tecnología comúnmente utilizada en los sistemas de automatización en las grúas es:

- Sistema del Hoist (elevación)
- Sistema del Trolley (carro)
- Sistema del Gantry (pórtico)
- Sistema del Spreader
- Sistemas ELC
- Ship Profile System
- Sistemas anticolidión

- Sistemas de verticalidad de la pluma
- Regulación del factor de la potencia
- Sistemas de reconocimiento óptico
- Sistemas de alineación chasis



Imagen 10. Grúas STS, Terminal TC3, Puerto Tánger Med, Marruecos. Fuente: Portalportuario.cl

SPREADER

Es el mecanismo que conecta la grúa con el contenedor, agarra el contenedor por sus cuatros esquinas, introduciendo el sistema de twist-locks que bloquea y sujeta el contenedor de forma que se pueda manipular, pudiendo trasladarlo con seguridad. Este elemento considerado la principal mejora tecnológica para la carga y descarga de los contenedores:

En la actualidad existen dos tipos de SPREADER:

- Twin-lift permite manipular dos contenedores en línea en una sola operación mediante el acoplamiento al cabezal de la grúa un spreader especial con ocho twist-locks.

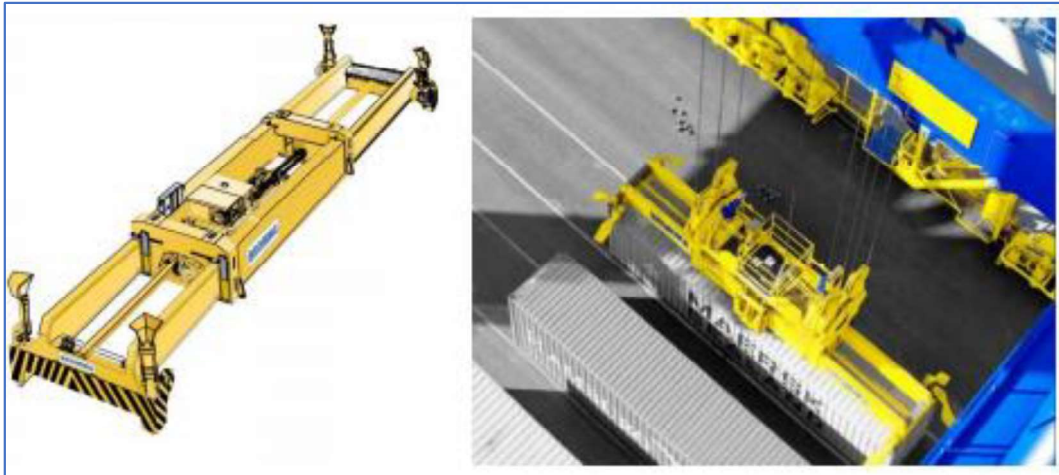


Ilustración 12. Spreader Twin-lift. Fuente: BROMMA

- Tandem, permite manipular dos contenedores de 40' o cuatro de 20' en paralelo en una sola operación, posee una gran ventaja de versatilidad.



Ilustración 13. Spreader Tandem 40/45. Fuente: BROMMA

GRÚAS MÓVILES

Las grúas móviles en muelle sirven para manipular los contenedores, en la actualidad en cuanto a manipulación de contenedores la grúa se puede equipar con distintos spreaders, sean fijos o telescópicos (manuales, semiautomáticos y automáticos), los cuales están conectados a un gancho giratorio. Su utilización abarca embarcaciones pequeñas hasta los buques Super Post Panamx.

Estas grúas son utilizadas en terminales multipropósito o polivalentes, pero su mayor uso no es para contenedores, sino que para la carga y descarga de graneles, de mercancía general. Uno de los grandes problemas es que la maniobra requiere la utilización de un plano horizontal al eje del buque y del muelle, por lo que necesita un mayor espacio entre grúas para la operación.

En cuanto a las dimensiones, existe gran variedad de tamaños y características en el mercado, con mayor y menor capacidad de cargas y velocidades operativas. Sin embargo, hay que recalcar que estas grúas transmiten una carga menor a la que ejerce una STS sobre el terreno, debido a su menor tamaño. Una de las ventajas de esta grúa es el precio, pero su debilidad es el menor rendimiento y al área de maniobra.






Imagen 11. Grúa Móvil LHM 500. Fuente: LIEBHERR

4.2 SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO

El subsistema de almacenamiento es el que se encarga de mantener temporalmente depositados los contenedores en el patio de la terminal portuaria. Se utilizan los equipos de patio, los que realizan movimientos generalmente para almacenamiento pero que también contribuyen al subsistema de recepción y entrega.

Este subsistema es el que más superficie consume dentro de una terminal de contenedores, por lo que se requiere el máximo aprovechamiento posible sin que los rendimientos operacionales sufran un descenso, de esta forma su diseño se proyecta con una gran densidad de almacenamiento y con la menor cantidad de movimientos posibles, teniendo en cuenta la seguridad de los contenedores,

es por ello que dentro de las terminales portuarias es uno de los subsistemas más automatizados, donde su configuración en planta de las pilas y las alturas, condicionan la capacidad de la terminal.

MAQUINARIA DE ALMACENAMIENTO				
TIPO	NOMBRE	ACRÓNIMO	CARACTERÍSTICA	IMAGEN
Grúas Portico	Rail Mounted Gantry Crane	RMG	Grúa apiladora sobre raíles, que ofrecen la capacidad de apilar hasta ocho contenedores, existen en modo manual, semiautomático y automático, posee una estructura rígida y robusta.	
	Rubber Tyres Gantry Crane	RTG	Grúa que se utiliza para operaciones intermodales para apilar contenedores, posee un spreader telescópico con el que puede trasladar contenedores de 20, 40 y 45 pies. Tienen una capacidad de apilamiento de 4 a 6 contenedores verticalmente y 6 a 8 horizontalmente	
	Automated Stacking Crane	ASC	Grúas totalmente automatizadas que permiten el apilamiento de los contenedores, la carga y descarga en el subsistema de recepción y entrega	

MAQUINARIA DE ALMACENAMIENTO				
TIPO	NOMBRE	ACRÓNIMO	CARACTERÍSTICA	IMAGEN
Vehículos de transferencia	Automated Guided Vehicle	AGV	Vehículo eléctrico autoguiado, que cuentan con baterías de carga rápida, disminuyendo la producción CO2 en las terminales portuarias	
	Automated Lifting Vehicle	ALV	Vehículo que a diferencia del AGV cuenta con dos plataformas elevadoras activas, lo que le permite levantar y colocar contenedores de forma independiente	
	Straddle Carriers	SC	Carretillas portico, funcionan con motores diesel, permiten el apilamiento de contenedores hasta tres alturas y movimiento en horizontal.	
	Reach Stacker		Vehículo utilizado para manipular contenedores, utilizado mayormente en terminales pequeñas y medianas	
	Sprinter Carriers	A- Sprinter	Vehículo que permite el transporte horizontal de contenedores, apilamiento de contenedores, carga/descarga de A-TT, carga/descarga de trenes, existen manuales y automatizados	
	Forklift Truck	FLT	Es la comunmente reconocida como carretilla elevadora, con dos paletas metálicas que le permite elevar contenedores hasta 3 alturas.	
	Automated Terminal Tractor	A-TT	Vehículo totalmente automatizados y eléctricos, por lo que reducen la emisión de CO2 en la terminal portuaria. Se podición por GPS dentro de la terminal	

4.3 SUBSISTEMA DE RECEPCIÓN Y ENTREGA

El subsistema de recepción y entrega tiene la función de transferir los contenedores desde la terminal al medio de transporte terrestre y viceversa, los cuales pueden ser a través de camiones o ferrocarril. El área destinada a este subsistema yace junto al subsistema de almacenamiento o el patio de contenedores.

La configuración del diseño de este subsistema dependerá principalmente del tipo de tráfico que predomine en la terminal, es decir, transbordo, importación y exportación. Así como también del número de accesos existentes y el sistema de intercambio de información y comunicación que dispongan. En las terminales portuarias automatizadas este subsistema está enfocado a entregar todas las facilidades a los conductores de camiones o ferrocarriles, para evitar que su estancia en la terminal sea más allá de lo presupuestado.

Es clave reconocer que este subsistema se puede volver a dividir a su vez en dos procesos para un mejor manejo de las operaciones de los contenedores, es decir, distinguir entre la recepción de contenedores y entrega de contenedores, ya que ambos procesos comprometen tiempos distintos en la terminal.

- El proceso de recepción de contenedores comienza cuando los camiones o trenes llegan a la terminal portuaria con contenedores cargados, accediendo a una cola en la puerta de acceso, donde se controla la información y documentación tanto del conductor como del contenedor. Esta última acción regularmente se produce con los camiones, ya que los trenes entran de forma más directa a la terminal.
- El proceso de salida de contenedores comienza cuando el medio de transporte ya sea el camión o tren, tenga autorización para ingresar a la terminal y pueda ser cargado con el o los contenedores. Comúnmente los camiones se desplazan a una zona de espera, de esta forma se evita la circulación de vehículos ajenos a la terminal.

En los puertos automatizados las grúas ASC, permiten la carga de los contenedores directamente en los camiones o trenes, utilizando sistemas de geolocalización y sensores, para ubicar las plataformas donde depositar el contenedor. A continuación, en la ilustración de la empresa KALMAR, se aprecia como con la automatización de la terminal en el proceso de entrega, se lleva de una manera más eficiente y eficaz, aminorando los costos, aumentando la seguridad y disminuyendo las emisiones de CO2 dentro de la terminal.

Muchos terminales han optado por automatizar los accesos, de esta forma permite que el desarrollo del proceso de entrada y salida de la terminal sea más expedito, para lo cual se han automatizado los procesos de aceptación de contenedores vía puertas. Para lo cual se lleva a cabo:

- Identificación de contenedores (lectura de matrícula), tipo ISO y tamaño.
- Identificación de camiones: Matrícula de camión y transportista
- Identificación de etiquetajes y marcas, como las etiquetas IMO
- Pesaje que incluya el taraje
- Contrastación con la información recibida por parte de PC System o de las ordenes de la naviera.
- Revisión de daños
- Gestión de incidencias

La automatización de los accesos es uno de los más implantados a nivel mundial, entregando un mayor grado de fiabilidad a la transferencia de la carga entre la terminal y el receptor.

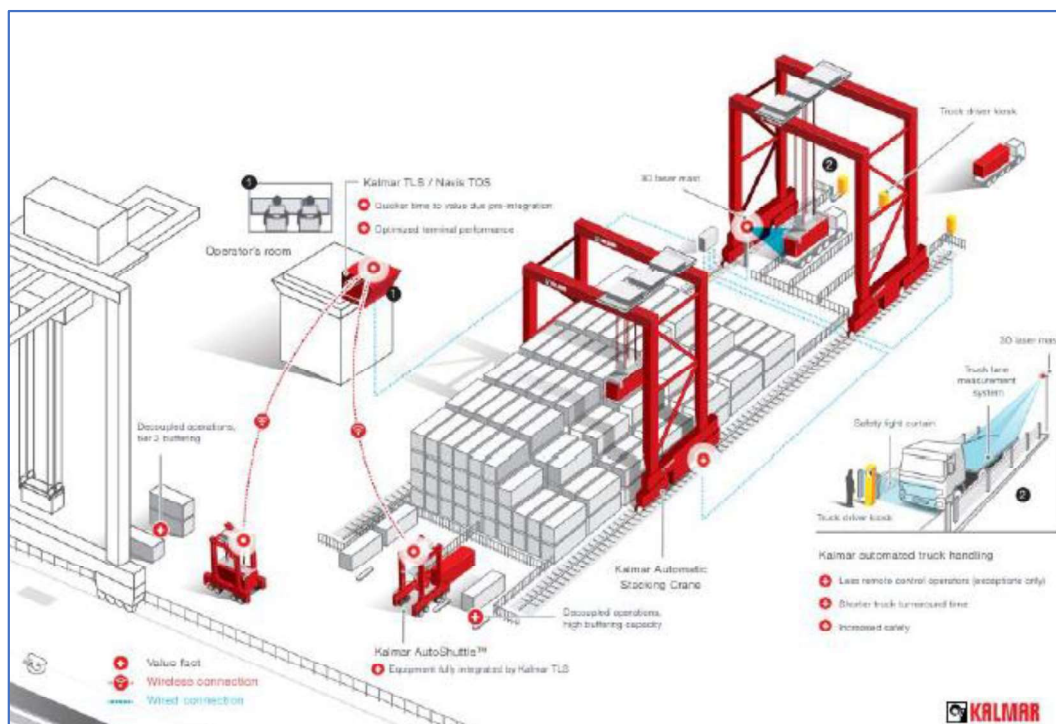


Ilustración 14. Terminal ACS. Fuente: KALMAR

4.4 SUBSISTEMA DE INTERCONEXIÓN

El subsistema de interconexión responde al intercambio de mercancías e información entre los diferentes subsistemas existentes en la terminal portuaria. Se ocupa de la comunicación, siendo crítico su papel de conexión entre el muelle y patio, para la distribución eficaz de los contenedores.

El subsistema de interconexión debe ser rápido y seguro, por cual mantener un sistema de operaciones actualizado dentro de la terminal es fundamental, ya que de esta forma se asegura minimizar los accidentes y maximizar la cantidad de movimientos de transporte de los contenedores.

El subsistema se debe diferenciar en el área de acción, por lo cual se desarrolla en el:

- Transporte entre el muelle y el sistema de almacenamiento

- Transporte entre el sistema de almacenamiento y los sistemas de recepción y entrega de camiones y ferrocarriles.

La automatización y digitalización de este sistema, se relaciona con el uso lógico de las herramientas y maquinaria a disposición actualmente en el mercado, permitiendo la reducción o eliminación de errores en la entrega de un contenedor entre los distintos subsistemas.

La maquinaria y sistemas que se utilizan en las distintas terminales del mundo se puede resumir en:

- AGV
- ALV
- Reach Stacker
- Straddle Carrier
- Automatizad Track Handling
- Navis TOS
- A-TT
- A – Sprinter

5. PUERTO DE VALENCIA - APM TERMINALS VALENCIA

En España, Puertos del Estado es un organismo público que depende del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana y está encargado de coordinar y controlar los 46 puertos de interés general, los cuales son gestionados por 28 autoridades portuarias, dentro de las cuales está la Autoridad Portuaria de Valencia (APV) quien opera bajo la denominación comercial de Valenciaport.

LA APV gestiona el Puerto de Valencia, el Puerto de Gandía y el Puerto de Sagunto, y dentro del Puerto de Valencia se localiza la APM Terminals Valencia.

5.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La situación geográfica de un puerto es un factor determinante en sus tráficos. La relevancia del Puerto de Valencia se explica, entre otros aspectos, por su posición geoestratégica.

El Puerto de Valencia está ubicado en el centro del Arco Mediterráneo Occidental en línea con el corredor marítimo Este-Oeste que pasa por el Canal de Suez y el Estrecho de Gibraltar, convirtiéndose en la puerta de entrada del mercado asiático en España.

Situado al este de la ciudad de Valencia, junto al Mar Mediterráneo. Valencia es capital de la Comunidad Valenciana que cuenta actualmente con más de 787 mil habitantes y es el centro de una extensa área metropolitana que sobrepasa el millón y medio. Representa el 16% de la población de la Comunidad

Valenciana y es por tamaño demográfico, la tercera ciudad de España después de Madrid y Barcelona.

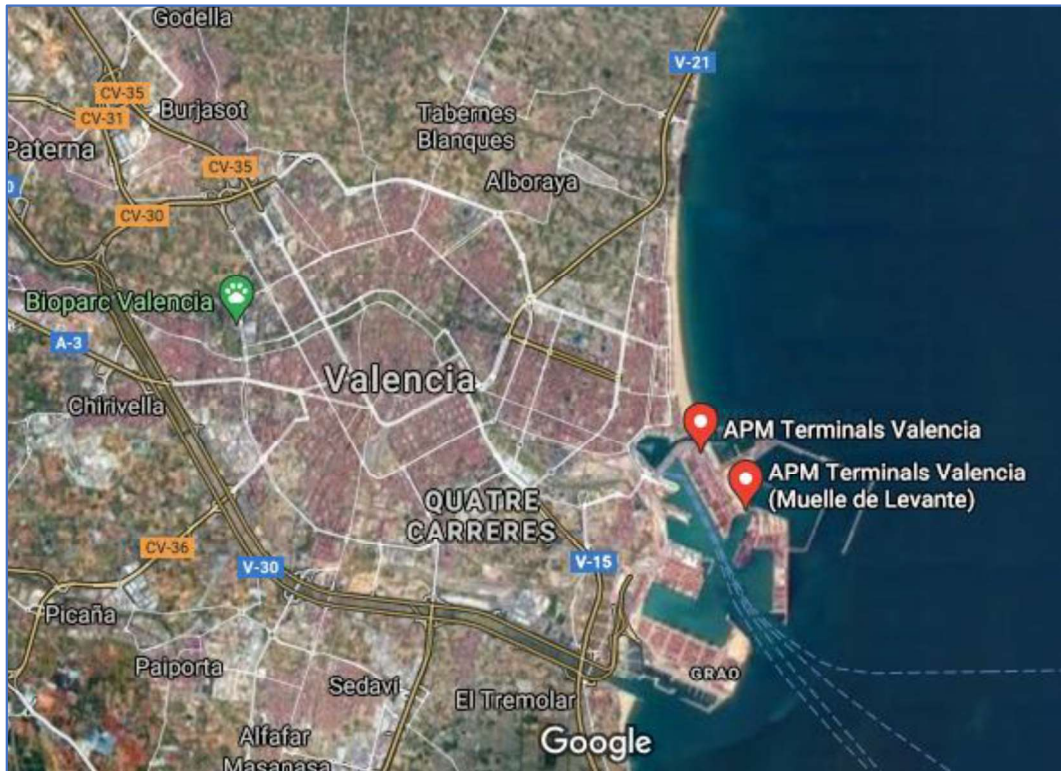


Imagen 12. ubicación geográfica del puerto. Fuente: Google Maps

La ciudad de Valencia se basa en una gran parte en el área de servicios. Actualmente la población dedicada en el sector servicios es el 83% del total, adquiriendo gran importancia las actividades de demanda final, del comercio minorista y mayorista, de los servicios especializados a empresas y de actividades profesionales.

En el Puerto de Valencia tiene tres terminales, las cuales son Noatum Container Terminal Valencia, MSC Terminal Valencia y la APM Terminal Valencia

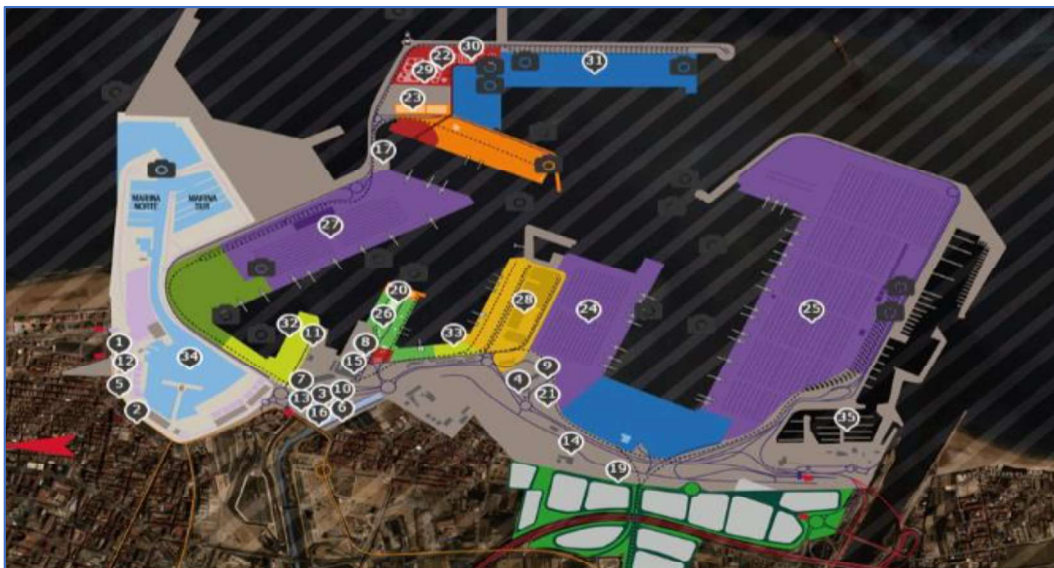


Ilustración 15 Puerto de Valencia. Fuente: Valenciaport

Respecto a la localización geográfica de la APM Terminals Valencia, esta está situada en el muelle de Levante del Puerto de Valencia. Ubicación que presenta ciertas ventajas ya que facilita los servicios de transbordo. Además, dispone del área del Espigón Muelle Turia, donde puede atender a buques con mercancía convencional, rodante y realizar operaciones de carga especial

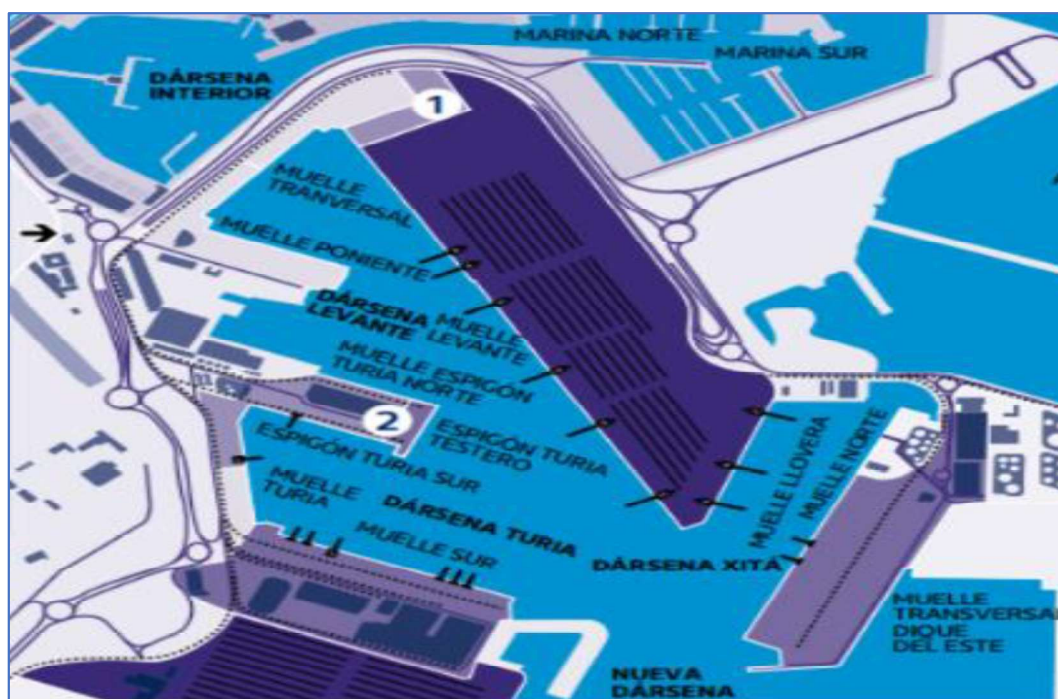


Ilustración 16 APMT Valencia. Fuente: Valenciaport

En la actualidad esta terminal se encuentra en proceso de expansión para aumentar su capacidad de TEUs y los calados de los muelles.

5.2 ZONA DE INFLUENCIA LOGÍSTICA

Para definir el área de influencia de un puerto podemos diferenciarla en dos partes, hinterland y foreland:

- **Hinterland:** representa la zona terrestre de origen o destino de las mercancías o pasajeros que pasan a través de un puerto determinado. Es la región nacional o internacional que es origen de las mercancías embarcadas en el puerto y destino de las mercancías desembarcadas en el mismo. Es, de forma resumida, su zona de influencia territorial alrededor del mismo.
- **Foreland:** aquellos otros territorios conectados al puerto por vía marítima y hacia los cuales se dirige la carga generada por su hinterland o de la cual procede las mercancías destinadas a dicho hinterland. Es su área de influencia marítima o zona complementaria portuaria.

El área de influencia correspondiente al Hinterland del puerto de Valencia alcanza los 350 km, y su amplia red de conexiones extiende el Foreland a los principales puertos del mundo. El puerto de Valencia sirve de hub para el transbordo de carga, importación y exportación, del Mediterráneo Occidental, permitiendo distribuir de forma eficiente las mercancías hacia otros destinos más pequeños en un radio de 2000km. Actúa como tal no sólo en los países del Sur de la Unión Europea, sino también en los países del Norte de África, conectando con más de mil puertos alrededor del mundo, con un inmenso mercado de 270 millones de consumidores. Funciona como puerto natural de Madrid por ser el puerto más cercano, conectando con el centro de la península tanto por ferrocarril como por carretera, y como una de las plataformas esenciales para otras regiones económicas como Castilla la Mancha, Aragón, Murcia y Andalucía

Oriental. Con un Hinterland de 350 KM, abarca el 51% del PIB y a la mitad de la población activa española.

Por otra parte, esta terminal posee una conexión ferroviaria con la red nacional que permite importar o exportar a cualquier lugar de la península, lo que permite reducir costes de distribución y aumentar la eficiencia del servicio. Existen servicios diarios entre Valencia y Madrid y otros corredores regulares conectando los principales lugares, además la empresa APM Terminals Railway Valencia ofrece soluciones intermodales para una logística más integradas.

Los principales servicios son:

- Trenes diarios
 - Valencia – Madrid (Coslada y Abroñigal)
 - Madrid (Coslada y Abroñigal) – Valencia
- Dos trenes semanales
 - Valencia Zaragoza
 - Zaragoza – Valencia



Ilustración 17 Servicios ferroviarios APMT Valencia. Fuente: APMT Valencia

5.3 INSTALACIONES Y EQUIPO EXISTENTE EN EL PATIO DE CONTENEDORES

La APM Terminals Valencia es una terminal semiautomatizada con sistema de reconocimiento OCR en sus puertas de acceso que disponen de un sistema operativo para la gestión en la terminal,

La disposición en el patio corresponde a bloques horizontales en los que operan las grúas RTG. Para los buques atracados en el muelle Llovera la disposición es vertical.

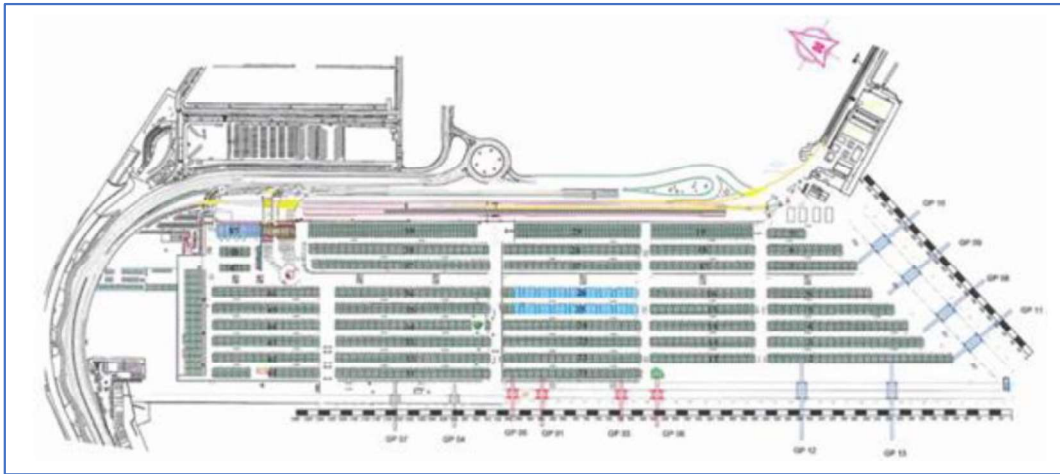


Ilustración 18 Patio contenedores APMT Valencia. Fuente: APMT Valencia

La terminal APM Terminals Valencia tiene una superficie de 45 hectáreas y una línea de atraque de 1.660 m, cuyo calado varía entre los 9 y los 17 m.

Los muelles que posee la terminal son los siguientes:

- Muelle Levante:
 - Longitud: 1.230 m
 - Calados: varía entre los 9 m a los 17 me de
- Muelle Llovera
 - Longitud: 430 m
 - Calado: 16 m

Por otra parte, posee 4 acceso ferroviario directo con dos vías, 700 conexiones para contenedores frigorífico, y 8 puertas tráfico terrestre.

El parque de maquinaria utilizado se compone de diferentes y avanzados equipos de manipulación que permiten una transferencia de contenedores con varios medios de transporte.

Dentro de los equipos que se encuentran se tiene grúas pórtico Over-Post-Panamax, para atender buques de mayor capacidad, grúas Post-Panamax y Panamax, para buque medios, y feeder, RTG's, reach-stackers, cabezas tractoras, plataformas, entre otros elementos auxiliares para manipulación de mercancías.

Tipo	Cantidad*
<i>Grúas Pórtico</i>	<i>12</i>
<i>Mallacamax</i>	<i>2</i>
<i>Súper-post-panamax</i>	<i>4</i>
<i>Post-panamax</i>	<i>4</i>
<i>Panamax</i>	<i>2</i>
<i>RTG</i>	<i>30</i>
<i>Reach Stackers</i>	<i>6</i>
<i>Frontal vacíos</i>	<i>6</i>
<i>Mafis</i>	<i>57</i>
<i>Plataformas</i>	<i>55</i>
<i>Area convencional muelle Turia</i>	
<i>Grúa móvil</i>	<i>1</i>
<i>Frontal Horquillas</i>	<i>3</i>
<i>Elevadora</i>	<i>21</i>

Ilustración 19 Equipamiento APMT Valencia. Fuente: APMT Valencia

Por otra parte, dispones un sistema de información para la gestión operativa, garantizando un buen servicio al cliente, abarcando todas las áreas de la terminal. Este sistema actualiza la base de dato a tiempo real, controla maquinaria automatizada mediante GPS y ofrece plataforma web para seguimiento de las mercancías por parte de los clientes.

Cabe mencionar que la terminal de contenedores está certificada desde el 2001 bajo norma UNE-EN-ISO9001:2008 por la empresa Bureau Veritas. Como resultado de la aplicación de las normas de calidad a la actividad diaria, la empresa tiene establecidas políticas de calidad para el compromiso de satisfacción con los clientes.

5.4 NECESIDADES DE LA AUTOMATIZACIÓN

Las terminales de contenedores automatizadas se establecen con el objetivo de reducir los costes de manipulación y con la intención conseguir un mayor control y una mejor calidad en las manipulaciones de la mercancía. Los principios básicos para conseguir lograr dichos objetivos son: altos rendimientos con maquinaria especializada y un reducido número de personal. Para conseguir estas premisas se debe de realizar una gran inversión inicial, pero gracias a esto conseguimos reducir significativamente el coste de explotación, sobre todo reduciendo el coste de personal. Los estibadores se organizan por grupos de trabajo que son denominados en la jerga como “manos”.

En una terminal convencional una mano está compuesta como mínimo por 14 trabajadores. En cambio, en una terminal automatizada, este número se reduce en función del grado de automatización.

Al automatizar el subsistema de almacenamiento, se elimina la necesidad de los operadores de las grúas de patio y con la automatización del subsistema de interconexión, se prescinde de los conductores que suman entre 4-5 personas. Por tanto, el número se reduce a 8 estibadores entre los que se encuentran, el capataz como responsable de la operática, el sobordista como coordinador del gruiste, el gruista, el clasificador encargado de controlar los flujos de contenedores entre la grúa y el almacenamiento, dos especialistas encargados de la retirada y colocación de twist-locks, y dos operarios especializados en las tareas de trinca de contenedores en el buque. La tarea del

clasificador puede ser sustituida por la colocación en las grúas muelle de cámaras de reconocimiento óptico, aunque siempre será necesaria una persona que controle el correcto funcionamiento del sistema operativo.

Esto se traduce en que los costes de mano de obra representan, en las terminales convencionales, alrededor del 50 % de los costes del paso del contenedor por el puerto. En el siguiente gráfico se muestra la distribución media de los costes por TEU en los puertos españoles de la vertiente mediterránea.

Como se ha mencionado la APM Terminals Valencia es una terminal semiautomatizada con proyecciones de crecer, tanto en capacidad como en rendimientos, puesto el aumento del tráfico marítimo está exigiendo una fuerte demanda en la automatización de los procesos relacionados con los contenedores. Por lo tanto, mejorar la eficiencia y la seguridad son parámetros importantes en el crecimiento de un cualquier terminal, pero a su vez, las demandas medioambientales cada día son más importantes, por lo que conseguir que sostenibilidad de las operaciones también es un reto que considerar en las futuras planificaciones.

Para el caso de la terminal de contenedores de la APM Terminals Valencia la solución clave es optar por una automatización progresiva que se vaya adaptando a las necesidades proyectadas, así se disminuirá de forma progresiva del equipo humano y los riesgos de accidentes y pérdidas de contenedores.

Actualmente la APM Terminals ha realizado grandes inversiones en sus diferentes terminales en el mundo. Por ejemplo, hace algunos años se inauguró la terminal especializada en contenedores II en México, la cual ha alcanzado a movilizar cargas superiores a 500 millones de toneladas.

Otro ejemplo, que ha sido mencionado anteriormente la terminal APM Terminal del Puerto de Tánger Med de Marruecos que posee una automatización total.

Otro caso, y quizás el más relevante, es la terminal APMT en el puerto de Rotterdam, el cual se considera a sí misma como la terminal de contenedores más avanzada y sostenible.

La APMT de Rotterdam tiene 180 hectáreas con un muelle de 2.800 metros de largo para una capacidad anual de 5 millones de TEUs. Desde el 2015 que se comenzaron las operaciones automatizadas implementando grúas de buque y vehículos AGVs, todo guiado por sistemas de navegación para transportar contenedores desde muelles hasta los depósitos. Además, en esta terminal existen turbinas de viento para utilizar energía eólica. Según el presidente ejecutivo de la APMT, Kim Fejfer, indica que *“el modelo de negocio es sostenible y elimina emisiones usando energías renovables y beneficiando a la población. Además, las navieras que trabajan con experimentan un 40% más de productividad gracias a la automatización”*

Como se puede observar, los procesos de automatización están llegando a niveles muy sofisticados y elevados para el transporte, distribución y almacenamiento de mercancías.

Según investigaciones las ineficiencias relacionadas con el puerto y las navieras le cuestan a la industria más de 17 millones de dólares al año, lo cual, gracias a la automatización se puede reducir en más de un 45%. Por otra parte, la eficiencia de carga de contenedores aumenta por sobre el 50% del promedio mundial y los costes de mano de obra se reducen en más del 70%.

Por lo tanto, la automatización reduce costes en mano de obra, reduce costes en combustible, aumenta la capacidad y los rendimientos, mejora la

seguridad y calidad de los procesos, y con ello se obtiene mayor eficiencia energética, diseños sostenibles y menor contaminación.

Finalmente, hay que considerar el elevado coste de inversión para adoptar una infraestructura totalmente automatizada, lo que hace necesaria una evaluación económica para garantizar que, en función de los tráficos esperados, se tenga rentabilidad suficiente.

Si bien este cambio de infraestructura para transformar la terminal semiautomatizada en totalmente automatizada puede ser de varios años, el retorno de la inversión se irá viendo reflejado rápidamente a medida que se implementen nuevas tecnologías. Es por eso por lo que el curso de este proceso debe estudiarse con detalle para garantizar que se cumplan los estándares establecidos tanto por las normativas vigentes, como por las exigencias sociales.

6. ANÁLISIS DEL DISEÑO TÉCNICO DE LA TERMINAL

En este apartado se abordará análisis del diseño técnico de la terminal, estableciendo los criterios de diseño, aplicando los cálculos y medidas necesarias para el diseño de las zonas que la componen, además de los equipos necesarios para llevar a cabo las operaciones dentro de la terminal APM Terminals Valencia.

Este trabajo de diseño se abordará sobre supuestos, asumiendo valores que se consideren óptimos y realistas para construir una propuesta de diseño operacional de una terminal automatizada, basado en la información disponible.

6.1 CRITERIOS DE DISEÑO

Para llevar a cabo el diseño de una terminal automatizada, se tendrán en consideración criterios que condicionarán decisiones, con lo cual se establecerá una base que permita obtener un diseño eficiente y eficaz desde el punto de vista operacional.

Los criterios que se establecen son:

- Calado uniforme de los muelles de la Terminal portuaria, ya que en la actualidad cuenta con 5 calados distintos, limitando la capacidad de arribo de buques de mayor dimensión. Por lo que, se establece un calado uniforme de 18
- metros en toda la línea de atraque.
- Sistema de trabajo decoupling, el cual se trata de separar las distintas maniobras de forma que no dependan una de otra, de esta forma evitar

cuellos de botella en el sistema de operación de los distintos subsistemas de manipulación en la terminal.

- Disposición de patio horizontal o paralela al muelle con mayor longitud en este caso al muelle Levante con una longitud de 1230 metros frente a los 430 metros de longitud del muelle Llovera. Por lo que se mantendrá la disposición actual, debido a que la geometría existente favorece a esta disposición en el aprovechamiento de la totalidad del área.

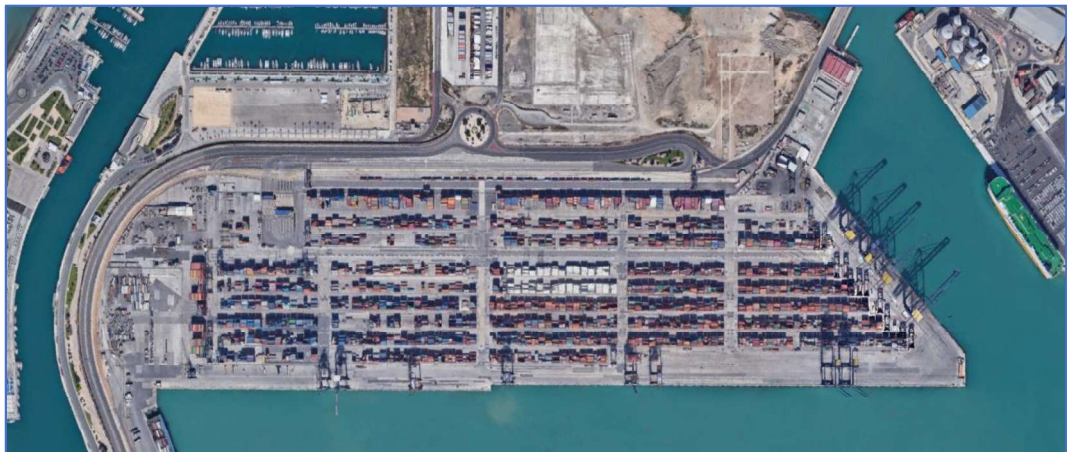


Imagen 13. Terminal APM Terminals Valencia. Fuente: Google Earth

- Establecimiento de una estrategia rígida de disposición de los contenedores, ordenando en bloque las áreas destinadas a los distintos tipos de contenedores, ya que se considera que una estrategia dinámica requiere de una fuerte inversión en dispositivos de alimentación como por ejemplo para los contenedores Reefer, además de un esfuerzo de dimensiones en control de la posición de cada contenedor.
- Disposición de sistema de amarre automático para buques en toda la línea de atraque.

Debido a que la geometría de la terminal es una condicionante en el diseño no ha querido modificar porque las opciones analizadas disminuían el área de la terminal o en tal caso se superponen sobre el muelle Norte, lo que en la práctica es inviable.

6.2 EQUIPAMIENTO EMPLEADO

De acuerdo con los criterios establecidos en el apartado anterior, se expondrá cada uno de los equipamientos necesarios para el diseño de la nueva terminal automatizada.

6.2.1 EQUIPO DE MUELLE

SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO

Con el fin de minimizar el trabajo en el área de operación y así mismo disminuir la posibilidad de accidente, se ha optado por la instalación de 6 sistemas de amarre MoorMaster 400 (trial) con una capacidad de 400 KN cada uno y 250.000 ciclos de vida del poliestireno, el cual realiza la función de ventosa, en el muelle Llovera.

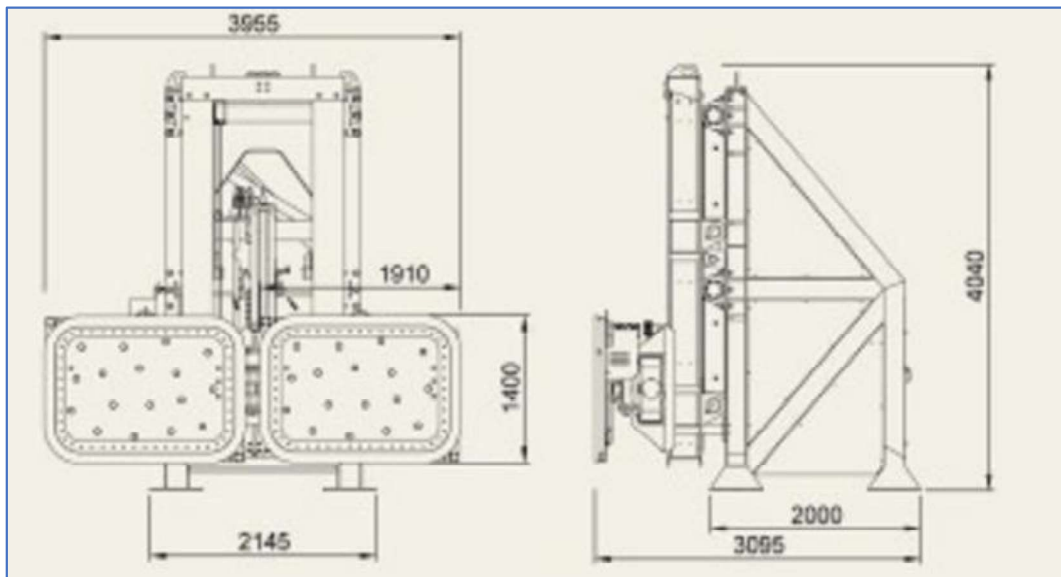


Ilustración 20. MoorMaster 400. Fuente: CAVOTEC

La distribución de estos sistemas de amarre automático quedará repartida de manera uniforme a lo largo de la línea de atraque, esto es cada 70 metros, de esta forma en el muelle Llovera podrá utilizar este tipo de sistema y con el calado de 18 metros, disponer de condiciones óptimas para albergar buques de 20.000 TEUs. Así mismo se dispondrán en el muelle Levante 15 unidades más, a lo largo de la línea de atraque.

GRÚAS DE MUELLE STS

Las operaciones de carga y descarga, dadas las excelentes condiciones batimétricas que se van en el puerto de Valencia, se decide la instalación de grúas Ship To Shore (STS) sobre unos raíles Megamax de la compañía Liebherr container Cranes.

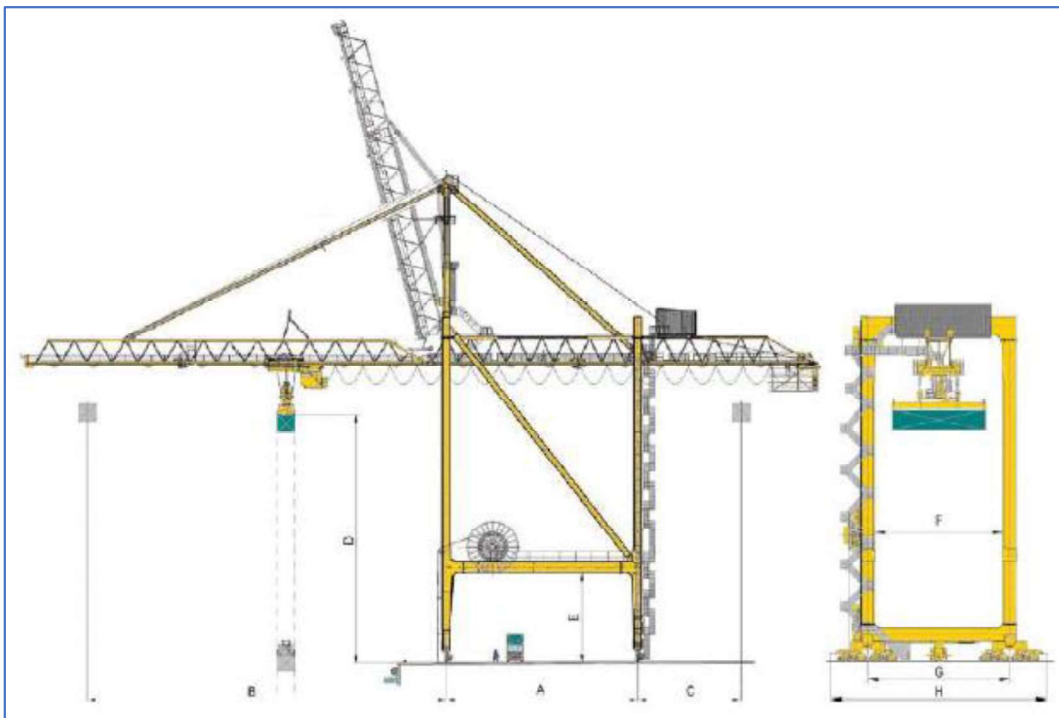


Ilustración 21. Grúa Megamax. Fuente Liebherr

Typical Super Post Panamax / Megamax Crane	
DIMENSIONES (metros)	
A: distancia entre raíles	32
B: alcance delantero	70
C: alcance trasero	25
D: altura de elevación	49
E: espacio libre bajo travesaño	15
F: ancho entre pilares	15
G: distancia ruedas delanteras-traseras	18,2
H: ancho total	32
CARACTERÍSTICAS	
Velocidad de elevación (m/min)	70-175
Velocidad de carro (m/min)	210-240
Velocidad portico (m/min)	45
Carga nominal (Tn)	60-80
Carga de spreader (Tn)	65 en twin ; 80 en tándem

Ilustración 22. Características Técnicas Megamax Crane. Fuente: Liebherr

Establecida la grúa tipo a implementar en la terminal, se ha optado por la adquisición de 6 Grúas STS Megamax, atendiendo al criterio de comprar en una terminal nueva la cantidad de grúas necesarias para atender al buque de mayor largo que vaya a atracar, distanciadas 80 metros entre ellas. De esta forma se reemplazarían las 2 Panamax y las 4 Post-Panamax existentes.

6.2.2 EQUIPOS DE TRANSPORTE HORIZONTAL

En los apartados anteriores ya se ha comentado sobre los distintos dispositivos con los cuales se puede contar en una terminal automatizada es por ello por lo que a continuación se indicaran cuáles son los escogidos y sus cantidades.

- ALV, equipos empleados para resolver el sistema de interconexión

Technical data for the AGV & Lift AGV	
Positioning accuracy	+/- 25 mm
Fuel tank capacity	1,400 l
Fuel consumption	approx. 8 l/h (approx. 10 l/h*)
Container Types	
1 x 20', 1 x 40' and 1 x 45' container	
2 x 20' containers	
1 x 30' container as an option	
Load Weights	
Max. weight of a single container	40 t
Max. weight of 2 x 20' containers	60 t
Dimensions	
Length (depending on bumper)	approx. 14.8 m
Width	approx. 3.0 m
Loading area height	approx. 1.7 m (2.2 m*)
Dead weight	approx. 25 t (34 t*)
Tyre size	18.00 R 25
Speeds	
Max. speed forward / reverse	6 m/s
Max. speed in curves	3 m/s
Max. crab steering speed	1 m/s

Ilustración 23. información técnica de un vehículo Lift AGV. Fuente: GOTTWALD

El número de equipos se determinará en el apartado de cálculo de la capacidad por la línea de atraque puesto que, durante el cálculo de dicha capacidad es necesario el cálculo de la productividad media del buque atracado (mov/h), cuyo valor depende del número de grúas de muelle. Una vez se obtenga el número de grúas de muelle a implantar, así como la productividad de cada una de ellas, podrá determinarse el número de Lift-AGV a implantar en la terminal.

6.2.3 EQUIPOS DE ALMACENAMIENTO

El patio de almacenamiento de contenedores será operado por grúas ASC. Estas grúas son las empleadas en la gran mayoría de terminales automatizadas o semiautomatizadas, y su funcionamiento está sobradamente probado.

Dado que la distribución del patio de contenedores de la terminal será paralela a la línea de atraque, la tipología de grúas seleccionada será ASC. Se dispondrán 2 Grúas ASC por cada bloque permitiendo gran capacidad de movimientos. Tal como se ha indicado en apartados anteriores, funcionan con energía eléctrica y son capaces de almacenar hasta 11 contenedores entre patas lo que permitiría disminuir las calles interiores y aumentar la capacidad de la terminal, además son capaces de apilar hasta una altura de 6+1. Están preparadas para cargar y descargar camiones externos de forma totalmente automatizada, y en caso de que esto no fuera posible, disponen de un sistema a control remoto.

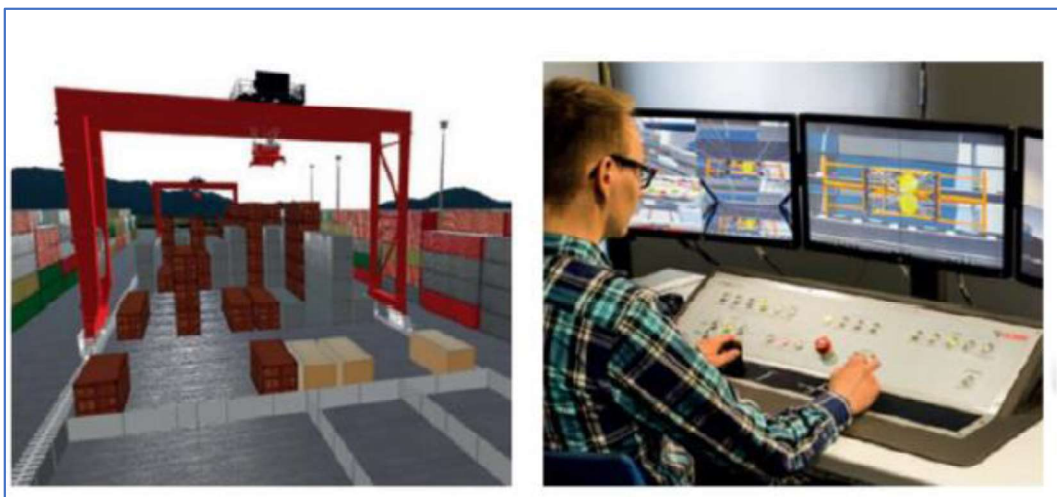


Ilustración 24. Sistema de control remoto de Grúas ASC. Fuente: KALMAR

Para contenedores sobredimensionados se reserva equipos manuales como tres Reach Stacker, que permitirán auxiliar en caso de ser necesario.

6.2.4 EQUIPOS DE RECEPCIÓN Y ENTREGA

Dado que la terminal APM Terminals Valencia cuenta con 8 puertas de entrada y salida para camiones y 4 vías de acceso ferroviario, las que cubren las necesidades totales del subsistema.

Debido a que el acceso actual a la Terminal se encuentra automatizado con lectores OCR y sistema de comunicación TOS, no se considera dentro de los próximos análisis.

6.3 DISEÑO DE LA TERMINAL

En el siguiente apartado se detallarán todos los cálculos necesarios para obtener una visión más clara del nuevo diseño automatizado de APM Terminals Valencia. Se atenderán todos los factores que afecten a la terminal, basándose en bibliografía y normativa especializada.

Se analizará la capacidad de contenedores que se pueda operar en cada uno de los subsistemas, de tal forma poder determinar la capacidad de tráfico en la terminal, generando distintos escenarios para el patio de almacenamiento.

Los cálculos se han obtenido a través de la metodología indicada en el *“Manual de capacidad portuaria: Aplicación de Terminales de Contenedores, Arturo Monfort, 2008”*.

6.3.1 CAPACIDAD POR LÍNEA DE ATRAQUE

Para desarrollar el cálculo de la capacidad de la línea de atraque de una terminal, se deben tener en cuenta una serie de aspectos operativos de la

terminal relacionados con la eficiencia, eficacia y calidad del servicio ofrecido, tales como:

- Productividad del equipo de muelle (TEU/hora)
- Número de equipos de muelle
- Número de días operativas del puerto
- Características de los buques
- Distribución estadística del tiempo de servicio
- Calidad de servicio
- Distribución de llegada de los buques

De acuerdo, a este conjunto de variables la Fundación Valenciaport elaboró un esquema en el cual se ilustran los factores a considerar a la hora de calcular la capacidad de una terminal.

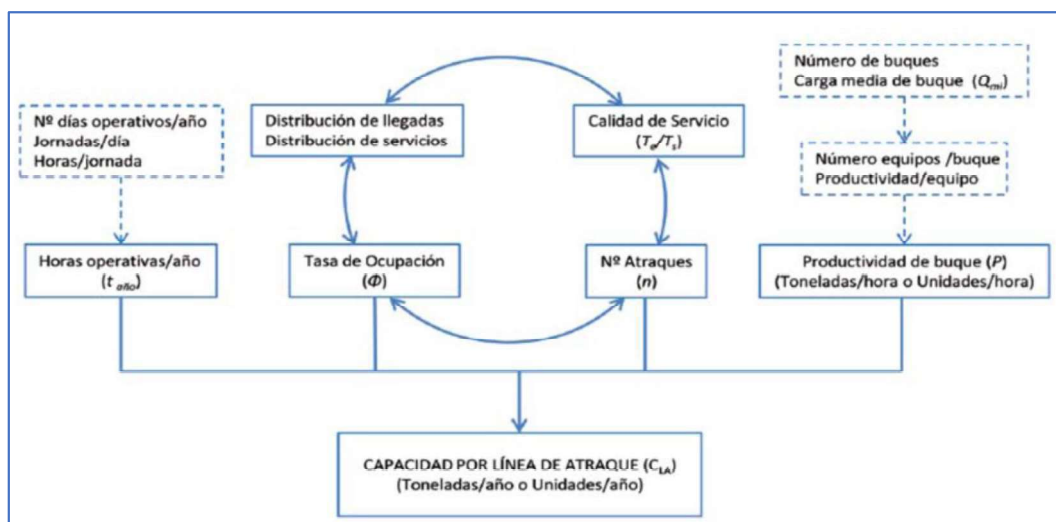


Ilustración 25. Capacidad por línea de atraque de una Terminal. Fuente: ValenciaPort

La capacidad anual por línea de atraque, se formula:

$$C_{LA} = n * \Phi * t_{año} * P$$

Donde:

- CLA: Capacidad anual por línea de atraque (TEU/año).
- n: número de atraques.
- \emptyset : Tasa de ocupación admisible.
- Taño: Horas operativas de la terminal al año, función de días festivos para el puerto y condiciones climáticas
- P: Productividad anual media de buque atracado en mov/h. Resultante del cociente entre el volumen anual de mercancías a manipular y la suma de los tiempos brutos anuales de atraque estimados. Es función del número y prestaciones de los equipos empleados, la pericia de los manipuladores y la conexión con los otros subsistemas.

De esta forma se procede a obtener cada uno de los factores que componen la formulación.

- Numero de atraques

Se define como el cociente entre la longitud de línea de atraque existente y la eslora del buque tipo más una cierta distancia que marcaría la separación entre ellos.

$$N = \frac{\textit{longitud de línea de atraque}}{\textit{eslora buque tipo} * (1 + K_{\textit{separación}})}$$

La terminal como se ha comentado anteriormente cuenta con una línea de atraque total de 1660 metros dividida en dos muelles y se ha considerado tener un calado de 18 metros en todo su largo. La eslora del buque tipo se estimará en función de la tipología de buque que puedan atracar con el nuevo calado, para ello se ha tomado como referencia la tabla de Ashar (2009) del Manual de Capacidad Portuaria. Aplicación a terminales portuaria, Fundación Valenciaport.

Año	Tipo de atraque	Longitud de atraque (m)	Calado (m)	Atraques por terminal	Buque de diseño (TEUs)	Capacidad anual de atraque (TEUs)	Capacidad por metro de atraque (TEUs/m)
2009	Sub Panamax	250	12	3	3.000	350.000	1.400
2012	Panamax	280	14	3	4.500	450.000	1.607
2012	Panamax	280	14	4	4.500	495.000	1.768
2014	Post Panamax I	300	15	3	5.700	500.000	1.667
2014	Post Panamax I	300	15	4	5.700	550.000	1.833
2017	Post Panamax II	350	16	4	8.000	700.000	2.000
2025	Post Panamax III	400	15 - 18	4	12.000	1.000.000	2.500
2009	Polivalente	150	10 - 11	2	1.000	100.000	667

Ilustración 26. Capacidad de línea de atraque. Fuente: ASHAR, 2009

El resguardo que se debe considerar en el atraque de un buque se considera un 10 % de la eslora del buque, la cual se reparte en ambos extremos. Otra referencia puede ser la ROM, pero dado que nuestro buque tipo es de mayor tamaño al que se considera en ella, se opta esta por el lado de la seguridad.

Para el cálculo entonces escogemos el buque tipo de 350 metros, el resguardo con el 10% de eslora.

$$n = \frac{1660}{350 \times (1+0,1)} = 4,31$$

- Tasa de ocupación admisible

Parámetro estadístico que representa la congestión de una terminal portuaria. La tasa de ocupación considera tanto la distribución de llegadas de los buques, como la distribución de los tiempos de servicio en muelle y la calidad del servicio vinculado a la espera relativa.

En ausencia de datos precisos para la caracterización del muelle con respecto a las llegadas y tiempos de servicio, se utiliza el Manual de Capacidad portuaria, Arturo Monfort et al, 2011. Debido que para el análisis de la tasa de ocupación es necesario tener conocimiento de la

distribución de llegadas de buque al muelle y la distribución de tiempo de servicio en la terminal.

Los tiempos de servicio se asumen a una distribución tipo Erlang ($M/E_k/n$), para este caso se considera un valor 4 y número de atraques 4, por lo que las distribuciones de llegadas y tiempo de servicio quedan de la forma ($M/E_4/4$).

Monfort, expone que la espera relativa máxima admisible asumida por los navieros es de 0.1 cuando se trata de terminales de contenedores, es decir, el tiempo máximo que están dispuestos a esperar las navieras como máximo es del orden al 10% del tiempo que van a estar atendiéndole en terminal, considerando todo tiempo que exceda de ese valor como inadmisible.

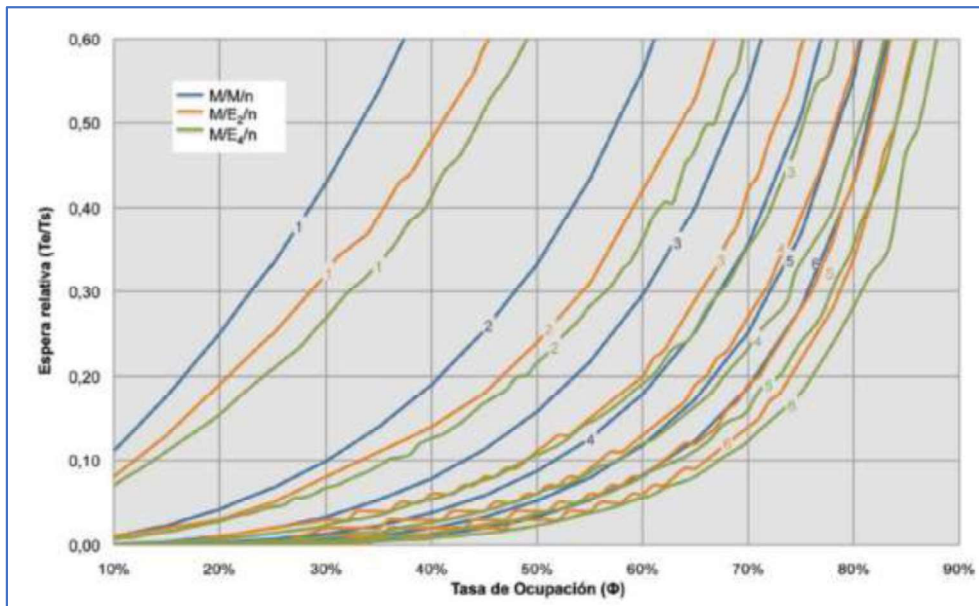


Ilustración 27. Tasas de ocupación y la espera relativa de los sistemas $M/M/n$, $M/E_2/n$ y $M/E_4/n$ de 1 a 6 atraques. Fuente: Fundación ValenciaPort

De acuerdo con el gráfico, para una espera de 0,10, 4 atraques y $M/E_4/2$, el resultado para la tasa de ocupación es aproximadamente de un 58%.

$$\phi = 58\%$$

- Productividad del Buque

Se considera que la productividad de las grúas STS es de 22,5 Cont/h por grúa, si se dispone de 3 grúas por buque, se obtiene:

$$P = 67 \text{ Cont/h}$$

- Horas Operativas

De acuerdo con la información disponible, se considera operativa de buque; 24 horas del día, en turnos de 6 horas, 360 días del año. Siendo los días inhábiles:

- 1 de enero
- 19 de marzo
- 1 de mayo
- 16 de julio
- 25 de diciembre

Por lo tanto, se obtiene:

$$T_{\text{año}} = 360 * 24 = 8.640 \text{ horas al año}$$

RESUMEN

De acuerdo a los valores obtenidos al aplicarlos en la fórmula la capacidad anual por línea de atraque es:

$$C_{LA} = 4 * 0.58 * 67 * 8640 = 1.343.001 \text{ cont /año}$$

Dado que la capacidad obtenida esta expresada en contenedores, es necesario aplicar un factor de conversión que permita reflejar el resultado en

TEUs, para lo cual se supone una distribución de 50% de contenedores de cada tamaño, entonces aplicamos un factor de conversión de 1,5, dando como resultado.

$$C_{LA} = 1.343.001 * 1.5 = 2.014.501 \text{ TEUs/año}$$

6.3.2 DISEÑO DE ALMACENAMIENTO

La capacidad de almacenamiento de una terminal de contenedores está condicionada por distintos factores, los cuales a la hora de calcular la capacidad se relacionan de la siguiente forma:

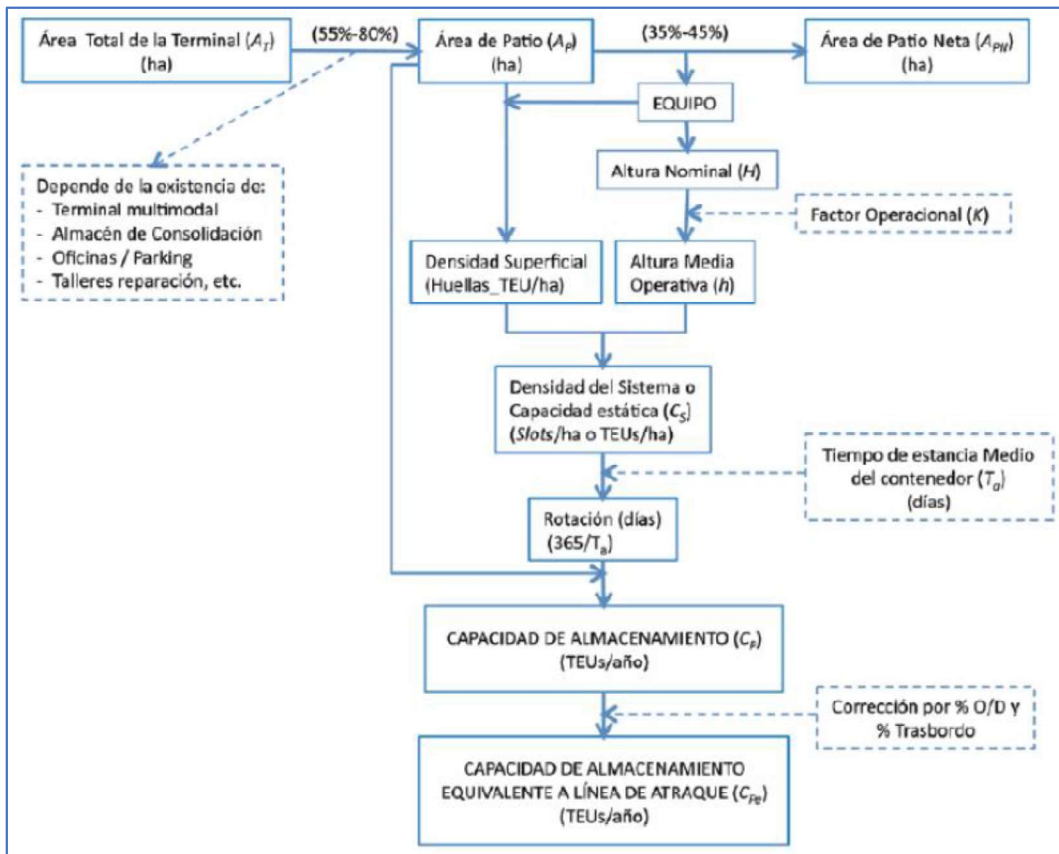


Ilustración 28. Capacidad de Almacenamiento de las Terminales Portuarias de Contenedores. Fuente: Valenciaport.

La capacidad de almacenamiento se formula basada en la fórmula de la ROM 2.1 (González Herrero et al, 2006).

$$C_p = N^{\circ} \text{ Huellas_TEU} * H * \frac{365}{T_a} * K$$

Donde:

- C_p : Capacidad anual de almacenamiento de la terminal.
- $N^{\circ} \text{ Huellas_TEU}$: Número de posiciones o slots a nivel del suelo para un TEU que tiene la terminal.
- H : Altura máxima de apilado
- T_a : Tiempo de estancia medio de los contenedores en el área de almacenamiento (en días)
- K : Factor operacional
- $365/T_a$: Número medio de rotaciones anuales

De esta forma, se indica para cada uno de los factores las siguientes condiciones.

- Número de Huellas

Cada huella ocupa una superficie de 15 m², considerando unas dimensiones de 2.5*7 metros. (un contenedor de 20 pies)

La terminal APM Terminals Valencia con su configuración actual, paralela al muelle Levante, posee:

- 6 bloques de 29 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 1044 huellas.
- 6 bloques de 42 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 1512 huellas.
- 6 bloques de 37 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 1332 huellas.

- 5 bloques de 28 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 840 huellas.
- 1 bloque de 49 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 294 huellas.
- 1 bloque de 42 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 252 huellas.
- 1 bloque de 38 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 228 huellas.
- 1 bloque de 34 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 204 huellas.
- 1 bloque de 28 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 168 huellas.
- 2 bloques de 48 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 576 huellas.
- 1 bloque de 49 huellas de longitud y 11 de ancho, otorgando un total de 539 huellas.
- 2 bloques de 37 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 444 huellas.
- 1 bloque de 36 huellas de longitud y 11 de ancho, otorgando un total de 396 huellas.
- 2 bloques de 28 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 336 huellas.
- 1 bloque de 29 huellas de longitud y 11 de ancho, otorgando un total de 319 huellas.
- 1 bloque de 24 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 144 huellas.
- 1 bloque de 20 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 120 huellas.
- 1 bloque de 10 huellas de longitud y 5 de ancho, otorgando un total de 50 huellas.

Tal como se ha considerado la implementación de 2 grúas STS Megamax en el muelle, estas por su tamaño se requeriría ocupar del patio en el muelle Levante lo siguiente:

- 1 bloque de 29 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 174 huellas.
- 1 bloque de 42 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 252 huellas.
- 1 bloque de 37 huellas de longitud y 6 de ancho, otorgando un total de 222 huellas.

Por lo tanto, el número de huellas en el patio será

$$N^{\circ} \text{ Huellas} = 8.798 - 648 = 8150$$

- **Altura de Apilado**

De acuerdo con los equipos de almacenamiento de patio escogidos, estos tienen una capacidad de apilado de 6+1, siendo de esta forma la altura máxima de 6 contenedores.

$$H=6 \text{ contenedores}$$

- **Tiempo de estancia medio de los contenedores**

Dado que este factor es dinámico y se define como el tiempo medio de estancia de los contenedores en el patio de la terminal, para lo cual se considera:

$$T_a = 7 \text{ días}$$

Basado en distintas lecturas y en que la media estimada en España es de 8 días, por lo que se busca mejorar esta estadística.

- Factor Operacional

El factor operacional de la ASC, correspondiente a una anchura de bloque 10 y una altura de apilado de 6, de acuerdo con la tabla de valores de la capacidad estática de almacenamiento del patio de contenedores según equipo de Valenciaport, sería:

$$K = 60 \% = 0.60$$

RESUMEN

De acuerdo con los valores obtenidos al aplicarlos en la fórmula la capacidad almacenamiento es:

$$Cp = 8150 * 6 * \frac{365}{7} * 0.6 = 1.529.871,42 \text{ TEUs/año}$$

6.4 PROPUESTA DE DISEÑO OPERACIONAL DE LA TERMINAL

Del análisis anterior y teniendo en cuenta todos los sistemas automatizados con los que cuenta la APM Terminals Valencia, se puede establecer que la alternativa más viable y efectiva es la configuración de un patio operado con ASC sobre raíles y ALV para el transporte horizontal. Teniendo en cuenta, que los cálculos anteriores son estimativos por la falta de verificación de la información en terreno, son solo para orientar en la decisión. A continuación, se entrega un resumen de las características de la terminal.

características de la Nueva Terminal		
Línea de Muelle	Grúa STS	
Calado	18	metros
Número de atraques	4	Und.
Tasa de Ocupación	0,58	Coef.
Productividad por Buque	67	cont/h
Horas Productivas	8.64	Horas al año
Capacidad anual por línea de atraque	2.015.501	TEUs/año
Tipología de Patio	ASC (6 sobre 1)	
Número de huellas	8150	Und.
Altura Máx. Apilado	6	Und.
Factor operacional	0,60	Coef.
Capacidad Anual operacional	1.784.846	TUE/año
Limitante de la terminal		
Número de puertas Camiones	8	Und.
Número de puertas Trenes	4	Und.
Equipos de Interconexión	Lift - AGV	
Número de equipos	24	Und.

Ilustración 29. Características técnicas de la nueva alternativa. Fuente: Propia.

7. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se desarrolla el análisis económico de la implementación de la nueva terminal automatizada con las consideraciones preestablecidas en los capítulos anteriores, ante lo cual el objetivo es determinar una estimación de los costes de implementación y explotación de la terminal automatizada, en comparación con los costes que se obtendrían en la terminal con el mismo nivel de tráfico, pero operando de forma tradicional.

Se debe mencionar que la implementación de terminales automatizadas es significativamente más costosa que una terminal polivalente existente en la APM Terminals Valencia, sin embargo, los costes operativos son menores al tener un menor coste de personal de manipulación, los cuales llegan en muchos casos a suponer el 70% del coste del paso de los contenedores por la terminal.

Para ello, en una primera instancia se determinarán los costes asociados a cada alternativa, con sus respectivos beneficios. En lo que se refiere a la alternativa manual, estableceremos que la manipulación en patio se realizará por medio de RTG, cabe destacar que no es la maquinaria que se usa en la actualidad en la terminal, pero sí el planificado a utilizar, por lo que se contabilizar los respectivos costes de adquisición, mantenimientos, amortización de estos equipos en la alternativa manual.

7.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Para realizar el cálculo económico, determinaremos el coste de manipulación del contenedor por la terminal. En primer lugar, partiremos de la premisa de que las dos alternativas tienen la misma capacidad, además se les

imputará un coste inicial igual debido a las instalaciones y obras ya realizadas, el coste de inversión en la terminal es aproximadamente de 25 millones de €, si bien la alternativa de automatización requiere de otros costes para las nuevas instalaciones que se deben computar. Se advierte que los valores indicados o cantidad de maquinaria que se indican son estimativos o promedios, dado a la falta de acceso a algún tipo de información, los cálculos que se llevarán a continuación meramente explicativos para orientar los costes de ambos tipos de terminales, así como las diferencias o porcentajes de relevantes entre una y otra.

Por lo tanto, determinaremos el coste del contenedor por medio de los costes de paso por todo el sistema, en función de la productividad medio como el tráfico de contenedores en un año, en referencia a:

Costes directos:

- Costes de personal estibador.
- Coste de maquinaria, amortización.
- Consumo energético de maquinaria.
- Coste de mantenimiento.
- Tasas de actividad de estiba y ocupación.

Costes indirectos:

- Costes de instalaciones e infraestructura.
- Personal indirecto de la terminal.
- Consumo energético general.
- Gastos financieros.
- Gastos generales.
- Costes de los sistemas de hardware y software operativo de la terminal (TOS).
- Costes de seguros.

En cuanto a las fuentes de la información, se han usado las bases de precios, así como tasas publicadas por la Autoridad Portuaria de Valencia y otros estudios de misma índole, teniendo en cuenta que son meramente orientativos.

7.2 DESGLOSE DE COSTES ASOCIADOS A LA TERMINAL

OBRAS E INFRAESTRUCTURA DE LA TERMINAL

Para dar comienzo al desarrollo del estudio, se considera inicialmente que la alternativa de la terminal portuaria convencional tiene un coste de construcción de 25 millones de euros, de esta forma:

Instalación y Obras de Terminal Convencional				
	Unidades	Coste Unitario	Medición	Coste Total
Inversión Inicial	Und	25.000.000 €	1	25.000.000 €
Subtotal	Und			25.000.000 €
Coste Total				25.000.000 €

Tabla 1. Coste de instalaciones y obras terminal convencional. Fuente: Propia

Se considera que para la terminal automatizada se requerirá la reconfiguración del patio, por lo tanto, incluiremos la construcción de raíles para las ASCs y su correspondiente instalación eléctrica, carriles auxiliares, adaptaciones de estaciones reefer, instalación de MoorMaster, entre otros.

Instalación y Obras de Terminal Portuaria Automatizada				
	Unidades	Coste Unitario	Medición	Coste Total
Inversión Inicial	Und	25.000.000 €	1	25.000.000 €
Carril ASC	m	1.500 €	664	996.000 €
Carril Auxiliar	m	350 €	600	210.000 €
Sistemas Reefer	Und	2.500.000 €	4	10.000.000 €
MoorMaster	Und	4.500 €	21	94.500 €
Cableado	m	50 €	1850	92.500 €
Subestación Eléctrica	Und	1.500.000 €	1	1.500.000 €
Oficina	Und	800.000 €	1	800.000 €
Software y TOS	Und	500.000 €	1	500.000 €
Taller	Und	1.000.000 €	1	1.000.000 €
Subtotal	Und			40.193.000 €
Contingencias		25%		10.048.250 €
Coste Total				50.241.250 €

Tabla 2. Costes de instalaciones y obras terminal automatizada. Fuente: Propia

COSTE DE PERSONAL DE ESTIBA

Cabe destacar que los costes de manipulación de mercancías por parte del personal de las sociedades de estibadores impactan de forma directa sobre el coste del tránsito del contenedor por terminal portuaria. Además es necesario indicar que las diferencias entre el personal que se debe contratar para las “manos” de estiba, debido a los acuerdos que se establecen con la sociedad de estibadores es significativamente mayor, al que se necesitaría para funcionar en condiciones óptimas en una terminal portuaria semiautomática.

A continuación, se exponen las distintas especialidades que se han estimado para el desarrollo de la operación de carga/descarga de contenedores de buque y de las tareas de recepción y entrega, dentro de la terminal considerando unidades idénticas para simplificar el entendimiento.

Mano de obra de Estiba - Terminal Convencional				
Unidades		Coste Unitario	Medición	Coste Total
Capataz	Und	350 €	1	350 €
Grúa Post - Panamax	Und	350 €	4	1.400 €
Grúa Panamax	Und	350 €	2	700 €
Clasificador Informatica	Und	350 €	1	350 €
Clasificador campa	Und	350 €	1	350 €
Carretilla	Und	350 €	1	350 €
Estibador	Und	350 €	3	1.050 €
Trincador	Und	350 €	3	1.050 €
Mafi	Und	350 €	4	1.400 €
Subtotal				7.000 €
Capataz General	Und	375 €	0,25	94 €
Coste Total				7.094 €

Tabla 3. Coste de mano de carga - descarga de personal de estiba convencional. Fuente: Propia

Mano de obra recepción/entrega - Terminal Convencional				
Unidades		Coste Unitario	Medición	Coste Total
Carretilla	Und	350 €	1	350 €
Clasificador Campa	Und	350 €	0,25	88 €
Coste Total				438 €

Tabla 4. Costes de mano de recepción-entrega de personal de estiba convencional. Fuente: Propia

De la tabla N°3, se puede observar que el coste del capataz general de la operativa marítima se ha establecido como un porcentaje del 25% entre las cuatro manos que pueden trabajar simultáneamente, además para el cálculo de la capacidad máxima sería el óptimo. Por otra parte, no se han tenido en cuenta las horas extras que se acumulan en un año para el cálculo de los costes, por lo que el coste por contenedor manipulado de la mano será mayor al que se ha descrito, pero para efectos de este cálculo simplificado no es necesario.

Para la estimación de la mano de terminal automatizada, se eliminan todos los operadores de mafis y carretillas, ya que pasan a ser tareas automatizadas. De esta forma, se simplifica la operativa y se puede disponer de un solo oficial clasificador, que pasará a cumplir el papel de capataz. Por otro lado, se elimina la mano de recepción y entrega, quedando:

Mano de obra - Terminal Automatizada				
	Unidades	Coste Unitario	Medición	Coste Total
Capataz/Clasificador	Und	350 €	1	350 €
Grúa Post - Panamax	Und	350 €	4	1.400 €
Grúa Panamax	Und	350 €	2	700 €
Estibador	Und	350 €	3	1.050 €
Trincador	Und	350 €	3	1.050 €
Clasificador	Und	350 €	1	350 €
Subtotal	Jornada 6h			4.900 €
Coste Total	Jornada 6h			4.900 €

Tabla 5. Costes de mano de personal de estiba automatizada. Fuente: Propia

Comparando ambos costes, se puede distinguir que el coste de una terminal convencional es casi el doble que la suma de las manos que se requieren en una terminal automatizada, intuyendo que influirán de forma significativa en los costes de una u otra terminal.

MAQUINARIA DE MANIPULACIÓN

La maquinaria de manipulación empleada para una terminal, se puede analizar desde tres tipos de costes:

- El coste de adquisición y amortización, que se reparte a lo largo de la vida útil.
- El coste de consumo energético (combustibles fósiles, energía eléctrica), es el consumo de las horas requeridas para poder

alcanzar la capacidad máxima de manipulación anual de una terminal.

- El coste de mantenimiento, a razón de las horas de mano de obra y repuestos, o bien una estimación de coste anual.

Para efectos de cálculo se presentan dos tablas comparativas con la maquinaria que estaría en funcionamiento para la cantidad de Grúas indicadas, de esta forma se puede observar la diferencia en la cantidad de equipos operacionales necesarios y visualizar los costes.

Coste de adquisición Maquinaria Terminal Convencional				
	Unidades	Coste Unitario	Medición	Coste Total
Grúa Post - Panamax	Und	4.000.000 €	4	16.000.000 €
Grúa Panamax	Und	3.000.000 €	2	6.000.000 €
Grúa RTG	Und	1.400.000 €	16	22.400.000 €
Plataforma	Und	20.000 €	30	600.000 €
Tractora Mafi	Und	80.000 €	26	2.080.000 €
Reach-stacker	Und	350.000 €	3	1.050.000 €
Cantainera vacios	Und	25.000 €	2	50.000 €
Vehículo servicio	Und	15.000 €	3	45.000 €
Vehículo furgoneta	Und	28.000 €	3	84.000 €
Subtotal				48.309.000 €
Contingencias	Und	20%		9.661.800 €
Coste Total				57.970.800 €

Tabla 6. Costes adquisición maquinaria Terminal portuaria convencional. Fuente: Propia.

Coste de adquisición Maquinaria Terminal Automatizada				
	Unidades	Coste Unitario	Medición	Coste Total
STS Megamax	Und	5.500.000 €	6	33.000.000 €
Grúa ASC	Und	2.500.000 €	10	25.000.000 €
Lift - AGV	Und	400.000 €	15	6.000.000 €
MoorMaster	Und	100.000 €	21	2.100.000 €
Reach-stacker	Und	350.000 €	3	1.050.000 €
Cantainera vacios	Und	25.000 €	2	50.000 €
Vehículo servicio	Und	15.000 €	3	45.000 €
Vehículo furgoneta	Und	28.000 €	3	84.000 €
Subtotal				67.329.000 €
Contingencias	Und	20%		13.465.800 €
Coste Total				80.794.800 €

Tabla 7. Costes adquisición maquinaria terminal portuaria automatizada. Fuente: Propia

Claramente la maquinaria para una terminal portuaria automatizada presenta un mayor coste, dado por las mejoras tecnológicas, capacidades, niveles de seguridad, etc., que pueden otorgar frente a las de un terminal convencional.

Se puede observar que un vehículo Lift-AGV o ALV tiene un costo muy superior a los vehículos convencionales como los Mafi o plataformas, llegando a ser casi 4 veces superior que ambos juntos.

Las principales diferencias principales frente al consumo energético, se debe a que los equipos para una terminal portuaria convencional requieren de combustibles fósiles, exceptuando las grúas STS. De esta forma, la eficiencia de los vehículos convencionales está condicionado a estas fuentes de energía, por lo que llegan a ser consideradas inferiores frente al rendimiento que ofrecen los mismos equipos con fuentes eléctricas. A continuación, se presentan dos tablas comparativas de gasto energético.

Gasto Energetico Maquinaria Convencional por Hora						
	Unidades	Coste Unitario	Medición	Coste/Unid	nº de equipos	coste total
Grúa Post - Panamax	/h	0,12	145	17 €	4	70 €
Grúa Panamax	/h	0,12	145	17 €	2	35 €
Grúa RTG	/h	0,70	15	11 €	16	168 €
Plataforma	/h	0,00	0	0 €	30	0 €
Tractora Mafi	/h	0,70	7,5	5 €	26	137 €
Reach-stacker	/h	0,70	7	5 €	3	15 €
Cantainera vacios	/h	0,40	7	3 €	2	6 €
Vehículo servicio	/h	0,10	1	0,1 €	3	0,3 €
Vehículo furgoneta	/h	0,10	1	0,1 €	3	0,3 €
Subtotal				58 €		430 €
Contingencias	Und	20%		12 €		86 €
Coste Total				70 €		516 €

Tabla 8. Gasto por hora de maquinaria terminal portuaria convencional. Fuente: Propia

Gasto Energetico Maquinaria Terminal Automatizada por Hora						
	Unidades	Coste Unitario	Medición	Coste/Unid	nº de equipos	coste total
STS Megamax	/h	0,12	145	17 €	6	104 €
Grúa ASC	/h	0,10	75	8 €	10	75 €
Lift - AGV	/h	0,10	5	1 €	15	8 €
MoorMaster	/h	0,20	10	2 €	21	42 €
Reach-stacker	/h	0,70	7	5 €	3	15 €
Cantainera vacios	/h	0,40	7	3 €	2	6 €
Vehículo servicio	/h	0,10	1	0,1 €	3	0 €
Vehículo furgoneta	/h	0,10	1	0,1 €	3	0,3 €
Subtotal				35 €		250 €
Contingencias	Und	20%		7 €		50 €
Coste Total				42 €		300 €

Tabla 9. Gasto por hora de maquinaria terminal portuaria automatizada. Fuente: Propia

De ambas tablas se extrae como el funcionamiento de una terminal automatizada en función del gasto energético, puede significar una disminución de alrededor de un 40% por hora y en un año funcionando las 24 horas y 365 días sería alrededor de 1'9 millones de euros, lo que a largo plazo impacta altamente en los costes de una terminal portuaria y en las intenciones de generar una posible inversión en la conversión de una terminal convencional o polivalente a una terminal automatizada.

Por último, se hace una presentación entre los costes de mantenimiento de cada terminal, los cuales no dejan de ser parte importante a considerar frente a una posible conversión.

Mantenimiento Maquinaria Terminal Convencional						
	Unidades	Coste Adquisición	Medición	Coste total Adquisición	Mantenimiento	Total Coste Mantenimiento
Grúa Post - Panamax	Und	4.000.000 €	4	16.000.000 €	0,03	480.000 €
Grúa Panamax	Und	3.000.000 €	2	6.000.000 €	0,03	180.000 €
Grúa RTG	Und	1.400.000 €	16	22.400.000 €	0,04	896.000 €
Plataforma	Und	20.000 €	30	600.000 €	0,01	6.000 €
Tractora Mafi	Und	80.000 €	26	2.080.000 €	0,08	166.400 €
Reach-stacker	Und	350.000 €	3	1.050.000 €	0,06	63.000 €
Cantainera vacios	Und	25.000 €	2	50.000 €	0,06	3.000 €
Vehículo servicio	Und	15.000 €	3	45.000,0 €	0,02	900,0 €
Vehículo furgoneta	Und	28.000 €	3	84.000,0 €	0,02	1.680,0 €
Subtotal						1.796.980 €
Contingencias	Und	20%				359.396 €
Coste Total	euros /año					2.156.376 €

Tabla 10. Costes mantenimiento de maquinaria terminal portuaria convencional. Fuente: Propia

Mantenimiento Maquinaria Terminal Automatizada						
	Unidades	Coste Adquisición	Medición	Coste total Adquisición	Mantenimiento	Total Coste Mantenimiento
STS Megamax	Und	5.500.000 €	6	33.000.000 €	0,03	990.000 €
Grúa ASC	Und	2.500.000 €	10	25.000.000 €	0,03	750.000 €
Lift - AGV	Und	400.000 €	15	6.000.000 €	0,05	300.000 €
MoorMaster	Und	100.000 €	21	2.100.000 €	0,04	84.000 €
Reach-stacker	Und	350.000 €	3	1.050.000 €	0,06	63.000 €
Cantainera vacios	Und	25.000 €	2	50.000 €	0,06	3.000 €
Vehículo servicio	Und	15.000 €	3	45.000 €	0,05	2.250 €
Vehículo furgoneta	Und	28.000 €	3	84.000,0 €	0,05	4.200,0 €
Subtotal						2.196.450 €
Contingencias	Und	20%				439.290 €
Coste Total	euros /año					2.635.740 €

Tabla 11. Costes mantenimiento de maquinaria terminal portuaria automatizada. Fuente: Propia

Si es posible esperar que los costes de mantenimiento en una terminal automatizada fuese menor, el coste elevado se debe al personal altamente calificado para realizar estas mantenciones frente a una terminal convencional, donde este mismo personal se paga por un precio menor.

COSTES GENERALES

Los costes generales de una terminal se pueden dividir en función del coste del personal general de la terminal y el coste asociado al funcionamiento general, cada uno influye directa e indirectamente en la actividad de la terminal portuaria. Ante lo cual es relevante el análisis para cada una de las alternativas que se viene estudiando.

Una terminal portuaria automatizada suele tener una cantidad mayor de personal y esto se debe a que existe un gran número de profesionales y técnicos encargados de controlar todos los procesos informatizados del cual depende el funcionamiento de los subsistemas. En cambio, en una terminal convencional los procesos dependen de personal como manipuladores de patio o maquinaria, que eventualmente son en menor cantidad. Lo cual se ha tenido en cuenta en la tabla N° 12 de costes de personal.

Para llevar a cabo el análisis de los costes generales entre las dos terminales se consideran los costes de servicios externos (retiro de desechos), mantenimientos de las instalaciones, mobiliario, comunicaciones, dietas y desplazamientos del personal, mantenimiento y material de oficina, soporte TOS y seguros generales. Tratando de cubrir cada uno de los costes de las áreas generales y poder observar las variaciones.

Coste Personal Anual €/año		
Personal	Convencional	Automatizada
Fijo en Terminal	700.000 €	900.000 €
Mantenimiento	700.000 €	900.000 €
Total	1.400.000 €	1.800.000 €

Tabla 12. Costes de personal general por año. Fuente: Propia

Costes Generales Terminal Convencional	€/año
Servicios Externos	110.000 €
Mantenimiento general instalaciones	75.000 €
Comunicaciones	55.000 €
Mobiliarios	11.600 €
Dietas y desplazamientos	11.600 €
Mantenimiento oficina	21.000 €
Material oficina	100.000 €
Soporte TOS	50.000 €
Seguros General	200.000 €
Total	634.200 €

Tabla 13. Costes generales terminal portuaria convencional. Fuente: Propia

Costes Generales Terminal Automatizada	€/año
Servicios Externos	150.000 €
Mantenimiento general instalaciones	75.000 €
Comunicaciones	55.000 €
Mobiliarios	11.600 €
Dietas y desplazamientos	11.600 €
Mantenimiento oficina	21.000 €
Material oficina	100.000 €
Soporte TOS	75.000 €
Seguros General	200.000 €
Total	699.200 €

Tabla 14. Costes generales terminal portuaria automatizada. Fuente: Propia

Los costes en cada terminal no varían dado que dependen directamente de las dimensiones, y dado que estas se conservan entre una y otra, solo se puede apreciar aumentos en la terminal automatizada en servicios externos y soporte de TOS, el cual es consecuencia de mayor cantidad elementos automatizados.

7.3 COSTES ASOCIADOS A LAS OPERACIONES DEL CONTENEDOR EN TERMINAL

Para desarrollar un comparativo entre los costes asociados a las operaciones del contenedor en cada una de las terminales tipo, se ha realizado un reparto unitario de los costes em función del tráfico máximo esperado, de tal forma que se puede obtener un análisis del coste total que supone el transito de un contenedor por una terminal portuaria y a su vez cuantificar los márgenes respecto a los precios máximos ofertados.

La metodología utilizada supone dividir los respectivos costes en función del período de vida útil de cada uno de los parámetros, de esta forma adaptarlos al coste anual que conllevan y poder cuantificar el resto de los costes, que, o bien se han determinado como costes anuales, o se ha establecido un coste unitario por una unidad de rendimiento operacional como puede ser los movimientos/hora, de forma que se puede establecer en función del tráfico anual de la terminal.

TERMINAL CONVENCIONAL

Se puede entender que el coste principal del paso de un contenedor por la terminal es el coste de la mano estibadora, que suponen un 52% de los costes, esta aproximación se ajusta a los realizados en otros estudios donde se obtiene un 51%, Dobner et al, 2001. Tal como se aprecia en la tabla N° 15 sobre los costes totales (directos e indirectos). Siendo el factor más influyente al momento de tomar una decisión frente a la inversión de automatización de la terminal.

Costes Directos	€/TEU	%
Mano estiba	44,3 €	51,5%
Maquinaria	7,6 €	8,8%
Consumo energético	13,0 €	15,1%
Mantenimiento	4,9 €	5,7%
Tasas actividad	10,3 €	12,0%
Subtotal	80,1 €	93,0%
Costos Indirectos		
Costes Generales	1,7 €	2,0%
Coste Personal general	1,6 €	1,9%
Infraestructura	2,7 €	3,1%
Subtotal	6,0 €	7,0%
Total	86,1 €	

Tabla 15. Reparto de costes por TEU en terminal portuaria convencional. Fuente: Propia

TERMINAL AUTOMATIZADA

Para el caso de una terminal automatizada, los costes generales se ven fuertemente reducidos en los costes directos, debido a la reducción del número de operarios, lo cual lleva de estar en un 51,5% del coste total en una terminal convencional a un 28,5% en la terminal automatizada. Cabe mencionar que existen algunos crecimientos en otros parámetros, tales como, la maquinaria e infraestructura, lo cual se debe al aumento estas.

Es clave identificar que los costes directos de una terminal son significativos siendo en ambos casos superiores al 85% del coste total. De esta forma se puede identificar que factores son relevantes para llegar a obtener una propuesta de reforma en una terminal portuaria.

Coste Directos	€/TEU	%
Mano estiba	19,4 €	28,5%
Maquinaria	10,5 €	15,4%
Consumo energético	11,9 €	17,5%
Mantenimiento	6,1 €	9,0%
Tass actividad	10,3 €	15,1%
Subtotal	58,2 €	85,6%
Costos Indirectos		
Costes Generales	1,9 €	2,8%
Coste Personal General	2,6 €	3,8%
Infraestructura	5,3 €	7,8%
Subtotal	9,8 €	14,4%
Total	68,0 €	

Tabla 16. Reparto de costes por TUE en terminal portuaria automatizada. Fuente: Propia

7.4 COSTES COMPARATIVOS

Finalmente llegamos a una comparativa en la cual debemos especificar que se van a contrastar los costes de ambas alternativas, para lo cual se realizó un cálculo de ingresos por contenedor en función de la capacidad máxima de tráfico de la terminal, que ya ha sido calculada anteriormente.

Se estima un coste medio por TEU de 90'76 € que viene establecido por los precios máximos de manipulación en terminales de contenedores publicados por la APV y por un estudio del Benchmark en terminales de contenedores realizado por Saanen, Dobner y Rijsenbrij (2001), al cual se le ha aplicado un coeficiente de inflación debido a las diferencias temporales.

Se ha de tener presente que se ha llegado a este comparativo con estimaciones personales del autor, por lo que pueden en algún caso distenderse de la realidad, y son meramente orientativas para apreciar el beneficio o perjuicio de realizar una inversión de automatización de una terminal portuaria.

	Coste TUE	Coste Anual	Ingreso /TEU	Ingreso Anual	Margen/TEU	Margen anual
Terminal Automatizada	68,0 €	136.986.068 €	90,76 €	182.836.110,76 €	22,76 €	45.850.042,76 €
Terminal Automatizada	82,5 €	166.196.333 €	90,76 €	182.836.110,76 €	8,26 €	16.639.778,26 €
Diferencia Automatizada - Convencional	-14,5 €	-29.210.265 €			14,50 €	29.210.264,50 €
	-18%	-18%			176%	176%

Tabla 17. Cuadro Comparativo. Fuente: Propia

Tal como se puede apreciar en la tabla N°17, los costes anuales generan una gran diferencia establecida por los costes del personal de estibadores portuarios, provocando una diferencia de 18% por TEU que ingresa a la terminal portuaria anualmente, lo que se transforma en alrededor de 30 millones de euros anuales.

De esta forma evaluando ambas alternativas con el valor de ingreso por TEU establecido, provoca un margen por TEU considerable anualmente, lo que se convierte en una diferencia del 176% a favor de la opción de terminal automatizada.

Tras este análisis económico orientativo, la alternativa de automatización toma mayor fuerza sobre la eventualidad de estudiar el análisis de una inversión para lo cual se deberá calcular el VAN y el TIR, con un horizonte de años que permita evaluar si es rentable o no. Para efectos de este trabajo queda fuera de alcance y se deja como alternativa para una profundización de análisis de un plan de inversión.

8. CONCLUSIONES

El objetivo del trabajo ha sido establecer un diseño tentativo de una nueva terminal automatizada de APM Terminals Valencia, teniendo en cuenta todas las limitaciones del estudio y las variables conocidas de la actual terminal con fuentes de información como la propia web de la terminal y Valencia Port.

Desde este punto de vista se ha logrado establecer cada uno de los subsistemas que conforman la terminal, de forma adecuada indicando cada uno de los elementos que la conforman acorde con las limitaciones geométricas y operativas.

La identificación de los elementos para una terminal automatizada en los subsistemas de carga y descarga de busques, almacenamiento, recepción y entrega, han sido de gran ayuda para poder establecer la conexión con el análisis de costes para implementar un patio automatizado. Con el conocimiento de las características de cada uno de los elementos existentes se ha logrado elegir una propuesta viable, favoreciendo tener una mayor densidad de patio y a la vez mejorando la eficiencia y eficacia de los movimientos realizados.

Por otra parte, se ha logrado identificar que, dentro de los costes generales de una terminal portuaria, el coste de la estiba es uno de los principales ejes conductores para poder tomar la decisión de automatizar la terminal, considerando que el análisis desarrollado se realizó con valores estimativos, no son lejanos de la realidad. Lamentablemente los altos costos que implica un desarrollo de inversión con tal envergadura hacen que actualmente en el mundo solamente existan alrededor de un 5% de terminales automatizadas, lo que en los últimos años ha ido en crecida, debido a las mejoras en los tiempos de implementación de las nuevas tecnologías.

Referente al análisis económico es un previo paso para la generación de un próximo estudio de rentabilidad de inversión para la APM Terminals Valencia, ya que con unos cálculos menores es posible inferir que la opción automatiza de la terminal generaría grandes excedentes en el tiempo y para ello se ha dejado planteado seguir con el análisis, obteniendo indicadores como el VAN y el TIR, que permitan evaluar la rentabilidad de una futura automatización total de la terminal portuaria Valenciana.

BIBLIOGRAFÍA

DOCUMENTOS

- ❖ COMISIÓN TÉCNICA DE LA ROM 2.0. ROM 2.0-2011 (2012) Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre. Puertos del Estado, Madrid
- ❖ GONZÁLEZ MATEOS, R.; JIMÉNEZ BAYO, P. (2016). Diseño de una terminal de contenedores semiautomatizada en la ampliación norte del puerto de Valencia. Trabajo de Final de Máster. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia
- ❖ MONFORT, A.; MONTERDE, N.; SAPIÑA, R. MARTÍN-SOBERÓN, A; CALDUCH, D.; VIEIRA, P. (2011A). La terminal portuaria de contenedores como sistema nodal en la cadena logística. Fundación Valenciaport, Valencia.
- ❖ MONFORT, A.; AGUILAR, J.; VIEIRA, P.; MONTERDE, N.; OBRER, R.; CALDUCH, D.; MARTÍN, A. M.; SAPIÑA, R. (2011B). Manual de Capacidad Portuaria: Aplicación a Terminales de Contenedores. Fundación Valenciaport, Valencia.
- ❖ UNCTAD (2015). Review of maritime transport. Nueva York y Ginebra.
- ❖ UNCTAD (2016). Review of maritime transport. Nueva York y Ginebra.
- ❖ OECD (2015). Enquiries Into Intellectual Property's Economic Impact.
- ❖ MEMORIA SOBRE PLAN ESTRATÉGICO AMBIENTAL DE LA AUTORIDAD PORTUARIA DE VALENCIA 2017-2025. Marta Marco López, 2016/17
- ❖ Kalmar ASC System. Revista
- ❖ TRIBUNAL DE CUENTAS EUROPEO (2016). El transporte marítimo en la UE se mueve en aguas turbulentas — mucha inversión ineficaz e insostenible.

- ❖ **ANÁLISIS Y PLANIFICACIÓN DE PUERTOS**
<https://www.wsp.com/es-ES/servicios/maritime-planning-and-analysis>

- ❖ **OPORTUNIDADES DE LA TECNOLOGÍA**
<https://ictsd.iisd.org/bridges-news/puentes/news/automatizaci%C3%B3n-de-puertos-y-otros-retos-para-am%C3%A9rica-latina>

- ❖ **AUTOMATIZACIÓN EN LOS PUERTOS: SUS CARACTERÍSTICAS, VENTAJAS Y BARRERAS**
<https://www.mundomaritimo.cl/noticias/automatizacion-en-los-puertos-sus-caracteristicas-ventajas-y-barreras>

- ❖ **PASADO, PRESENTE Y, SOBRE TODO, FUTURO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE TERMINALES DE CONTENEDORES**
<https://piernext.portdebarcelona.cat/tecnologia/pasado-presente-y-sobre-todo-futuro-de-la-automatizacion-de-terminales-de-contenedores/>

- ❖ **LAS TERMINALES AUTOMATIZADAS DE CONTENEDORES**
<https://www.cargoflores.com/terminales-automatizadas-contenedores/>

- ❖ **EL FUTURO DE LA AUTOMATIZACIÓN EN PUERTOS Y TERMINALES**
<https://www.icontainers.com/es/2018/10/09/el-futuro-de-la-automatizacion-en-puertos-y-terminales/>

- ❖ **APM TERMINALS. INFRAESTRUCTURAS**
<http://www.tcv.es/ES/infraestructura.html>

- ❖ **APM TERMINALS VALENCIA. SERVICIOS**
<https://www.valenciaport.com/servicio/apm-terminals-valencia-tcv/>

