

DISEÑO TÉCNICO DE UNA TERMINAL PORTUARIA AUTOMATIZADA DE CONTENEDORES EN EL MUELLE ISLA VERDE EXTERIOR DEL PUERTO DE LA BAHÍA DE ALGECIRAS (CÁDIZ)

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Trabajo final de Máster

Curso: 2017/18

Autor: Ignacio Guillén Gonzalvo

Tutora: Esther Gómez Martín

Cotutora: Roser Obrer Marco

Valencia, mayo de 2018

Agradecimientos

Tras 7 duros años, ya es hora de dar por concluida la etapa universitaria para dar comienzo a una nueva, en la que ya he comenzado a dar mis primeros pasos en el mundo laboral.

Hay gran cantidad de personas a las que me gustaría mostrar mi agradecimiento, personas que ya conocía antes de comenzar la etapa universitaria, así como otras que he conocido durante la misma y que me han mostrado su ayuda y apoyo durante todos estos años:

A mi familia, puesto que sin ellos jamás podría haber tenido la posibilidad de estudiar en la que, para mí, es una de las mejores universidades del mundo.

A mis tutoras de TFM, Esther y Roser, ya que ellas me han ayudado en todo lo necesario para que este trabajo pudiera salir adelante.

A todos mis compañeros de carrera, pero sobre todo a Andrés Peña y Carlos Andreu, con los que he formado equipo durante todos estos años para conseguir el objetivo de ser Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y de los que me llevo una amistad para toda la vida.

Gracias a todos.

Resumen

Vivimos en un mundo en el que la globalización se ha convertido en algo imparable, puesto que hoy en día parece impensable no tener disponible cualquier tipo de producto en prácticamente cualquier parte del mundo. El mayor culpable de que hoy nos encontremos en este punto ha sido la invención de un recipiente regular y estanco y fácilmente manipulable, adaptado a distintas tipologías de carga que se requiera transportar gracias a sus múltiples modalidades, el contenedor.

No obstante, todavía queda mucho margen de mejora. Bien es sabido que, en las grandes terminales de contenedores, tanto los volúmenes y cuantías de carga a movilizar, así como la maquinaria que efectúa las operaciones son muy pesadas y, por tanto, peligrosas para el personal que se encuentra de por medio. Es por ello que cada día que pasa, los avances tecnológicos están a la orden del día, y no solo para ganar en seguridad, sino también en eficiencia de equipos, los cuales son cada día más respetuosos con el medio ambiente además de obtener mejores rendimientos, es decir, hablamos del proceso de automatización de las terminales de contenedores.

En el presente Trabajo Final de Máster, se pretende el dimensionamiento técnico de una terminal de transbordo de contenedores totalmente automatizada en el Puerto de la Bahía de Algeciras (España), puerto que mayor tráfico de contenedores de transbordo mueve en todo el territorio nacional dadas las condiciones geográficas de la zona, puesto que se encuentra en el Estrecho de Gibraltar, punto de paso obligatorio de la mayoría de navieras para llegar a tierras asiáticas.

Existe una amplia gama de tecnologías para llevar a cabo dicho objetivo en cada uno de los subsistemas de los que se compone la terminal: atraque, como lo son equipos de amarre automático y grúas STS, capaces de ser accionadas por control remoto; interconexión y almacenamiento, donde se han desarrollado equipos tales como los AGV y las ASC, vehículos y grúas no tripuladas, totalmente automatizados y 100% eléctricos; y recepción y entrega, donde se dispone de tecnología suficiente para automatizar la entrada y salida de vehículos de la terminal (OCR), así como para facilitar la labor de los equipos de aduanas, a través de escáneres y una rápida gestión de la información, lo cual eleva en gran medida la componente de seguridad.

Para el caso de estudio, se ha planteado un diseño técnico en el que se han incluido 6 grúas STS accionadas por control remoto que constituyen la puerta marítima, un total de 16 pares de grúas ASC y 28 AGVs totalmente automatizados. Por su parte, la puerta terrestre la constituirán dos puertas de entrada y salida con las últimas tecnologías para facilitar las labores de despacho de mercancía.

Palabras clave: grúa STS, terminal, Algeciras, AGV, puerto, ASC, contenedor, OCR, TOS, automatización, muelle, almacenamiento, transbordo.

Abstract

We live in a world where globalization has become in something unstoppable, nowadays it seems to be unthinkable not having any product available in any part of the world. The mayor guilty of all of this process is a regular, tight and easily manipulable box that can be adapt to any kind of commodity, the container.

Nevertheless, there is still a lot of improvement. We know that, at the biggest container terminals, the amounts of charge to move and the machinery that works there are too heavy and dangerous for people who work in this environment. That's why technological improvements are the order of the day, not only to improve in security, but also equipment efficiency, that day by day are more respectfull with the environment. Besides a better performance, that is to say, we talk about container terminal's automatization process.

In the present Final Master's Project, the technical sizing of a fully automated container transshipment terminal in the Port of the Bay of Algeciras (Spain) is sought, a port with the highest national container throughput given the fantastic geographical conditions of the área, since it is located in the Strait of Gibraltar, mandatory crossing point on the trade route to Asia for most shipping companies.

There is a wide range of technologies to carry out this objective in each of the subsystems of which the terminal is composed: berth, as are automatic mooring equipment and STS cranes, capable of being manipulated by remote control; interconnection and storage, where equipment such as AGV and ASC, vehicles and unmanned cranes, fully automated and 100% electric; and reception and delivery, where sufficient technology is available to automate the entry and exit of vehicles from the terminal (OCR), as well as to facilitate the work of customs teams, through scanners and rapid management of information, which greatly increases the security component.

For this case of study, it has planned a tecnic design that contains 6 STS cranes operated by remote control at the maritime door. 16 pairs of ASC cranes and 28 AGV fully automated to perform the work of transfer in the container yard. Finally, in the earth door it will bw two entry and exit doors with the latest technologies to facilitate the tasks of dispatching merchandise.

Key words: STS crane, terminal, Algeciras, Automated Guided Vehicle, port, Automated Stacking Crane, container, Optical Character Recognition, Terminal Operating System, automatization, harbor pier, storage, transfer.

Vivim en un món en què la globalització s'ha convertit en un fet imparabile, ja que hui pareix impensable no tindre disponible qualsevol tipus de producte en pràcticament qualsevol part del món. El major culpable de que hui ens trobem en este punt ha sigut la invenció de un recipient regular, estanc y fàcilment manipulable, adaptat a les distintes tipologies de càrrega que es requerisca transportar gràcies a les seues múltiples modalitats, el contenidor.

Tan mateix, encara queda molt de marge de millora. Bé és sabut que, en les grans terminals de contenidors, tant els volums y quanties de càrrega a mobilitzar, com la maquinària que efectua les operacions són molt pesades i, per tant, perilloses per al personal que es troba pel mig. És per això que cada dia que passa, els avanços tecnològics estan a l'ordre del dia, i no sols per a guanyar en seguretat, sinó també en eficiència dels equips, els quals són cada dia més respectuosos amb el medi ambient a més d'obtindre millors rendiments, és a dir, parlem del procés d'automatització de les terminals de contenidors.

En el present Treball Final de Màster, es pretén fer el dimensionament tècnic d'una terminal de transbord de contenidors totalment automatitzada al Port Badia d'Algesires (Espanya), port que major tràfic de contenidors mou en tot el territori nacional donades les fantàstiques condicions geogràfiques de la zona, ja que es troba en l'Estret de Gibraltar, punt de pas obligatori per a la majoria de les navilieres per a arribar a terres asiàtiques.

Hi ha una àmplia gamma de tecnologies per a dur a terme del citat objectiu en cada un dels subsistemes dels que es compon la terminal: la línia d'atracada, com ho són equips d'amarrament automàtic i grues STS, capaços de ser accionades per control remot; interconnexió y emmagatzemament, on s'han desenrotllat equips com ara els AGV y les ASC, vehicles y grues no tripulades, totalment automatitzats i 100% elèctrics; i recepció i entrega, on es disposa de tecnologia suficient per a automatitzar l'entrada i l'eixida de vehicles de la terminal (OCR), així com per a facilitar la labor dels equips de duanes, a través d'escàners i una ràpida gestió de la informació, la qual cosa eleva en gran manera la component de seguretat.

Per al cas d'estudi, s'ha plantejat un disseny tècnic en què s'han inclòs 6 grues STS accionades per control remot que constitueixen la porta marítima, un total de 16 parells de grues ASC i 28 AGV totalment automatitzats. Per la seua banda, la porta terrestre la constituïran dos portes d'entrada i eixida amb les últimes tecnologies per a facilitar les labors de despatx de mercaderia.

Paraules clau: grua STS, terminal, Algesires, AGV, port, ASC, contenidor, OCR, TOS, automatització, moll, emmagatzemament, transbord.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Comercio internacional: la importancia del transporte marítimo.....	1
1.2 Principales rutas marítimas a nivel mundial	3
1.3 El contenedor y sus múltiples variantes para el transporte marítimo	7
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER	13
3. ANTECEDENTES	15
3.1 Estado del arte	15
3.2 Necesidades estratégicas de una TPC	16
3.2.1 La mejora del rendimiento operacional	17
3.2.2 El incremento de la seguridad y protección	18
3.2.3 La contribución a la sostenibilidad ambiental.....	19
3.3 Diferencias en el proceso de diseño de una TCA y una TCC	21
3.4 El grado de automatización.....	21
3.4.1 Terminales automatizadas y semi-automatizadas	22
3.4.2 Automatizaciones mayores y menores	23
3.5 Líneas de desarrollo en automatización de TPCs	24
3.5.1 Automatización de puertas	25
3.5.2 Automatización de patio.....	25
3.5.3 Automatizaciones menores en grúas de muelle	26
3.6 El problema de la estiba en España y su solución: RD 8/2007	27
3.6.1 Historia de la estiba en España	27
3.6.2 Real Decreto-ley 8/2007.....	29
3.7 Ejemplos internacionales de terminales junto a su grado de automatización.30	
3.7.1 Total Terminal International Algeciras (TTI).....	30
3.7.2 Euromax Terminal Rotterdam	32
3.7.3 ECT-Delta Terminal Rotterdam	34
3.7.4 LBCT Long Beach Container Terminal, California (EEUU).....	35
3.7.5 Qingdao Fully-Automated Terminal, China	36
4. SITUACIÓN ACTUAL	39
4.1 Historia del puerto de Algeciras	39
4.2 Evolución del tráfico portuario en el puerto de Algeciras	45
4.3 Próxima propuesta de ampliación: localización del diseño	52

5.	PROYECTO OPERATIVO DE UNA TPC	57
5.1	La terminal: un sistema de subsistemas	57
5.1.1	Subsistema de carga y descarga o de muelle	57
5.1.2	Subsistema de almacenamiento	59
5.1.3	Subsistema de recepción y entrega terrestre.....	61
5.1.4	Subsistema de interconexión	62
5.2	Comparativa de terminales atendiendo a las disposiciones del patio de contenedores	63
5.3	Equipos presentes en una terminal de contenedores automatizada.....	65
5.3.1	Equipos en el subsistema de recepción y entrega	66
5.3.2	Equipos de muelle	70
5.3.3	Sistemas de transporte horizontal	74
5.3.4	Equipos de almacenamiento	75
5.3.5	Avances tecnológicos del spreader	79
5.3.6	Sistemas de gestión de la información.....	82
6.	DISEÑO TÉCNICO DE LA TERMINAL.....	85
6.1	Equipamiento empleado	85
6.1.1	Equipos de muelle	85
6.1.2	Equipos de transporte horizontal.....	87
6.1.3	Equipos de almacenamiento de contenedores	89
6.1.4	Equipos de recepción y entrega	92
6.1.5	Equipos de gestión de la información	96
6.2	Diseño de la terminal	98
6.2.1	Área de operación	98
6.2.2	Diseño en planta	100
6.2.3	Capacidad por línea de atraque.....	100
6.2.4	Capacidad de almacenamiento.....	111
6.2.5	Subsistema de recepción y entrega.....	117
6.3	Acceso terrestre.....	118
6.4	Instalaciones auxiliares.....	121
6.4.1	Oficinas	122
6.4.2	Taller y parking de maquinaria.....	122
6.4.3	Aduanas	122
6.5	Redes y servicios	122

6.5.1	Iluminación	122
6.5.2	Red de posicionamiento	123
6.5.3	Red de contraincendios.....	123
6.5.4	Red de abastecimiento de agua	123
6.5.5	Redes de drenaje	124
7.	CONCLUSIONES	125
8.	REFERENCIAS	127
	ANEJO DE PLANOS DEL DISEÑO DE LA TERMINAL	131

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Comercio internacional: la importancia del transporte marítimo

El comercio internacional hace referencia al movimiento de bienes y servicios a través de los distintos países y sus relativos mercados. Este se realiza mediante el empleo de divisas y se encuentra sujeto a una serie de regulaciones adicionales que establecen los participantes en cada intercambio, así como los gobiernos de sus respectivos países, es decir, este comercio permite una mayor movilidad de los factores de producción entre países dejando como consecuencia las siguientes ventajas:

- Cada país se especializa en aquellos productos en los que tienen una mayor eficiencia, lo cual les permite utilizar mejor sus recursos productivos y así, elevar el nivel de vida de sus trabajadores.
- Los precios tienden a ser más estables.
- Hace posible que un país importe aquellos bienes cuya producción interna no es suficiente y, de esta manera, no tengan que ser producidos.
- Hace posible la oferta de productos que exceden el consumo a otros países, en otros mercados.
- Proporciona equilibrio entre la escasez y el exceso.
- Los movimientos de entrada y salida de mercancías dan paso a la balanza en el mercado internacional.

Los datos demuestran que existe una relación estadística indudable entre un comercio más libre y el crecimiento económico. La teoría económica señala razones convincentes para esa relación dado que todos los países, incluidos los más pobres, tienen activos humanos, industriales, naturales y financieros que pueden emplear para producir bienes y servicios para sus mercados internos o para competir en el exterior. La economía muestra que la población puede beneficiarse cuando esas mercancías y servicios se comercializan.

No obstante, para que exista comercio entre países, es necesaria la presencia de medios de transporte adecuados para transportar dicha mercancía de un lugar a otro, entre los que destaca el que se realiza por medio marítimo, el cual es de suma importancia para el mundo moderno. Tiene gran influencia en cuestiones de desarrollo social y económico, como así también es generadora de empleo, ya que millones de personas en el mundo trabajan en actividades directa o indirectamente relacionadas con la mar.

Uno de los aspectos fundamentales para la economía globalizada de las sociedades modernas se relaciona con los gastos del transporte. Se podría decir que es la columna vertebral del comercio internacional. Es por ello que, en los últimos tiempos, el número y tamaño de los buques se han incrementado enormemente, tanto en corta como en media o larga distancia y ello ha conducido a la participación de los aspectos normativos y técnicos relacionados con la seguridad de la industria naviera.



Figura 1 - Nuevo buque de la serie Triple-E de Maersk, con una capacidad de 18.000 TEUs, maniobrando en el puerto de Algeciras. Fuente: Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras.

Actualmente y bajo la responsabilidad de la *OMI* (Organización Marítima Internacional), los tratados siguen siendo el principal instrumento internacional que vela por la seguridad marítima, los cuales abarcan áreas tales como el diseño de buques, comunicaciones por radio, seguridad en la navegación, etc. Quizá el ejemplo más importante sea el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (*SOLAS* en inglés: *Safety of Life at Sea*) que hace que el transporte por mar sea cada día más seguro.

Sin embargo, no es solo la seguridad lo más importante del medio marítimo, sino que también destaca por su implicación con el medio ambiente. Se trata de un medio que, en comparación con el terrestre, respeta en mayor grado al medio ambiente, puesto que contribuyente mucho menos a la contaminación, dado que las emisiones producidas en relación a la cantidad transportada son muy inferiores en este medio. A pesar del incremento masivo del comercio marítimo mundial, datos de varios estudios demuestran que ha habido una reducción sustancial de la contaminación marítima en los últimos 20 años, especialmente con respecto a la cantidad de petróleo derramado en el mar. Un ejemplo claro es el el Convenio para Prevenir la Contaminación por los

Buques (*MARPOL*), también promulgado por la *OMI*, para velar por la calidad medioambiental de nuestros océanos y mares.

Como conclusión a este apartado, es destacable mencionar que el comercio internacional ha sido un instrumento fundamental en el tema de la globalización y que, de entre todos los medios de transporte para poder llevarlo a cabo, el marítimo es especialmente importante, ya que es el más económico y respetuoso con el medio ambiente, además de haber ganado mucho en seguridad durante las últimas décadas.

1.2 Principales rutas marítimas a nivel mundial

Desde tiempos inmemoriales el comercio marítimo ha sido fundamental para el intercambio de bienes y mercancías alrededor del mundo. A lo largo de la historia existieron pueblos que comprendieron la importancia del mar como vía para las expediciones y el comercio, como es el caso de los vikingos en el mar del Norte o los fenicios en el mar Mediterráneo. Esto hace pensar que probablemente, el mundo marítimo dio forma a la actual globalización, teniendo en cuenta las expediciones españolas, portuguesas e inglesas a América, los cuales llevaron de Europa formas, costumbres, ideas, ... a través del comercio inter oceánico.

A día de hoy, alrededor del 90% del comercio mundial se realiza mediante este medio de transporte. Tal vez sea por ello que las navieras desarrollan barcos cada día más grandes, llegando a ser de 18-20.000 *TEUs* (*acrónimo del término en inglés Twenty-foot Equivalent Unit, el cual significa Unidad Equivalente a Veinte Pies*).

En cuanto a los tipos de servicios que se ofertan en el transporte marítimo, destacar que son básicamente dos: los *servicios regulares de línea* y los *servicios tramp o chárter*. El primero responde a rutas y escalas previamente establecidas del barco; mientras que, en el segundo, el servicio se realiza contratando el barco de forma total o parcial para que llegue al destino solicitado por el cliente y diseñando su propia ruta.

No obstante, los viajes en barco han ido asentándose a lo largo del tiempo y dicho transporte ha tendido a concentrarse en las llamadas rutas marítimas. Estas constituyen puntos de paso obligatorio entre océanos y/o entre mares. Pueden dividirse en dos categorías: las naturales y las realizadas por el hombre con el fin de ahorrar tiempos. Se trata de espacios de muy pocos kilómetros de ancho y que son función de puntos obligatorios de tránsito (estratégicos) y de restricciones físicas, tales como vientos, corrientes marinas, profundidades someras y/o hielo. También se las conoce como *chokepoints* (*cuello de botella*), dado que la interrupción del flujo de mercancía en cualquiera de las rutas podría tener un impacto significativo en los precios mundiales. Entre las naturales encontramos, por ejemplo, los estrechos de Malaca o Gibraltar y; como ejemplo de las hechas por el hombre, cabe nombrar tanto el canal de Panamá como el de Suez. A pesar de ello, lo que está claro es que unas se utilizan más que otras y es lo que se va a mencionar en los siguientes párrafos.

- Rutas principales

Las cuatro rutas marítimas fundamentales (Maritime Container Safety, 2006) podrían decirse que son los Estrechos de Malaca y Gibraltar y los Canales de Suez y Panamá tal y como pueden verse en la siguiente imagen.



Figura 2 - Rutas marítimas principales. Fuente: Elaboración propia.

El primero de ellos, el Estrecho de Malaca, conecta el Océano Índico con el mar del Sur de China y por él circulan alrededor de 50.000 buques por año, lo cual representa el 30% del comercio marítimo global, incluyendo el 80% del petróleo que alimenta China, Japón y Corea del Sur.

El segundo y el tercero conectan, en primera instancia el Océano Atlántico con el Mar Mediterráneo, por medio del Estrecho de Gibraltar; y en segunda, el Mar Mediterráneo con el Océano Índico, por medio del Canal de Suez. Esta ruta da paso a unas 20.000 naves por año, lo cual supone el 15% del comercio marítimo mundial. Cabe destacar que desde el Mar Mediterráneo se abastece a gran parte de los países europeos además de los países del norte de África. Aquí es donde cobran una importancia enorme los buques *feeder*, buques portacontenedores empleados para transportar contenedores entre puertos oceánicos *hub* y puertos de menor tamaño, dentro de una misma área geográfica. Es realmente la finalidad de la redacción del trabajo: la construcción de una terminal de contenedores de transbordo para que los buques que vengan por el Atlántico dejen sus contenedores y estos sean repartidos por otros buques de menor tamaño a lo largo del Mediterráneo, o viceversa.

Por último, el Canal de Panamá fue una obra que supuso un tremendo avance para la industria, ya que conecta los océanos Atlántico y Pacífico sin necesidad de tener que bordear América del Sur para el mismo fin. Este canal artificial da paso anualmente a unas 13.000 naves, lo cual supone un 5% del comercio marítimo. El paso por el Estrecho de Magallanes, además de una pérdida de tiempo considerable si no era ese

u otro cercano el destino final de la mercancía, suponía hasta hace bien poco un quebradero de cabeza para los marineros ya que era relativamente fácil encallar si no se tenía un conocimiento previo del fondo marino en aquella zona.

Parece una realidad que lo más importante de estas rutas, es que permiten a los buques pasar de un océano a otro sin necesidad de realizar largos viajes por lugares por los que tendrían que pasar únicamente por la necesidad de sortearlos. Ello supondría una pérdida de tiempo, y una pérdida de tiempo en transporte marítimo se traduce en una pérdida de dinero. Por otro lado, la importancia de estos puntos puede verse en el mapa anterior con facilidad ya que, con las uniones marcadas en verde, se puede dar la vuelta al mundo de una manera relativamente rápida y sencilla.

- Rutas secundarias

En adición a las 4 principales rutas marítimas citadas podrían mencionarse el Cabo de Buena Esperanza, el cual conecta los océanos Atlántico e Índico por su zona Sur y los Estrechos de Ormuz, Bósforo, Báltico y Magallanes, los cuales se señalan en la imagen a continuación.



Figura 3 - Ejemplos de rutas secundarias. Fuente: Elaboración propia.

El primero de ellos, el Estrecho de Ormuz, es paso obligado desde los campos petroleros del Golfo Pérsico hacia el Océano Índico, transitando por allí el 88% del petróleo exportado por los países de esa región. También es importante por el tráfico de contenedores, puesto que el gigantesco puerto de contenedores de Dubái se encuentra en ese lugar. El del Bósforo conecta el Mediterráneo con el Mar Muerto, el en cual se encuentran varios países de Europa del Este. El del Báltico conecta el océano Atlántico con los países Bálticos. Por último, del Estrecho de Magallanes ya se ha comentado que ha perdido influencia por el canal de Panamá. No obstante, sigue y seguirá siendo importante para el comercio marítimo entre países Sudamericanos.

- Rutas por el Ártico en la segunda mitad del s.XXI, ¿Será posible?

Con el calentamiento global se evidencia el derretimiento progresivo del hielo del Ártico, lo cual parece que hará de este una ruta marítima clave dentro de pocas décadas. Ello brindaría una nueva conexión entre el océano Atlántico y el Pacífico, lo cual permitiría reducir las tensiones en el Estrecho de Malaca. No obstante, estas nuevas rutas están llamadas a generar sus propias tensiones.

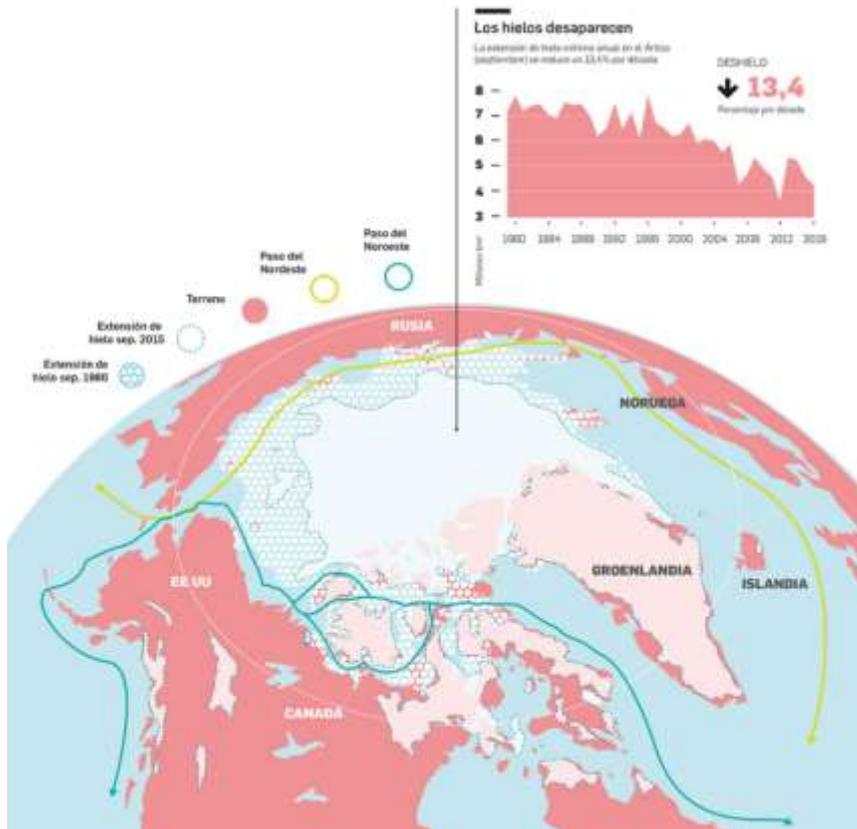


Figura 4 - Evolución del deshielo desde 1980 y vista de las dos nuevas rutas Nordeste (en amarillo) y Noroeste (en verde). Fuente: Byron Maher.

Si se llega a dar, las naciones Árticas mantienen y mantendrán numerosos conflictos geopolíticos y de fronteras por el presente y futuro reparto del botín, en lo que ya se conoce como nuevo punto candente mundial. Y los pasos no son ajenos a ellos dado que Rusia y Canadá van a buscar el control de sus respectivas zonas y reclamarán derechos de paso y, por otro lado, los armadores ya han establecido el horizonte en 2030 como fecha probable que permita establecer en los pasos árticos como rutas marítimas habituales para el comercio global.

No obstante, si se llega a dar, parece razonable pensar que tardará mucho tiempo en lograrse, tanto física como políticamente hablando. Primero, porque en invierno seguirá haciendo frío y será más que segura la presencia de icebergs por la zona, lo cual constituye un peligro extremo para los barcos y las navieras no van a arriesgarse a pasar sus buques por un "campo minado" y, segundo, porque tardará también

mucho tiempo en el que las naciones implicadas lleguen a ponerse de acuerdo en la propiedad de esas aguas.

1.3 El contenedor y sus múltiples variantes para el transporte marítimo

En los primeros dos apartados de la memoria se han comentado varias razones por las cuales el transporte marítimo es el medio de transporte más eficiente de entre todos los existentes, tanto por temas económicos como ambientales.

Una vez dentro del mismo, cabe destacar el mayor avance a lo largo de la historia del transporte, no solo del marítimo sino en términos generales, el cual ha sido el desarrollo de un recipiente estanco de gran volumen y de geometría regular y estandarizada, el cual permitió optimizar el espacio, haciéndolo más competitivo sobretodo en la modalidad marítima, convirtiéndolo en el medio más utilizado para mercancías en grandes cantidades: *el contenedor*.

El origen del contenedor data de mediados del siglo XX cuando un empresario de Nueva Jersey, Malcom McLean, tuvo una idea tras recibir la negativa de una empresa ferroviaria de subir sus tráileres a los vagones de tren. Este empresario adquirió un par de buques antiguos y mando construir unas cajas metálicas de las mismas dimensiones que sus tráileres y es así como movió 58 de estos contenedores en un solo trayecto Nueva York-Houston en 1956.



Figura 5 - Uno de los primeros contenedores de McLean. Fuente: Trabajo 1 Logística Internacional del curso 2016/17: el contenedor.

Fue entonces cuando fundó la naviera *SeaLand*, hoy conocida como *Maesk*, y amasó buena fortuna al transportar equipo y suministros en la Guerra de Vietnam, aprovechando los contenedores vacíos para hacer escala en Japón y así, llevar productos a territorio americano. Más tarde, en los años 60 del siglo pasado, la *International Organisation of Standardization (ISO)*, fue la que normalizó las medidas conocidas del contenedor a día de hoy.

Además, el avance tecnológico y el nacimiento de nuevas compañías navieras, lo que se traduce en una mayor oferta en mercado, ha propiciado la necesidad por parte de estas de ser mucho más competitivas. Es por ello que, independientemente del *INCOTERM (International Commerce Terms)* que se elija, el envío de un contenedor se puede realizar de dos maneras: una, mediante un término conocido como *FCL (Full Container Load)*; y otra, mediante otro conocido como *LCL (Less Container Load)*, cuyas diferencias se comentan en la siguiente tabla.

<u>Full Container Load (LCL)</u>	<u>Less Container Load (LCL)</u>
Uso de un contenedor completo.	El contenedor se encuentra cargado parcialmente.
Pertenece a un único propietario	Se transportan mercancías de diferentes propietarios.
Uso extendido por multinacionales.	Venta al por menor, imprescindible el "Grupaje".

Tabla 1 - Tipos de envío de un contenedor. Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que, en función del tipo de mercancía susceptible de ser transportada, han ido apareciendo en el mercado diferentes diseños del contenedor convencional. Actualmente existe gran variedad, con diferentes dimensiones y propósitos. A continuación, se mencionan los más utilizados.

- **Dry Van o Standard:** el contenedor convencional por excelencia. Sin ventilación, refrigeración y cerrados herméticamente por todos sus costados. Aptos para cualquier carga seca normal, mercancía en general en cartones, cajas o barriles. Es el más empleado con diferencia.



Figura 6 - Contenedor Dry Van o Standard. Fuente: www.zarca.es.

- **High Cube:** contenedor estándar de 40 pies de largo con una sobrealtura de 9.6 pies respecto al anterior. Ello le dota de mayor volumen. Perfecto para mercancía de de poco peso y voluminosa.



Figura 7 - Contenedor High Cube. Fuente: www.steinweg-france.fr.

- **Refrigerados o Refeer:** preparado para mantener hasta temperaturas de 30°C bajo cero. Construido de aluminio, en un extremo se encuentran las puertas para abrirlo, y en el otro una unidad frigorífica móvil. Deben ir conectados tanto en buque como en terminal. Su uso es fundamentalmente para productos perecederos.



Figura 8 - Contenedor Refeer. Fuente: www.aralits.com.

- **Cisterna o Tank:** contenedor para transporte líquido a granel de cualquier índole. Se trata de una cisterna contenida dentro de una serie de vigas de acero, las cuales delimitan un paralelepípedo con dimensiones idénticas al *Dry Van*. Así pues, la cisterna goza de las mismas características que las de un contenedor convencional, ya que puede apilarse y viajar en cualquiera de los medios de transporte típicos.



Figura 9 - Contenedor cisterna. Fuente: www.aralis.com.

- **Europallet o palletwide:** contenedor que permite adaptar perfectamente el tamaño de los europallets a la perfección dentro de los contenedores. Tiene una anchura un poco superior (2.426 mm.) a la habitual, lo cual permite colocar dos pallets de 1.2 metros de ancho aprovechando de esta manera mucho mejor la capacidad del contenedor.



Figura 10 - Contenedor para Europallets. Fuente: www.rcontainer.com.

Como conclusión al presente apartado, la idea principal era la de observar la evolución seguida por el transporte marítimo desde sus inicios, resaltando la gran importancia que ha supuesto la invención del contenedor para el mismo ya que, a día de hoy, se puede asegurar que es transportable prácticamente cualquier tipo de mercancía y de la forma más óptima posible.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

En el presente apartado se detallan los objetivos propuestos en el presente Trabajo Final de Máster:

- Diseño técnico de una terminal de contenedores automatizada en la ampliación del Muelle Isla Verde Exterior del puerto de la Bahía de Algeciras en el término municipal de Algeciras.
- Se describirán las últimas tendencias de automatización llevadas a cabo en cada uno de los subsistemas que componen una terminal de contenedores.
- Se analizará el tráfico de mercancías histórico en dicho puerto, prestando especial atención a los valores históricos pertenecientes a mercancía contenerizada de tránsito, la cual predomina con claridad, para así justificar la necesidad de la construcción de una nueva terminal de contenedores.

Asimismo, la metodología seguida para la obtención de resultados y el posterior dimensionamiento de la terminal es el siguiente:

- Se procederá al cálculo de las capacidades de la terminal aplicando el Método de los Cuellos de Botella mediante el *Manual de Capacidad Portuaria*, obteniendo las capacidades de atraque y almacenamiento y así conocer la capacidad de la terminal.
- Para el diseño geométrico de la línea de atraque, se tendrán en consideración las recomendaciones que establece la ROM con la finalidad de establecer unas dimensiones totales para después repartirlas en función de las dimensiones de los equipos de muelle e interconexión.
- Por su parte, la zona de almacenamiento se dimensionará de tal manera que se pueda utilizar la mayor superficie posible.

3. ANTECEDENTES

3.1 Estado del arte

La automatización industrial consiste en el uso de elementos o sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos, eléctricos, electrónicos y computarizados para controlar máquinas y procesos, reduciendo así la intervención humana en el desarrollo de la actividad. Es posible en la medida en que se trate de un proceso sistemático y repetitivo que responda a unas reglas y condiciones que puedan ser identificadas y programables. Para ello, esta disciplina abarca tanto la instrumentación de campo para la toma de datos, como la gestión de dichos datos para la toma de decisiones y control de las operaciones.

Esa reducción de la intervención humana facilita en gran medida el control de los equipos y procesos implicados en la misma, lo que se traduce en una estandarización del rendimiento y los niveles de servicio, la eliminación de la incertidumbre en los tiempos de respuesta y la reducción de los costes operativos y los errores asociados a la conducta humana. Esas ventajas unidas a la evolución tecnológica y a que, con los volúmenes actuales de comercio mundial a día de hoy, resulta inconcebible una economía basada exclusivamente en el trabajo manual, y ello convierte en la automatización en una corriente global presente, en mayor o menor grado, en prácticamente todos los ámbitos de la industria.

Según Monfort et. al., en el libro *Manual de Capacidad Portuaria*, el inicio de las terminales de contenedores automatizadas en puertos marítimos viene fundamentalmente precedido por tres causas:

- La necesidad de establecer un menor coste operacional.
- Un mayor control de las mercancías.
- Un mejor nivel de servicio por parte de las terminales.

Como solución a estos problemas, en 1993 se iniciaba la puesta en marcha de terminal portuaria ECT Delta Terminal, operada por Europe Container Terminal (ECT) en el puerto de Rotterdam. Se trata pues del primer paso en lo que se llamaría, a partir de ese momento, el concepto de terminal automatizada en atención a su máximo grado de automatización hasta la fecha. El equipamiento de esta terminal es tal que prescinde operadores en la manipulación de equipos de almacenamiento e interconexión, respectivamente.

Desde que la ECT comenzara su andadura, muchas han sido las terminales de contenedores que se han sumado a la automatización y han seguido evolucionando los mecanismos, consolidando esta como una tendencia universal y permanente en el sector. Asimismo, los avances tecnológicos y herramientas de gestión dedicadas a la automatización, copan buena parte del mercado de equipamiento y de software para este tipo de terminales.

Hoy en día, el término terminal automatizada de contenedores se emplea para denominar a las terminales portuarias de contenedores que, como ECT Delta Terminal, han automatizado los movimientos tanto en patio como en los de interconexión entre el muelle y el patio. Aun cuando los movimientos en la zona entre la grúa y el buque siguen siendo manuales y los de recepción y entrega terrestre (interacción entre la grúa de patio y los medios de transporte) se encuentran asistidos por control remoto. Las tendencias en automatización con carácter general serían estas cuatro:

- De puertas.
- De patio.
- Del transporte horizontal.
- De grúas de muelle.

No obstante, esta es solo una de las múltiples opciones de automatización posibles. Una solución inmediata que suelen optar las distintas operadoras entre la automatización total y las terminales manuales es, por ejemplo, la automatización parcial o semi-automatización, de la cual hay muchos ejemplos repartidos por el mundo, como la TTI-Algeciras.

De todas formas, ambas posibilidades emplean automatizaciones mayores o totales, que se materializan en equipos automatizados, como las *Automated Stracking Cranes (ACS)* para operar en patio y los *Automated Guided Vehicles (AGV)* o los *Automated Lifting Vehicles (ALV)* para hacerlo en la transferencia. Sin embargo, el término de semi-automatización también puede referirse al manejo de equipos por control asistido o la sistematización de algunas de las funciones de los equipos mediante automatizaciones menores o parciales.

Las automatizaciones totales o semi-automatizaciones de equipos son la suma de un conjunto integral e integrado de tecnologías o sistemas que por separado podrían considerarse automatizaciones menores. Es posible automatizar totalmente equipos convencionales mediante la implementación de las automatizaciones menores necesarias mediante un proceso de reequipamiento. Es una solución para terminales en servicio que todavía no han amortizado su inversión inicial en equipamiento y que pueden adaptar sus actuales equipos.

La combinación de diferentes automatizaciones mayores y menores da como resultado, terminales portuarias de contenedores con distintos grados de automatización, término que se va a comentar en el próximo apartado, y como se verá desarrollado a lo largo de este trabajo, y como se verá desarrollado en el mismo todo ello constituye el presente y futuro de las terminales de contenedores portuarias.

3.2 Necesidades estratégicas de una TPC

En la concepción moderna que requiere el negocio de este tipo de terminales, podría añadirse que, para un desarrollo sostenible de la actividad de la terminal, su estrategia debe considerar, de manera simultánea, las siguientes tres necesidades estratégicas:

- Mejora del rendimiento operacional
- El incremento de la seguridad y la protección
- La contribución a la sostenibilidad ambiental

Y, a continuación, se comenta el porqué de cada una de ellas.

3.2.1 La mejora del rendimiento operacional

Cuando se trata de mejorar el rendimiento operacional, este se refiere a la necesidad estratégica de la perspectiva económica del negocio. Su enunciación es la más directa de las tres ya que responde de forma directa a los intereses de la terminal y de las navieras (accionistas y clientes comerciales, respectivamente).

En este contexto se definen las siguientes categorías del rendimiento portuario:

Categoría		Definición
Rendimiento operacional	Producción	Expresa el volumen de manipulación de la terminal en un periodo de tiempo, sin explicitar los recursos empleados. Cuando se expresan en unidades monetarias, se generan los indicadores financieros. Por ejemplo: tráfico anual (t/año;TEU/año)
	Productividad	Es el volumen de mercancías manipulado por unidad de recurso y por unidad de tiempo. Está relacionada con el ritmo de trabajo de los diferentes recursos de la terminal. Ejemplos: <ul style="list-style-type: none"> • Productividad de la línea de atraque (TEUs/m y año). • Productividad de buque en puerto (TEUs/h) • Productividad de grúa (movimientos/h)
	Utilización	Define la intensidad con la que se usan los recursos, es decir, el ratio expresado en porcentaje, entre el uso de un determinado recurso y el máximo posible en un periodo de tiempo. Por ejemplo: Utilización de la línea de atraque (% de ocupación)
Eficiencia		Es la relación entre los recursos utilizados (inputs), infraestructuras y equipamiento, y los resultados de explotación logrados (outputs), tráfico.
Capacidad		Es el máximo tráfico al que una terminal marítima puede dar servicio en un escenario definido.
Nivel de servicio		Es una medida de la calidad percibida por los clientes de la terminal.

Tabla 2 - Categorías de medición de rendimiento en puertos. Fuente: Monfort et. al. 2011.

Por tanto, al mejorar el rendimiento operacional la terminal consigue reducir sus costes y, de esta manera, ampliar su margen de beneficio para poder aumentar su capacidad y, a su vez, le permite aumentar su volumen de operaciones. Esta última, junto con el margen de beneficios, son las variables que determina el resultado económico de una empresa.

No obstante, en una TPC el volumen de operaciones no va ligado exclusivamente a su capacidad. Se trata de una condición necesaria pero no suficiente. El volumen de

operaciones depende de la decisión del cliente de adquisición del servicio, función a su vez del grado de satisfacción respecto a la Propuesta de Valor formulada por la terminal.

Esta Propuesta de Valor, además de estar relacionada a su ubicación geográfica, contar con la infraestructura adecuada, es decir, instalaciones y conexiones con vía terrestre, establecer precios competitivos, etc. Debe garantizar un nivel de servicio mínimo, atractivo para el mercado al cual va dirigido, de forma que sea posible captar y generar clientes fijos, en este caso las navieras, y por consiguiente incrementar el volumen de operaciones y beneficios económicos. Este nivel de servicio depende, entre otros factores, de si la TPC es pública o dedicada. En *Mofort et al. (2011b)* se realiza una novedosa propuesta de nueve niveles de servicio para el subsistema de carga y descarga de buques, asociados a la calidad percibida por las navieras y que quedan determinados por dos variables: la espera relativa, la cual es el tiempo de espera respecto al tiempo de servicio) y la productividad anual media del buque atracado. De esta forma, en el negocio de la manipulación de contenedores el rendimiento operacional forma parte de la Propuesta de Valor.

Nivel de servicio	Espera relativa	NIVELES DE SERVICIO			
		D	<0,2	-	-
C	0,1-0,2	-	CC	BC	AC
B	0,05-0,1	-	CB	BB	AB
A	hasta 0,05	-	CA	BA	AA
		<35	35-50	50-65	>65
		Productividad anual media de buque atracado (P) (cont./h)			
		D	C	B	A
		Nivel de servicio			

Tabla 3 - Propuesta de niveles de servicio para las navieras. Fuente: Monfort et al. (2011b).

Por tanto, mejorar el rendimiento operacional afecta al rendimiento económico de la TPC; por una parte, reduciendo costes de las operaciones, pudiendo así aumentar la capacidad de las instalaciones si así se desea; y por otra, incrementando su volumen de operaciones mediante la formulación del nivel de servicio más competitivo. Por todo ello, esta constituye la primera y más básica de las tres necesidades estratégicas de cualquier terminal y genera buena parte de las iniciativas estratégicas de su plan de Acción.

3.2.2 El incremento de la seguridad y protección

De manera adicional, la perspectiva social del Desarrollo Sostenible en terminales portuarias de contenedores pide procesos cada vez más seguros frente a accidentes y también en términos de defensa. El incremento de seguridad y protección es una necesidad estratégica compartida tanto por la sociedad, como por la propia terminal como empresa.

Lo que busca esta seguridad es la reducción de riesgos de accidentes, disminuyendo la probabilidad de ocurrencia del mismo a través de la implantación de medidas preventivas, y minimizando el daño que ocasionan a través de medidas correctivas, incluyendo estas últimas la gestión de recursos durante emergencias. La seguridad hace referencia a prácticamente todo en una TPC (trabajadores, infraestructuras, instalaciones, equipos, ...) además de contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Por otro lado, la protección busca una mejora en el grado de defensa frente a peligros, daños, pérdidas y actividades criminales, y afecta a mercancías, buques, instalaciones portuarias, trabajadores de la terminal y el resto de agentes implicados como los servicios de transporte terrestre o inspección.

Al igual que en otros sectores, en el ámbito portuario también se tiene normativa propia. De hecho, desde comienzos del siglo XX, diferentes organismos internacionales, de manera general, inducidos por catástrofes causadas por accidentes o ataques, así como la persecución del contrabando, han aprobado convenios, reglas, normas, etc. con diferente grado de obligatoriedad de transposición y cumplimiento para los países que lo suscriben. Ejemplos de ello son la *MARPOL 73/78*, *SOLAS (1960)* y el *Código Internacional para la Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias (Código PBIP, 2002)*, todos ellos promulgados por la *OMI*, la cual es una agencia especializada de la *ONU* y que, desde 1958, promueve cooperación entre Estados y la industria marítima en diversos temas.

Estos convenios, reglas, normas, recomendaciones y leyes imponen restricciones al transporte marítimo y no son más que requisitos mínimos que deben cumplirse para prestar el servicio, complicando el flujo físico del contenedor y haciéndolo más complejo por la documentación que lleva consigo, siendo el objetivo principal de las empresas el llevar a cabo su cumplimiento sin que ello afecte a su rendimiento y las operaciones sean efectuadas con el menor coste posible.

Además de todo lo comentado, las terminales deben invertir en seguridad y protección para minimizar pérdidas consecuencia de fallos a este respecto. Los fallos en estos aspectos en instalaciones de una terminal general impactos muy graves, sobre todo si involucra mercancía peligrosa o vidas humanas. Por ello, están obligadas a contratar seguros para cubrir estos eventos.

Para finiquitar todo lo citado en este apartado, solo comentar que la necesidad de incremento de la seguridad y protección debe ser tenida en cuenta desde la estrategia y abordada desde el Plan de acción de la TPC, y ello lo convierte en su segunda necesidad estratégica.

3.2.3 La contribución a la sostenibilidad ambiental

En cuanto a la última de las necesidades estratégicas de una TPC responde, como su propio nombre dice, a la necesidad estratégica de la perspectiva medioambiental del

Desarrollo Sostenible, y es consecuencia de las nuevas demandas de la sociedad, cada vez más concienciada del impacto ambiental que esta actividad genera.

Hoy en día, el transporte marítimo se considera una de las mejores alternativas de transporte de mercancías en cuanto a viabilidad sostenible se refiere, y más aún si se habla de transporte de mercancía en contenedor dado que al estar está contenida en recipientes estancos, la contaminación producida es mucho menor que la de otros medios de transporte. No obstante, el comercio marítimo también genera impactos en el medio físico, no solo en la costa, sino también en otras zonas del territorio debido a la extensión de la cadena logística del contenedor. Es más, el espectacular crecimiento del tráfico marítimo durante la segunda mitad del siglo pasado ha puesto en el punto de mira de organizaciones medioambientales a esta actividad, ya que requiere la construcción de infraestructuras de transporte que, por un lado, consumen recursos, y por otro generan residuos a lo largo de su vida útil. Conscientes de todo ello, los puertos han elevado los asuntos relacionados con el medio ambiente a la categoría de aspectos clave para su gestión.

Durante la fase de explotación en un puerto, los actores que mayor parte de los impactos que se generan son las terminales portuarias y los buques y por ello, debe asumirse suya la necesidad estratégica de la sostenibilidad ambiental de los puertos, y cooperar entre ellos para así, minimizar y, en caso de que así sea posible, mitigar sus impactos ambientales negativos.

Los impactos generados por esta dupla afectan principalmente a la calidad de las aguas, al fondo marino, la calidad del aire, el nivel de ruido y de vibraciones, la gestión de residuos y la contaminación lumínica.

Por ello, en las terminales se está innovando e invirtiendo en mejoras de eficiencia energética encaminadas a minimizar la cantidad de energía por contenedor movido, además de potenciar el uso de la energía eléctrica, más limpia que la quema de combustibles fósiles y menos ruidosa. Pero no son solo medioambientales los beneficios que estos cambios reportan, sino también económicos como consecuencia de la reducción de costes de producción por unidad.

Por otro lado, la construcción de infraestructuras consume una gran cantidad de recurso material. El mayor gasto se produce durante la fase de localización de la instalación y persiste hasta la fase de desmantelamiento de la misma, puesto que la localización en un lugar determinado para un puerto implica la aparición de infraestructuras donde antes no había nada. En este caso, una mejora del rendimiento operacional implicaría un mejor aprovechamiento del espacio y ello minimiza la superficie necesaria.

Finalmente, la preocupación de la sociedad por estos temas, sobre todo en los países de la Unión Europea, está materializándose en políticas, legislación y acuerdos entre países que imponen nuevas restricciones a la hora de desplegar el negocio. Así pues, lo que hoy puede ser una ventaja competitiva, mañana seguramente sea algo

fundamental para la prestación del servicio, dejando fuera de mercado a aquellas TPCs que no hayan previsto con antelación la necesidad de estratégica de reducir el impacto ambiental de sus acciones, aunque también ocurriría en la segunda necesidad estratégica, seguridad y protección de sus instalaciones.

3.3 Diferencias en el proceso de diseño de una TCA y una TCC

Algunas de las diferencias más importantes relacionadas con el diseño de una terminal automatizada frente al diseño de una que no lo es, son las siguientes:

- *En las terminales automatizadas el control de los sistemas es vital.* Es por ello que la ingeniería informática tiene un papel importantísimo. En las terminales convencionales, por su parte, el mayor peso del proceso estaba en la ingeniería civil y mecánica. En las automatizadas, el hardware y software son la base de la ingeniería. De hecho, probar el software para comprobar que todo es correcto, requiere una gran cantidad de tiempo y dinero dado que ya es imposible encontrar una solución de mercado que se ajuste a cada necesidad, esto no iba a ser distinto. Es imprescindible desarrollar las funciones de control para conectar y controlar el software de cada equipo.
- *El coste inicial de una terminal automatizada es muy elevado:* según Fernández Rubio, G., como mínimo, un 20 a un 25% superior a la convencional. Es por ello que este sobrecoste debe compensarse de alguna manera, y es en la reducción de personal donde pretenden ser ambiciosas, tratando de lograr un mínimo de un 40% de reducción de costes en esta área para que la susodicha terminal sea rentable.
- *Como se busca la automatización para mejorar el rendimiento, los equipos deben diseñarse de origen para satisfacer dicho rendimiento respecto a los convencionales.* Se deben diseñar total o parcialmente los nuevos equipos o sistemas. Normalmente se deberá trabajar con equipos que, en muchos casos, son totalmente nuevos y que operarán con distintas reglas.
- *Los procesos de trabajo en una terminal automatizada son diferentes de la terminal convencional.* El sistema de manipulación es diferente para permitir esa automatización, pero también para conseguir acoger todos los cambios en la demanda y ello influye en las características de todos los equipos de la terminal. Es necesario, por ello, un sistema de control *TOS (Terminal Operating System)* mucho más desarrollado que el existente en las terminales convencionales, el cual es el núcleo básico sobre el que se apoyan el resto de sistemas.

3.4 El grado de automatización

Se pueden distinguir, en primera instancia, terminales automatizadas y semi-automatizadas según el nivel de equipamiento automatizado que lleven consigo, y análogamente, se deben considerar las automatizaciones menores en contraste a las automatizaciones mayores.

3.4.1 Terminales automatizadas y semi-automatizadas

Según el *Manual de Capacidad Portuaria*, se denominará terminal de contenedores totalmente automatizada a aquella que tenga las mismas características que la primera terminal automatizada (Euromax Terminal Rotterdam), es decir, aquella en la que se han automatizado las operaciones relativas a movimientos de patio y los de interconexión muelle-patio, siendo todavía manuales las operaciones correspondientes a grúa-buque.



Figura 11 - Euromax Terminal Rotterdam, primera terminal automatizada del mundo. Fuente: Web oficial puerto de Rotterdam.

No obstante, aunque poco a poco se va avanzando en este campo y cada día se están acercando más a lo que se podría denominar como automatización total, una solución intermedia entre esta y la operación puramente manual de toda la vida, donde se pueden encontrar movimientos alternos entre lo automático y lo manual, es la que se denomina como automatización parcial o semi-automatización de las operaciones. Este término es el comúnmente empleado para denominar a aquellas terminales en las que el funcionamiento del patio es totalmente automático, pero no la interconexión grúa-muelle, la cual se realiza mediante medios convencionales. Existen varios ejemplos repartidos por el mundo correspondientes a esta tipología, bien sería un buen ejemplo la TTI Algeciras, situada justo al lado de la zona donde se quiere diseñar la terminal objeto de estudio en este trabajo y que ya se hablará de ella más adelante.

Se concluye el presente apartado comentando que, en cuanto a grado de automatización se refiere, cabe destacar que no debería ser rígido y contemplar todas las opciones posibles entre lo automatizado y la gestión manual, pasando por el control remoto de los equipos.

3.4.2 Automatizaciones mayores y menores

Según el *Manual de Capacidad Portuaria*, la diferencia entre estos dos conceptos es, si cabe, más complicada. Se entiende por la primera de ellas como la automatización total del proceso, movimiento o equipo que esta lleva a cabo. Por otro lado, las automatizaciones menores son aquellas encaradas a la multitud de aplicaciones de nuevas tecnologías, tanto en parte lógica operativa y administrativa, como en la parte física de manipulación de equipos y contenedores que permiten automatizar un dispositivo. Un ejemplo claro serían los sistemas de seguridad de recorrido de carro.



Figura 12 - Los AGV (Automated Guided Vehicle) son un ejemplo de automatización mayor. Fuente: Getty Images.

A pesar de que las primeras constituyen la parte más visible de la acción de automatizar, casi todas las TPC tienen implementadas las segundas que equipos y sistemas informáticos ya traen incorporados de fábrica. No obstante, también existen casos en los que las automatizaciones menores son aplicadas *a posteriori* como medidas adicionales con el fin de mejorar factores tales como su eficiencia, seguridad y calidad.

Cabe destacar, que la controversia asociada a este tipo de iniciativas es mucho menor que cuando se plantea una automatización mayor, y son mucho mejor recibidas simplemente porque reducen la intensidad de intervención humana sin la consecuencia de reducir los puestos de trabajo relativos a su función, es decir, facilitan a los trabajadores el desarrollo de sus funciones, mejoran su seguridad en el trabajo o agregan valor al proceso de manipulación agregando nuevas aplicaciones, aplicando por ejemplo, escáneres de radiación a los *spreaders*.



Figura 13 - Las básculas de célula constituyen una automatización menor en el proceso de identificación de cada vehículo. Fuente: Básculas Revuelta.

3.5 Líneas de desarrollo en automatización de TPCs

A día de hoy, tanto fabricantes de equipos de manipulación portuaria como los operadores de terminales se encuentran trabajando de manera conjunta en el desarrollo de una tecnología que les permita automatizar las TPCs de la forma más eficiente posible. Las tendencias de automatización no van solamente encaradas a automatizar equipos de interconexión y almacenamiento, es decir, se está evolucionando hacia grados de automatización que rebasan fronteras del patio de la terminal y avanzan a la totalidad de las operaciones, ya que, no se debe olvidar que el paso del contenedor a través de una terminal, supone un flujo físico y otro documental asociado, tal y como se comenta en *Monfort et al., 2011a*.

No obstante, existen desde hace ya mucho tiempo gran cantidad de procesos asociados al flujo de información que se realizan de forma automática. En este caso es el *TOS*, el que automatiza la transmisión y el procesamiento de información externa e interna que es necesaria para el correcto desarrollo de las operaciones.

La automatización, en cuanto a flujo físico se refiere, consiste en que los movimientos del contenedor dentro de la terminal se realicen con la menor intervención humana que trabaja con el mismo, generalmente de los manipuladores de equipos. A cada día que pasa, la evolución tecnológica permite de manera más sencilla, automatizar movimientos cada vez más complejos.

En cuanto a la automatización del patio se refiere, tanto en equipos de interconexión como de almacenamiento necesita de la automatización del inventario de contenedores presentes en el mismo y el seguimiento de cada equipo en tiempo real, los cuales son imprescindibles para este fin. Cabe destacar, que esta tendencia se manifiesta en automatización de terminales que evolucionan hacia un diseño de sistemas de manipulación cada día más autónomos y eficientes, tanto en términos operativos como económicos.

Por su parte, las grúas de muelle son elementos cuya automatización no se encuentra hoy en día muy desarrollada, por lo que es esperable que sea el equipo que experimente un mayor desarrollo tecnológico en los próximos años. Hasta ahora lo único que se ha podido avanzar en este elemento ha resultado ser automatizaciones menores que permiten mecanizar funciones que, hasta la fecha, únicamente dependían de la pericia del gruista. Sin embargo, no cabe duda de que esto supone un primer paso hacia la automatización total del sistema.

Por ello, a día de hoy, en automatización de terminales se está evolucionando de forma paralela en 3 líneas de desarrollo o tendencias que avanzan hacia la automatización completa en este campo, las cuales pasan a comentarse a continuación y que son:

- Automatización de puertas.
- Automatización de patio; y
- Automatizaciones menores en grúas de muelle.

3.5.1 Automatización de puertas

Con el objetivo firme de mejorar el rendimiento y la seguridad en las operaciones en las puertas de acceso de las terminales, se están implantando herramientas muy interesantes de identificación automática y estado del contenedor, vehículo y conductor, así como mediciones de volumen, peso y escaneo, además de localización en tiempo real de los camiones externos dentro del recinto de la terminal. Todas ellas se encuentran dirigidas a recopilar una mayor cantidad de información a los operadores a la vez que reducen los tiempos de tránsito de los vehículos, mejorando por un lado el servicio con el cliente, y por otro, incrementando la seguridad.

En este subsistema, la tendencia va encarada hacia la automatización total de las puertas, de manera que no requieran intervención manual salvo para la solución de algún problema puntual. Por ello, se instala un *hardware* de captura de datos compuesto por sensores muy diversos (*OCRs*, *RFIDs*, básculas, láseres, escáneres, cámaras, ...) además de un *software* de control que procesa la información y conecta con el *TOS* de la terminal, que es el que elaborará y transmitirá de forma automática, las instrucciones de recepción y entrega a los vehículos externos. En el apartado 4 de la presente memoria se comentarán los equipos más avanzados para resolver el problema del subsistema de recepción y entrega.

En el apartado 4 de la presente memoria se comentarán, con mayor detenimiento, los equipos más avanzados disponibles en el mercado que llevan a cabo los servicios de la entrada, recepción y entrega de las mercancías en terminal.

3.5.2 Automatización de patio

Desde los años 90 y de forma más intensa durante los últimos años, la automatización de patio, entendiendo como tal la de los subsistemas de almacenamiento e interconexión, se ha convertido en la tendencia más evidente y notoria de automatización en terminales, capaces de manipular tráfico superiores al millón de

TEUs de forma eficiente en términos económicos. Ello es debido principalmente a dos motivos: el primero, la gran inversión y aparatos que se requieren en este subsistema; y por otro, al cambio que se produce en la forma de gestionar las terminales, percibido por todos los actores que intervienen como un progreso hacia el futuro que además mejora tanto el rendimiento, como la seguridad, protección y sostenibilidad ambiental de la misma.

No cabe duda que, desde la perspectiva económico-financiera, la automatización de esta zona resulta muy interesante tanto para terminales de nuevo desarrollo como para la conversión de las convencionales existentes. En ambos casos, el beneficio es mayor cuando además se automatiza la conexión patio-muelle. Es por ello que las terminales que únicamente tienen automatizado el patio, se las conoce como terminales semi-automatizadas.

Existen, a día de hoy, gran cantidad de terminales tanto "semi" como automatizadas. Una gran lista que, durante los próximos años, no parará de crecer dado que se sigue invirtiendo en proyectos de esta índole y construyendo terminales alrededor del mundo.

Ejemplos que representan, a día de hoy, el estado del arte de las tecnologías disponibles para la automatización del patio dando lugar, y esto último es muy interesante, a diferentes opciones en cuanto a la solución tecnológica para el diseño. Obviamente, no cabe duda de que la elección de cada disposición, así como de su grado de automatización depende de diversos factores, como pueden ser la caracterización del tráfico, disponibilidad de espacio y de mano de obra o costes laborales.

Existen varias configuraciones de patio, aunque quizá la más empleada sea la de *ASCs* alineados perpendicularmente al muelle que recogen y entregan los contenedores en los extremos de las pilas (*ASC gemelas no pasantes*) aunque existen más tipologías. En Europa, es el sistema que destaca tanto en terminales semi-automatizadas como automatizadas. Además, tiene la consideración del mayor grado de automatización en patio alcanzable a día de hoy una vez se los combina con *AGVs*, u otros equipos auto-guiados, aunque también son válidos equipos convencionales para la interconexión, tales como *SCs* o cabeza tractora más plataforma (*TT*).

En el apartado 4 de la presente memoria se explicarán las características de las configuraciones de los *ASC*, para después seleccionar un equipo para operar en la nueva terminal.

3.5.3 Automatizaciones menores en grúas de muelle

Por último, la última de las tendencias en innovación está trabajando en mejorar los sistemas de ayuda al funcionamiento de las grúas *STS* (*Ship-To-Shore*). A día de hoy no existe una solución tecnológica que permita automatizar por completo estos equipos y resuelva la interfaz buque-muelle sin la intervención humana. Los avances

han sido menores en este subsistema debido a la mayor complejidad que presentan en los movimientos de carga y descarga aquí respecto a los de interconexión o almacenamiento.

No obstante, los avances son evidentes dado que la intervención del operador de grúa es cada vez menor, debido a la gran cantidad de automatizaciones menores que facilitan su trabajo. Estas mejoras, han ido dirigidas fundamentalmente a mejorar el movimiento de los *spreaders*, ya que estos pueden sufrir tanto movimientos involuntarios, como lo son balanceos y oscilaciones, además de otros debidos a su trayectoria y a la conexión entre grúas de muelle y equipos de interconexión. Por otro lado, también se cuenta con sistemas de prevención de accidentes y de escaneado de contenedores, automatizaciones menores que permiten mejorar la seguridad y protección de los trabajadores y, poco a poco, evolucionan gradualmente hacia la automatización del subsistema de carga y descarga.

Por otro lado, también se están probando sistemas que suponen un salto tecnológico interesante para la automatización de *grúas STS*, como lo son las manipuladas por control remoto, las de *doble carro de ZPMC con plataforma intermedia*, el cual permite automatizar parte del recorrido en contenedor, o los sistemas que colocan y retiran de forma automática los *twist-locks*.

Otra herramienta en la que se está trabajando mucho es en los sistemas de amarre automático, con el fin de mantener el buque lo más quieto posible, dando una mayor fiabilidad a los sistemas de posicionado.

En el apartado 4 de la presente memoria se comentarán, con mayor detenimiento, los avances tecnológicos llevados a cabo en los equipos de de muelle, los cuales van a ser implementados en la nueva terminal.

3.6 El problema de la estiba en España y su solución: RD 8/2007

En el presente apartado, se va a dar un breve repaso a la historia de la estiba en este país y, acto seguido, se desglosará el nuevo Real Decreto 8/2007 del 12 de mayo de 2017 con el fin de comprobar si, tras años de negociaciones, va a poder liberalizar finalmente el sector. Este punto es muy importante para el desarrollo del presente trabajo por una sencilla razón: en una terminal automatizada, parte de las operaciones que se pretenden automatizar para así ahorrarse el respectivo sueldo de gran parte de los operarios que trabajan ahí, chocan de manera directa con los estibadores, un colectivo muy protegido por la legislación vigente de la manera en que no se podría automatizar la operación de estiba y no solo eso, sino que además la terminal se vería obligada a contratar sus servicios.

3.6.1 Historia de la estiba en España

Bruselas ya lleva mucho tiempo avisando al España de que, para la Unión Europea, es totalmente inasumible el monopolio de la estiba, consagrado en las sucesivas Leyes de

Puertos, incluso en la de 2011, donde se desaprovechó una ocasión de oro para liberalizar el sector, pero no se hizo.

La historia de los estibadores en este país comienza una vez acabada la Segunda Guerra Mundial, donde los pequeños empresarios que se dedicaban a la carga y descarga de barcos tenían serios problemas para encontrar mano de obra. Por un lado, el tamaño reducido de sus empresas; y por otro, la irregularidad de su actividad, no les permitía tener una plantilla de trabajadores fija. Había ocasiones en las que incluso era necesaria la colaboración de la Guardia Civil para obligar a vagos y maleantes que ayudaran a descargar la mercancía de los buques, de lo contrario el abastecimiento de la población se veía comprometido.

Es entonces cuando divisionarios de la famosa División Azul regresan de Rusia con ansia de recibir compensaciones por su servicio a la Patria. Por ello, Girón de Velasco, ministro de trabajo de Franco, ve la posibilidad de contentarles y resolver el problema de la estiba creando la *Organización de Trabajadores Portuarios (OTP)*. A esta Organización la hace depender de las *Juntas de Obras* de los puertos, las cuales dota de personal con los ex divisionarios y le da estatuto y finalidad: actuar como una empresa de trabajo temporal, de manera que los empresarios, cuando tienen que descargar, solicitan a la OTP mano de obra y corren con los gastos mientras dura la faena. Así se garantizaban el poder atender sus necesidades puntuales sin asumir costes fijos laborales.

Toda marcha de maravilla y cada convenio colectivo es una balsa de aceite para ellos dado que ellos saben lo que tienen que defender: su sueldo, pluses, condiciones laborales y la seguridad de que, ante cualquier ampliación de plantilla o sustitución por jubilación, eran ellos los que iban a decidir quién pasaba a formar parte del censo estibador. Por su parte, los empresarios tampoco se veían relativamente afectados ya que estos actúan como simples comisionistas, de forma que, si el coste de manipulación de la mercancía sube, ellos subían la cuenta de la escala, cuenta que al final pagan los cargadores de la mercancía, y estos no tienen representación alguna en la discusión de esos convenios. Es la Junta de Obras el organismo que debía salir en defensa de ellos, pero el problema es que depende de las *OTP* y, a juzgar por los aumentos desorbitados de sueldo, pluses, estibadores, ... se deduce que nadie ha peleado lo más mínimo por atar en corto a estas desorbitadas peticiones sindicales.

Los años pasaron y aquellas empresas se convirtieron en grandes compañías. En los puertos, las grúas, carretillas, mecanismos y demás maquinaria para cargar y descargar dejaron de ser propiedad de las Autoridades Portuarias y quedaron en manos de la empresa privada. Las *OTP* pasaron a denominarse sociedades de estiba, en cada puerto existía una, bajo el control del Estado y los empresarios que quisieran actuar allí debían entrar a formar parte de esa sociedad con carácter obligatorio, además de que no podían contratar más personal que el perteneciente a la sociedad de estiba del lugar. Los estibadores eran conscientes del tremendo poder que la Ley de Puertos les proporcionaba y constituyeron un sindicato, *La Coordinadora*, tremendamente mayoritaria en el sector.

Seguidamente y gracias a la decisión del Gobierno del PP, las sociedades de estiba se convierten en asociaciones de empresas portuarias, con las mismas finalidades y objetivos, pero con la novedad de que el Estado abandona el control de las mismas. Por lo cual, si el cargador ya estaba indefenso ahora dependía de la evolución de los costes de escala.

Bruselas advirtió, el Gobierno miró hacia otro lado y esa falta de atención propició una denuncia por parte de la Comisión al Tribunal Europeo y una condena sin paliativos a España que, o liberalizada el sector o se enfrentaba a 134.000€ diarios de multa hasta que no lo hiciera. Por tanto, es imprescindible la promulgación del Real Decreto-ley 8/2007, el cual se comenta a continuación, y que resolverá el problema.

3.6.2 Real Decreto-ley 8/2007

El *Real Decreto-ley 8/2007, por el que se modifica el régimen de trabajadores para la prestación de servicio portuario de manipulación de mercancías*, nace por la necesidad de dar cumplimiento a la *Sentencia del Tribunal de Justicia de la Unión Europea*, la cual condena a España por considerar como legal el servicio de manipulación de mercancías cuando contraviene el *artículo 49 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea*, ya que impone a las empresas que participen en ella dos obligaciones:

- Participar en el capital de una *Sociedad Anónima de Gestión de Estibadores Portuarios (SAGEP)* y,
- Contratar con carácter prioritario a trabajadores puestos a disposición por dicha Sociedad, y a un mínimo de tales trabajadores sobre una base permanente, por otro lado.

Dicho esto, la sentencia no determina la fórmula aplicable, pero contempla dos opciones:

- Las empresas estibadoras gestionen las oficinas que deben suministrarles mano de obra y organicen la formación de los trabajadores que contraten, o
- Crear una reserva de trabajadores gestionada por empresas privadas, funcionando como agencias de empleo temporal y pongan trabajadores al servicio de empresas estibadoras.

Por ello, se da un plazo de tres años a las *SAGEP* para permitir un tránsito ordenado y que sus trabajadores conserven sus derechos laborales, donde las empresas titulares deberán contratar de ellas, pero en un porcentaje que cada vez irá a menos (75% de la actividad el primer año, 50% el segundo año y 25% el tercero). Concluido el periodo, las *SAGEP* podrán sobrevivir, pero ahora competirán en mercado libre, es decir, que los operadores podrán contratar libremente a los trabajadores portuarios sin la obligatoriedad de participar en una empresa que los ponga a su disposición.

Por tanto, España contempla la creación de *Centros Portuarios de Empleo (CPE)*, las cuales operarán como empresas de trabajo temporal específicas para el sector y cuyo

objetivo será el de regular el empleo de los trabajadores portuarios de manipulación de mercancías, así como de su formación y cesión temporal a empresas titulares. Por su parte, las empresas estibadoras no tendrán la obligación de participar en estos centros ni tampoco la de contratar a trabajadores puestos a disposición por ellos de forma prioritaria. En cuanto a los convenios colectivos, el Estado Español también es tajante anunciando que todo aquel que no sea adaptado a las normas de la libre contratación en un plazo de un año se procederá a su anulación.

En definitiva, parece claro que el sector va a quedar totalmente liberalizado y no existirá ningún problema para la ejecución de una terminal de contenedores automatizada en cualquier ubicación dentro del territorio nacional español.

3.7 Ejemplos internacionales de terminales junto a su grado de automatización

En el siguiente apartado se muestran varios ejemplos de automatización en terminales de contenedores repartidos a lo largo del mundo, con el fin de observar la variedad existente.

3.7.1 Total Terminal International Algeciras (TTI)

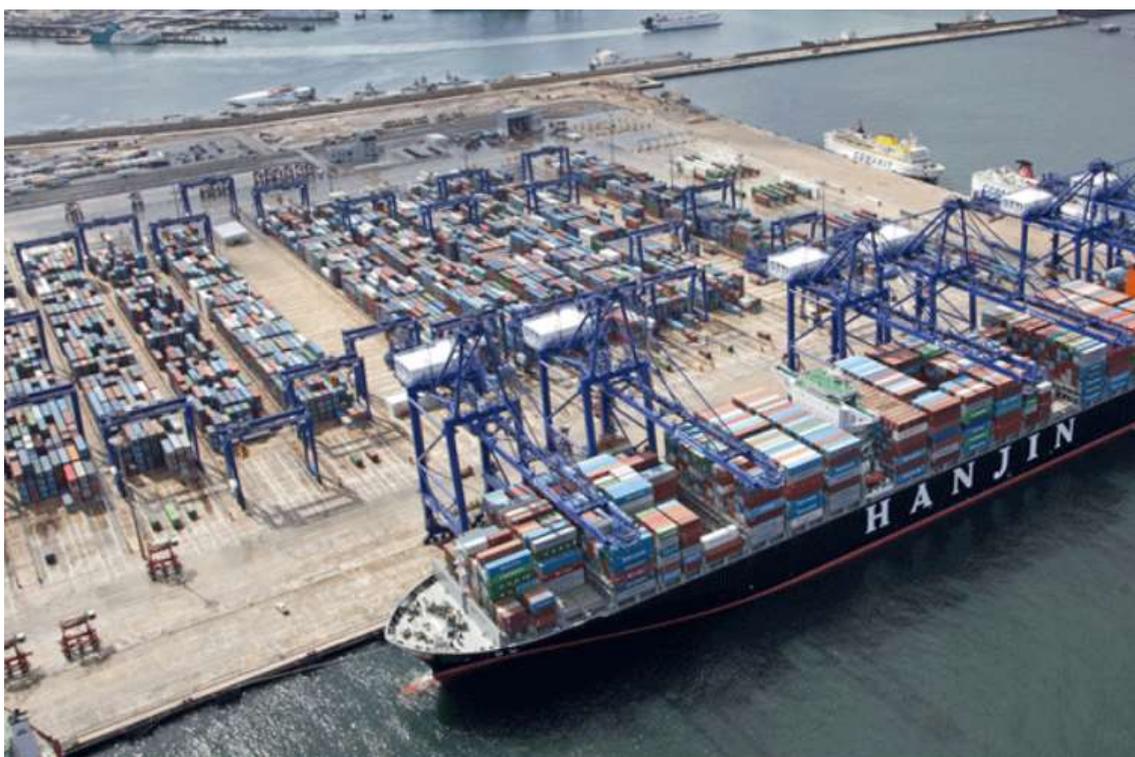


Figura 14 - Total Terminal International Algeciras (TTI).

El puerto Bahía de Algeciras se sitúa a la cabeza de puertos del sistema portuario español y del Mediterráneo en cuanto a tráfico de mercancía en contenedor se refiere. Además, goza de una excelente situación geográfica, el Estrecho de Gibraltar, donde

tienen paso las principales rutas comerciales del transporte marítimo de mercancías. El Puerto constituye una plataforma logística del Mediterráneo Occidental para el transbordo de contenedores. Resulta imprescindible destacar el año 2016, ya que Bahía de Algeciras superó por primera vez en su historia, la increíble cifra de los 100 millones de toneladas en tráfico total de mercancías, la cual se encuentra al alcance de muy pocos puertos en Europa.

Concretando un poco más, la evolución del tráfico de contenedores en este puerto, la cual se desarrolla año a año en sentido ascendente, es tal que en 2016 sus terminales movieron alrededor de 4.76 millones de *TEUs*, lo cual supone un incremento de un 5.4% respecto al año anterior y ello lo ha colocado en el quinto puesto a nivel europeo, únicamente por detrás de los puertos de Rotterdam, Amberes, Hamburgo y Bremen.

Con toda esta información en mano, no es una temeridad que la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (*APBA*), haya apostado por garantizar una infraestructura para atender este crecimiento y diversidad de tráfico durante los últimos ejercicios. Es por ello que se han ido desarrollando sus instalaciones y prueba de ello es la terminal semi-automática de contenedores, la primera en todo el Mar Mediterráneo, Total Terminal International Algeciras, la cual fue impulsada por la naviera surcoreana Hanjin Shipping hasta su posterior quiebra y que, a día de hoy, no se ha resuelto todavía su venta pero que en breve se materializará. Se trata de una inversión con gran futuro, los datos lo respaldan.

En cuanto a la terminal, la cual fue puesta en marcha el 5 de mayo de 2010 para manipular en torno a 1.8 millones de *TEUs*, se destaca que se encuentra abierta al uso general, cuenta con una superficie superior a los 300 mil metros cuadrados, una zona pública de maniobra cercana a los 58 mil y dos alineaciones de muelle de 650 metros en el Este y 550 metros al Norte, con calados de 18.5 metros para el primero y de 17.5 para el segundo. Es muy importante puntualizar que la terminal se encuentra totalmente preparada para operar con las nuevas generaciones de mega buques, con capacidades de 18.000 *TEUs*, con un equipo formado por 8 *grúas STS* en muelle, 32 *grúas* de patio automáticas y montadas sobre raíles (*ASC*) y 22 *Shuttle Carriers (SC)*, cuya disposición se puede observar en la imagen que se muestra a continuación.



ATRAQUE		PATIO		PUERTA	
AREA	57.621 m ²	AREA	300.119 m ²	ENTRADA	3 Líneas (3,5 m anchura)
LONGITUD DE MUELLES	ESTE: 850m NORTE: 850m	CARGA SECA	5 alturas	SALIDA	3 Líneas (3,5 m anchura)
CALADO	ESTE: 18,5m NORTE: 17,5m	FRIGORÍFICOS	4 alturas	SOBREDIMENSIONADO	1 Línea (8 m anchura)
PERIODO DE CONCESIÓN	30+5 años	ENCHUFES	960	ÁREA DE INTERCAMBIO	6 Posiciones + 2 virtuales
SISTEMA DE OPERACIONES	Semi-automático			FERROPORTUARIA	Acceso directo
		CAPACIDAD MÁXIMA	28.640 TEUs		
CAPACIDAD	1,8 MILL TEUs	SISTEMA DE OPERACIONES	Patio Automático	CONTROL DE CARGA	Megaport y Conexión Aduanera

Figura 15 - Vista aérea de la TTI Algeciras en la que se remarcan sus zonas y tabla adjunta con las características de cada una. Fuente: www.tti.algeciras.com/instalaciones.

3.7.2 Euromax Terminal Rotterdam

Esta terminal de contenedores es una de las más avanzadas y respetuosas con el medio ambiente que existen en el mundo. Se trata de una terminal automática que se encuentra en la esquina Noroeste de Maasvlakte, prácticamente en el Mar del Norte. Esta terminal ha sido especialmente diseñada por los más rápidos, seguros y eficientes sistemas de manejo de mercancía para los buques portacontenedores más grandes del mundo. El calado a lo largo de la zona se adecuó en su día en torno a los 16.6 metros. No obstante, tal como vayan aumentando los portacontenedores de tamaño y estos requieran un mayor calado para poder atracar, esta zona podrá ser fácilmente ampliable a los 19.6 metros de profundidad.

Esta tiene una superficie de 84 ha. Con una longitud de muelle de unos 1.500 metros. En cuanto a equipamiento se refiere, cabe destacar que las grúas de muelle, 12 *grúas*

Super Post Panamax, tienen un alcance de 23 contenedores de ancho. El resto del equipamiento lo forman 96 *Automatic Guided Vehicles (AGVs)*, los cuales transportan los contenedores del muelle al patio y 58 *grúas automáticas sobre raíles (ARMGs)* que actúan de manera conjunta y operan con una capacidad anual de 2.3 millones de *TEUs*, cifras que año a año se superan.



Figura 16 - Vista aérea de la Euromax Terminal Rotterdam. Fuente: www.ect.nl

Más concretamente, las grúas *Super Post Panamax* son semi-automáticas y equipadas con segundo carro para ser más productivas además de poder adaptarse hasta a cuatro alturas distintas. El término semi-automático consiste en un sistema operativo que permite al gruista concentrarse únicamente en coger los contenedores y ponerlos a bordo. Una posible operación sería la siguiente: una vez el contenedor está a una altura de seguridad por encima del barco, el software toma el mando y coloca el contenedor en una plataforma de la grúa a 16 metros de altura. Tras la retirada manual de *stackers*, un carro totalmente automatizado coloca el contenedor encima de un *AGV*, el cual espera tras la grúa. También cuentan con funciones muy interesantes consideradas automatizaciones menores, como lo son los sistemas antibalaceo (*anti-sway*), sistemas correctores de posición y un sistema de posicionamiento por láser, los cuales dotan de seguridad al sistema. Estas grúas están colocadas contra el borde del muelle, lo que las convierte en las más rápidas del puerto, además de ser capaces de realizar operaciones de *twinlifting* (2 contenedores de 20 pies a la vez) y en *tándem* (2 contenedores de 40 pies o 4 de 20 pies).

Por su parte, los *AGV* son los que realizan la operación de transferencia de contenedores muelle-patio con velocidades de unos 6 m/s. Una vez llevados los contenedores, estos son almacenados en el patio por *ARMGs*, colocadas dos por fila: una para atender a los camiones en la transferencia de salida y otra para atender a los *AGV* que traen contenedores del muelle.

3.7.3 ECT-Delta Terminal Rotterdam

A pocos metros de la Euromax Terminal se encuentra la ECT-Delta, primer puerto en Europa de escala dado que la mayor parte de las navieras del mundo seleccionan este puerto para ese propósito. Es por ello que es el puerto líder en Europa en cuanto a servicio de buque *feeder*, ya que ofrece un servicio de traslado de mercancía mediante conexiones a más de un centenar de puertos repartidos por Europa y Norte de África.

No obstante, esta terminal es conocida en el mundo entero por ser la primera terminal automatizada del mundo. De hecho, aún continúa operando de acuerdo a este principio de automatización de vanguardia y representa hasta el día de hoy 45 años de emprendimiento innovador.

En cuanto al equipamiento de esta terminal, destaca la gran flota de 265 *AGVs* con la que cuenta, los cuales se encargan de realizar la interconexión muelle-patio. Por su parte, en el área de almacenamiento disponen de 140 *ACs*, todo ello gobernado por un sistema de control muy avanzado, constituyendo una terminal muy eficiente. Además, cuentan con una capacidad de 3.250 conexiones para contenedores *reefer*.

En definitiva, la ECT Delta Terminal es una de las terminales más prominentes de toda Europa donde, cada semana, la terminal es frecuentada por cientos de *feeders* y aproximadamente unos 20.000 camiones. También cuenta con dos terminales ferroviarias propias, las terminales de ferrocarril Este y Oeste, las cuales se encuentran conectadas directamente a la red nacional.



Figura 17 - Vista aérea de la ECT Delta Terminal de Rotterdam. Fuente: google images.

3.7.4 LBCT Long Beach Container Terminal, California (EEUU)



Figura 18 - Vista aérea de la Long Beach Container Terminal, California (EEUU). Fuente: Youtube.

La LCTB Long Beach Terminal de California es una terminal que opera bajo el mando de la naviera OOCL Beijing. Cuenta con una superficie cercana a las 42 ha. Situada en la costa Oeste de los EEUU, la terminal se encuentra en un gran enclave estratégico para el transporte de mercancías desde el continente americano a tierras asiáticas por el océano Pacífico. Cabe destacar que el grado de automatización de esta terminal es muy elevado, tanto en las operaciones de carga y descarga, patio y transferencia y es muy reducido el personal que esta necesita para poder funcionar. En cuanto al equipamiento que esta se describe a continuación.

7 grúas STS de alta productividad automáticas en muelle diseñadas para levantar grandes contenedores, con una capacidad de elevación de 130 metros y una elevación máxima de 50.3 metros. Dos de ellas tienen un alcance de 22 contenedores de manga, mientras que los 5 restantes son de 17. La automatización de las mismas permite configuraciones de elevación dobles o sencillas con unas velocidades que rondan los 180 m/min, lo cual las hace más eficientes. Además, tal y como se bajan a muelle los contenedores son identificados automáticamente por la misma grúa OCR, el cual manda las imágenes a un puesto de mando, donde son examinadas. Tras ello, los contenedores se depositan en AGVs, los cuales realizan la operación de transferencia muelle-patio.

Por su parte, la operación de patio se efectúa mediante ASCs, los cuales alcanzan unas velocidades cercanas a los 240 m/min. El alcance de las mismas es de 6 contenedores en alto y de 9 a 10 en ancho. Son muy eficientes cuando realizan descenso de

contenedor además de precisas, ya que cuentan con un sistema automático que les permite colocar los contenedores perfectamente en los chasis de los camiones. Todo ello está controlado por un equipo de operarios a través de 13 monitores ubicados en el patio.

Además, cuenta con terminal ferroviaria que también es automática, siendo dos grúas pórtico las que realizan la labor de cargar los contenedores a los vagones de los trenes y que están diseñadas para operar en 8 carriles. La automatización de estas grúas es muy similar a la de los *ASC* del patio de contenedores y no paran, es decir, trabajan las 24 horas del día, los 7 días de la semana.



Figura 19 - Grúas Pórtico de la terminal ferroviaria de la LBCT. Fuente: Youtube.

3.7.5 Qingdao Fully-Automated Terminal, China

Como último ejemplo, no está de más comentar un ejemplo ubicado en Asia, siendo además de construcción reciente ya que comenzó a operar a mediados de 2017. Se trata de la terminal automatizada localizada en el puerto de Qingdao, China. Tiene una superficie de unas 35.6 ha y es especialmente famosa por ser la primera terminal de contenedores con un grado de automatización tan elevado (completamente automatizada) en toda Asia. Es de características muy similares a la TTI Algeciras, aunque es un poco más grande y se podría decir que se encuentra un escalón por encima en automatización. A continuación, se describen sus equipos.

En la fase grúa-muelle, la terminal cuenta con 7 grúas *STS* automáticas, independientes puestas en funcionamiento de esa manera basándose en términos de eficiencia y bajo coste. Con ello, ahorran el coste que les generaría el tener operarios en cada grúa, y además el sistema adquiere una mayor seguridad al no tener ningún trabajador trabajando en altura.



Figura 20 - Grúas STS de la terminal automatizada de Qingdao. Fuente: China News.

Para la interface muelle-patio, un gran equipo de *AGV* se encarga de mover todos los contenedores al inicio del patio de contenedores. Estos vehículos tienen varias ventajas, entre las cuales destaca la de que tienen batería propia con un ciclo de carga que la hace diferir del resto de *AGVs*. En este caso, la batería tiene un ciclo más largo sometiendo al vehículo al mismo esfuerzo que a un *AGV* de otros países y ello supone una reducción de costes en este campo de un 25%.

Por su parte, las operaciones de patio son realizadas por *ASCs* que también van un paso más allá respecto a las grúas tradicionales en varios aspectos. La primera ventaja es que para anclar los equipos al aparato solamente se necesita una única persona en un puesto de mando y la operación es fácil realizarla en varios minutos, mientras que en uno tradicional se necesitarían a 4 personas y tardarían unos 90 minutos. La segunda ventaja es que su sistema de anclaje se puede controlar mucho mejor porque en terminales convencionales se deben combinar equipos anti-viento con el sistema de anclaje y en esta terminal se controlan ambos a la vez, por ello es mucho más sencillo de controlar. Y la tercera ventaja de los *ASC* que controlan es que son 100% seguros dado que únicamente debe programarse el nivel de diseño requerido y este garantiza esa seguridad.



Figura 21 - Operación de transferencia muelle-patio en la terminal automatizada de Qingdao. Fuente: China News.

4. SITUACIÓN ACTUAL

En el presente apartado se detallará todo lo que acontece al nacimiento y evolución que ha tenido el puerto de la bahía de Algeciras a lo largo de su historia, repasando una a una todas las partes de las que se compone el puerto y centrándose en las actividades que este ofrece en cuanto a transporte de mercancía en contenedor se refiere, principalmente en aquellas áreas destinadas al tráfico de contenedores.

Finalmente, se realizará un pequeño análisis de las zonas en las que el puerto tiene previsto realizar una ampliación, con el objetivo de tomar una decisión acerca del lugar donde ubicar la nueva terminal.

4.1 Historia del puerto de Algeciras

A diferencia de otros grandes puertos europeos, el actual puerto de la bahía de Algeciras es de creación bastante reciente. En la época antigua todo el tráfico marítimo se centraba en Carteia, yacimiento arqueológico ubicado en el término municipal de San Roque, dentro de la misma bahía, y que fue abandonada durante la Edad Media. Acto seguido, durante la presencia musulmana y la posterior reconquista, la zona se convirtió en zona fronteriza con el Reino Nazarí de Granada, con lo cual ésta quedó arrasada y propició que la población se concentrara en Gibraltar.

Una vez Gibraltar fue conquistada en 1704, la población huyó mayoritariamente y se distribuyó a lo largo de la bahía creando varios asentamientos, de los cuales el único situado en la ribera del mar fue la repoblación de Algeciras. No obstante, con la excepción del puerto británico en la colonia británica de Gibraltar, hubo que esperar hasta 1894 para que se creara algún tipo de instalación portuaria en la bahía, que fue con la instalación de un muelle de madera en la desembocadura del río de la Miel.

Pocos años más tarde, en 1906 y coincidiendo con la Conferencia de Algeciras, es cuando se crea la Junta de Obras del puerto de Algeciras y comienza su crecimiento. En 1913 empieza a construirse el Muelle de Galera, oficialmente llamado de Alfonso XIII, y en 1916 la Dársena de Villanueva, destinada para la pesca fundamentalmente.

En esta ocasión también se reformó el espacio portuario conocido como "la Marina", un paseo de ribera que se iniciaba en la orilla izquierda del río y acababa unos 100 metros más al Norte.

Aquella primitiva Marina estaba constituida por una zona de relleno elevada sobre la playa y separada de ella por un muro de antepecho que disponía de un banco corrido en su parte interior y dos escaleras de acceso a dicha playa flanqueadas por pilares rematados en jarrones de tipo etrusco.

Hacia 1907 el murete fue derribado dejando solo los pilares y, seis años más tarde, cuando se procedió a ensanchar el muelle Viejo y se iniciaron los rellenos para las obras del muelle de la Galera, la Marina, posteriormente llamada Avenida José Luis de Torres en honor a un diputado de Algeciras que se implicó y desbloqueó en diversos

ministerios proyectos vitales para el desarrollo portuario de la ciudad, fue remodelada totalmente y ensanchada mediante la construcción de un muro de ribera delante de la dársena de Villanueva que habilitó un nuevo paseo adoquinado y adornado con una hilera de árboles siendo uno de los espacios más concurridos de la ciudad ya que allí se ubicaba la Estación Marítima y la terminal de ferrocarril que los pasajeros utilizaron, en primera instancia, para realizar viajes a Gibraltar, Tánger y Ceuta y más tarde, en los años 50, para cruzar el océano Atlántico.

Acto seguido, entre 1925 y 1926 se construyó el puente de la Isla Verde, con el fin de que los trenes pudieran acceder con las vagonetas cargadas de piedra de la cantera hasta las obras de construcción del rompeolas, muy deteriorado a mitad de siglo y no siendo ya de utilidad para las dependencias y servicios existentes en la isla (varadero, central eléctrica, muelle del Dique Norte, el faro, ...). Estas circunstancias junto con la necesidad de prolongar el Dique Norte, para albergar un mayor número de líneas de ataque, hacían necesaria su construcción.

Al principio se tenía previsto ejecutar un proyecto de escollera, sin embargo, una serie de circunstancias llevaron a la sustitución del mismo por el de un puente. En la siguiente imagen pueden observarse las obras marítimas construidas hasta la fecha de 1936.



Figura 22 - Obras marítimas en el puerto de Algeciras hasta 1936. Fuente: Diario Sur.

Más tarde, a partir de los años 40, el desarrollo de las actividades portuarias y, sobre todo, las previsiones de un auge sin precedentes en las décadas siguientes, obligaron a

la Junta de Obras del Puerto a acometer un proyecto encaminado a lograr una conexión directa de los muelles con la carretera de Málaga. Así pues, se aprobó el llamado proyecto del muro de la Ribera o Paseo Marítimo, construido entre los 1942 y 1952.

Durante el transcurso de la obra, la Marina sufrió una importante remodelación, ya que el Director del Puerto opinaba que el acceso al puerto desde la carretera general se estrechaba de manera considerable a la entrada de la Marina, dado el intenso y constante tráfico pesado por este tramo producía frecuentes atascos. Por tal motivo se procedió a ensancharla, rellenando parcialmente la dársena de Villanueva, unas obras que se extendieron entre 1954 y 1957.

No obstante, esta reforma de la Marina no fue una solución definitiva para resolver los problemas de tráfico, por lo que en 1963 se procedió a ensanchar la parte inicial del muelle de la Galera y a rellenar lo que quedaba de la dársena de Villanueva para habilitar una nueva superficie que se añadiría a la Marina.

También se amplió la dársena pesquera con la finalidad de lograr nuevas líneas de atraque y de racionalizar las actividades que se desarrollaban en aquel espacio. En la siguiente imagen se puede comprobar la evolución del puerto hasta 1963.



Figura 23 - Obras marítimas presentes en el puerto de Algeciras hasta 1963. Fuente: Diario Sur.

A pesar de ello, el gran auge del puerto comenzará en la segunda mitad de siglo, cuando se instala en la orilla de la bahía un complejo industrial y químico, cuyos

máximos representantes son la refinería de Cepsa y la factoría de acero inoxidable Acerinox. Estas instalaciones disponen de sus propios atraques al norte de la bahía para el manejo de las mercancías con las que trabajaban y los cuales se situaron fuera del propio puerto de Algeciras, siendo tal y como se ha comentado en el apartado anterior, la pesca y el transporte de pasajeros las actividades más importantes hasta la fecha.

Más tarde, en 1967, el puerto amplía sus instalaciones con la incorporación del puerto que tiene La Línea de la Concepción en el interior de la bahía, por lo que pasa a llamarse Puerto Algeciras-La línea y dos años más tarde, en 1969, arrancan las obras del Muelle de la Isla Verde, de 220 metros de atraque y 42.000 m² de superficie.

Una vez dentro de los años 70, el tráfico de mercancías de contenedores experimenta un gran auge de la mano de *SeaLand Iberica*, empresa fundada por Malcolm McLean, el cual es precursor de la contenerización de la mercancía. En 1979 la terminal ya estaba completamente ocupada y ya fue necesario ejecutar nuevas obras para este tipo de tráficos con la prolongación del Dique de Abrigo y la ampliación del muelle de Isla Verde, por lo que en 1981 se proyecta el muelle del Navío, denominado hoy en día como Muelle Juan Carlos I, finalizando la construcción del mismo en 1984, con 13.5 hectáreas de superficie y casi 1 kilómetro de atraque de casi 14 metros de calado que comenzó a explotar *Maersk* desde 1986. La siguiente imagen presenta otro esquema en planta con las obras marítimas ejecutadas hasta 1985.



Figura 24 - Obras marítimas presentes en el puerto de Algeciras hasta 1985. Fuente: Diario Sur.

Desde ese año en adelante el puerto de Algeciras no ha parado de crecer en cuanto infraestructuras y tráfico se refiere. Así pues, la terminal del antiguo muelle del Navío tiene en la actualidad más de 2 kilómetros de línea de atraque, servidos por 20 grúas mientras que la terminal pública de Isla Verde, explotada por Acciona, dispone de 530 metros de línea de atraque. A continuación, puede verse la evolución del puerto hasta el año 2000.

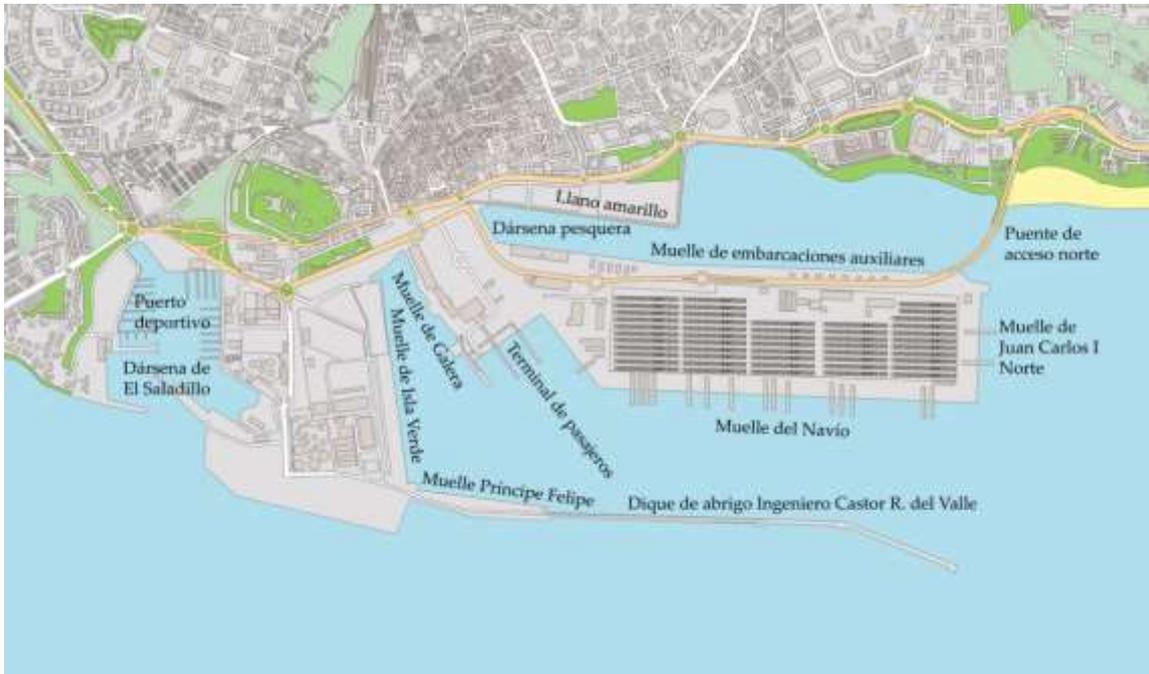


Figura 25 - Obras marítimas presentes en el puerto de Algeciras hasta el año 2000. Fuente: Diario Sur.

Durante los años siguientes, como se observará en la última imagen, las instalaciones portuarias han ido multiplicando exponencialmente su capacidad gracias a su especialización en el tráfico de pasajeros, vehículos industriales y, sobre todo, de contenedores. Las modificaciones del aspecto físico del puerto son muy notables, concretamente las más destacadas son:

- El primitivo muelle de la Galera aumenta su superficie gracias a los rellenos de su dársena y se especializa en tráfico de pasajeros con la construcción de una estación marítima que incluye un helicóptero gestionado por *AENA*.
- La ampliación del Dique Norte permite a su vez el relleno de sus aguas abrigadas y la construcción de una inmensa plataforma que funciona como una gran terminal de contenedores (*APM Terminals*) y que está conectada con tierra con el puente Acceso Norte, conectado a su vez con la autovía A-4, lo que evita el tránsito rodado de pasajeros y mercancías por la ciudad.
- Apoyado en el Dique Norte y en el muelle de la Isla Verde, y protegido por un nuevo Dique Este, se construye y entra en servicio en 2010 el muelle Isla Verde exterior, con una superficie en torno a 60 ha. Es aquí donde se instalan la Total

Terminal Internacional Algeciras, la primera terminal de contenedores semi-automática del Mediterráneo, y en 2013 la nueva terminal de graneles líquidos *Vopak Terminal Algeciras*.

- Por último, la línea de costa de la ciudad se ve alterada por un gran relleno, conocido como Llano Amarillo, y que es usado como zona de estacionamiento en la Operación de Paso del Estrecho.

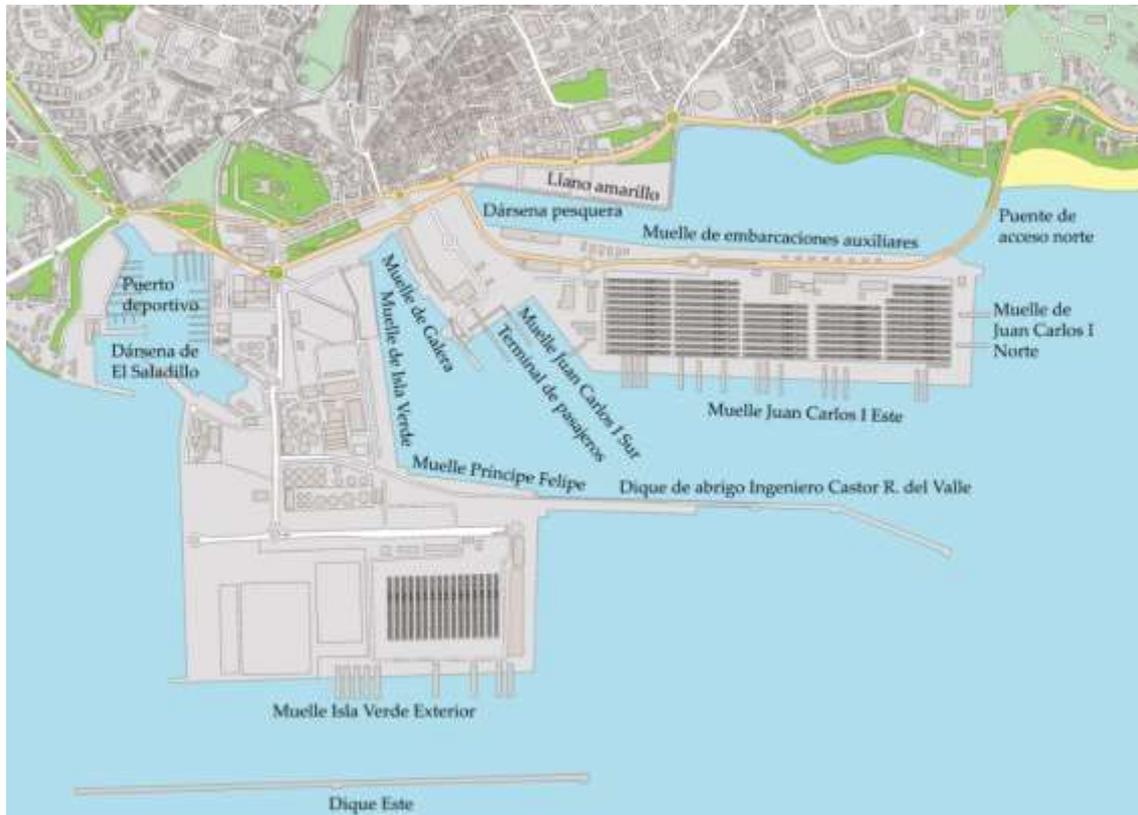


Figura 26 - Obras marítimas presentes en el puerto de Algeciras hasta el año 2012. Fuente: Diario Sur.

Por todo lo comentado en este apartado se concluye asegurando que es un puerto relativamente joven, pues apenas supera los 100 años de edad y que, a día de hoy, las actividades que se desempeñan en el mismo son las siguientes:

- Tráfico de pasajeros y ro-ro: muelle de la Galera e Isla Verde.
- Zona de depósitos de graneles líquidos: muelle de Isla Verde.
- Mercancía general y contenedores: muelles Juan Carlos I Este y Norte (*APM Terminals*) y muelle de Isla Verde Exterior (*TTI Algeciras*).

Siendo la última de ellas la actividad de mayor peso en el puerto con gran diferencia.

4.2 Evolución del tráfico portuario en el puerto de Algeciras

El puerto de Algeciras ha sido desde sus comienzos, un puerto que ha gozado de gran éxito debido principalmente a su localización puramente estratégica, el estrecho de Gibraltar, punto que controla la entrada al mar Mediterráneo a través del océano Atlántico y, a su vez, también es la entrada al mercado asiático gracias a la construcción hace más de 100 años, del canal de Suez, el cual da entrada al océano Índico.

Tal es la importancia de este puerto que, en 2016 superó los 100 millones de toneladas en cuanto a tráfico de mercancías se refiere, un 4.5% de crecimiento respecto al valor registrado en 2015. Se trata del primer puerto español y el cuarto en Europa en lograr semejante cifra, solo por detrás de los puertos de Rotterdam, Amberes y Hamburgo.

Si se atiende al gráfico que se muestra a continuación, el cual muestra la evolución del tráfico de mercancías en los puertos que engloban las Autoridades Portuarias de Algeciras (APBA), Barcelona (APB) y Valencia (APV), puede verse la importancia que ha adquirido el puerto de Algeciras, puerto que mayor cantidad de mercancía mueve, tanto en España como en todo el Mediterráneo.

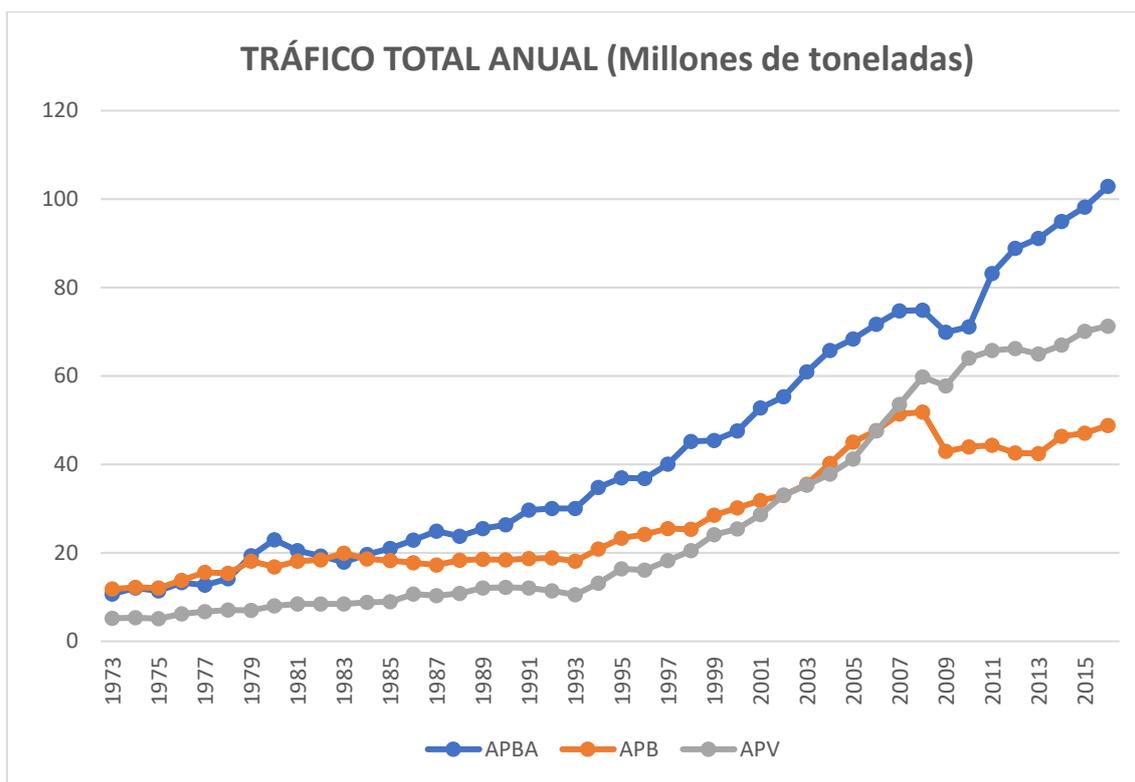


Gráfico 1 - Evolución del tráfico anual en los puertos más importantes del país. Fuente: Elaboración propia.

Con vistas al gráfico, puede verse que el tráfico de mercancías por vía marítima ha evolucionado positivamente en niveles generales durante los últimos 20 años, siendo

quizá el único bajón el comprendido entre los años 2007 y 2011, los cuales coinciden con la última crisis económica mundial. No obstante, también pudo ser debido a la volatilidad del transbordo, tal y como se comentará con el gráfico correspondiente a ese tráfico.

A pesar del continuo crecimiento mostrado por los datos de tráfico proporcionados por las tres autoridades portuarias más importantes en nuestro país, puede verse que tanto en Valencia como en Barcelona este crecimiento es muy inferior al mostrado por Algeciras, siendo la diferencia entre ellos aún mayor a cada año que pasa ya que, atendiendo al record histórico logrado el año pasado, cabe destacar que para el puerto líder en el Estrecho supone duplicar el volumen de actividad alcanzado en 2001, quince años atrás, cuando se llegó por primera vez a los 50 millones de toneladas de mercancía.

Estos datos de tráfico a niveles generales parecen aventurar que una nueva ampliación en las instalaciones de Algeciras se producirá más pronto que tarde, y ello es lo que se pretende demostrar mediante la redacción del presente Trabajo Final de Máster.

No obstante, se debe ser cauto con ese dato de más de 100 millones de toneladas en mercancía, ya que el objeto del presente trabajo es el de la ejecución de una nueva terminal de contenedores y esta no es la única actividad que se desempeña en el puerto de Algeciras, quedando las cifras correspondientes a graneles sólidos y líquidos también incluidas en la cifra anterior.

En la siguiente tabla y gráfico adjunto se muestra el desglose de esta cifra alcanzada en 2016 en Algeciras:

ACTIVIDAD	TRÁFICO 2016 (TONELADAS)	TRÁFICO (%)
GRANELES LÍQUIDOS	27.309.858	26,47
GRANELES SÓLIDOS	1.778.839	1,72
MERCANCÍA GENERAL	67.772.962	65,69
AVITUALLAMIENTO	3.302.823	3,2
TRÁFICO LOCAL	3.012.966	2,92
PESCA	867	≈ 0
TOTAL	103.178.315	100

Tabla 4 - Tráficos por tipo de actividad desempeñados en el puerto Bahía de Algeciras en 2016. Fuente: Puertos.es.

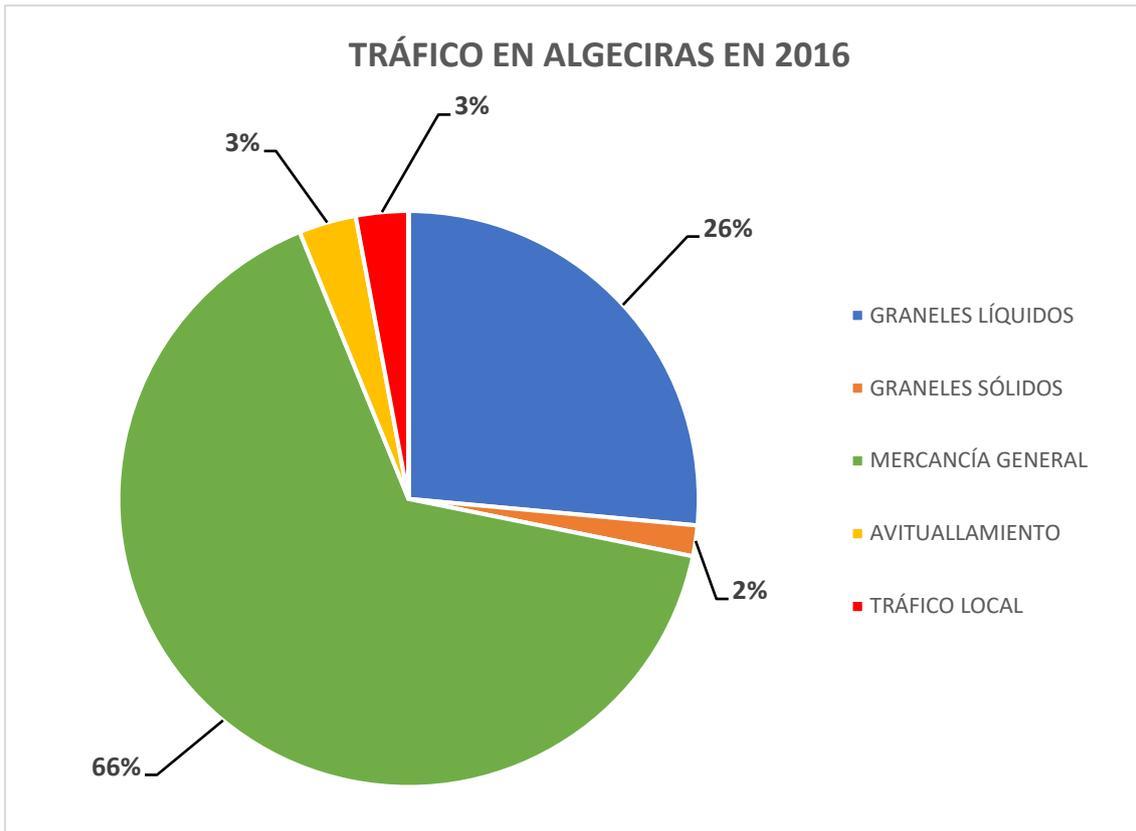


Gráfico 2 - Desglose del tráfico de mercancías en Algeciras en 2016. Fuente: Elaboración propia.

Atendiendo a los datos anteriores, de la totalidad de mercancía movida en Algeciras durante el curso pasado, un 66% corresponde a mercancía general y comparando con el año anterior, el tráfico en esta área ha crecido un 8.5%, rozando la cifra de 68 millones de toneladas.

Además, atendiendo ya al tema que es de interés en el presente trabajo, de esos 68 millones de toneladas, más de 60 corresponden a mercancía en contenedor, 5 millones más que en 2015, lo cual supone una cifra de 4.7 millones traducido a *TEUs*, medida de uso más frecuente para la mercancía en contenedor.

En el siguiente gráfico, al igual que al principio del siguiente apartado, se hará una comparación entre las tres Autoridades Portuarias que se han considerado como las más importantes en nuestro país y que además se encuentran en el Mediterráneo, pero esta vez la comparación se realizará en función del número de *TEUs* movidos en cada una de ellas.

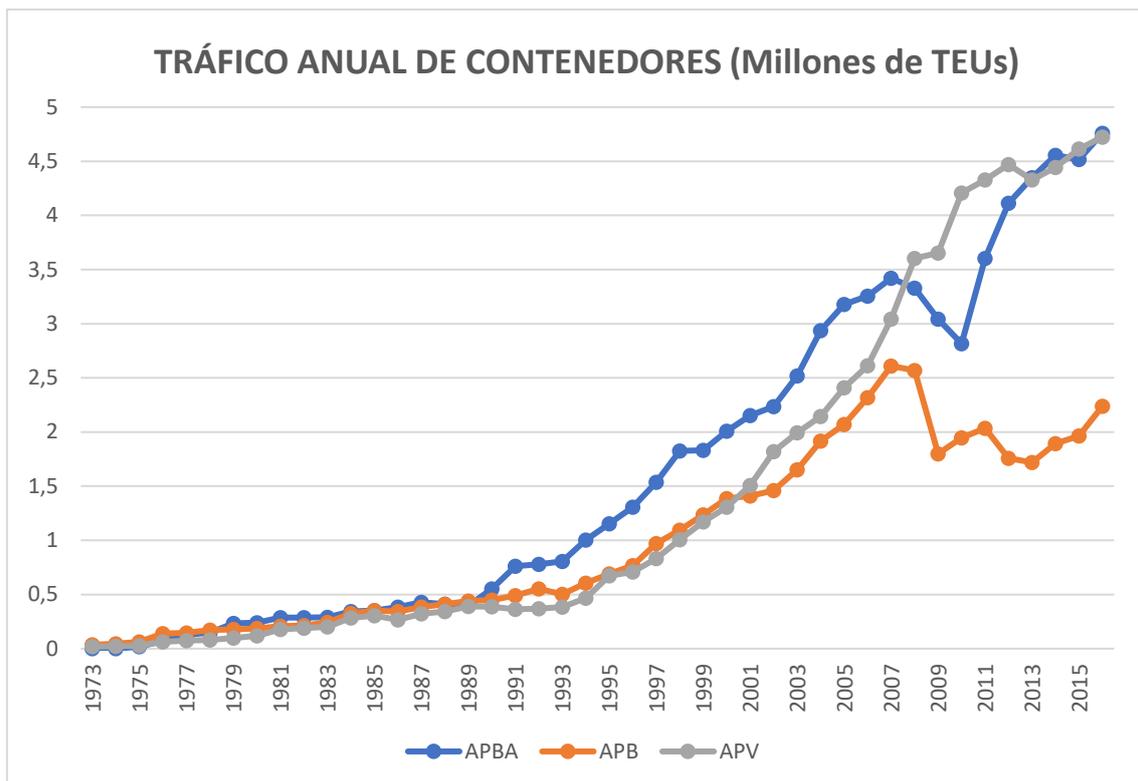


Gráfico 3 - Evolución del tráfico anual de contenedores en los puertos más importantes del país. Fuente: Elaboración propia.

Al igual que ocurre con el tráfico total, el puerto de Algeciras es el que más sufrió durante el periodo de crisis económica, tal y como puede verse el bajón producido entre 2007 y 2010. A pesar de la tremenda sacudida que supuso para Algeciras esta última crisis económica, en 6 años recuperó el terreno perdido respecto a Valencia llegando a arrebatarse de nuevo el primer puesto en la clasificación de puertos españoles y con la cual mantiene una mayor competencia respecto al tráfico total, donde es el puerto de Algeciras el que mayores cifras alcanza con diferencia. Por su parte, los datos facilitados por la APBA muestran también cierto crecimiento, aunque la diferencia entre los dos anteriores es mucho más evidente.

Dicho todo esto y con la información obtenida del gráfico anterior ya solo referida a mercancía en contenedor, se tendría una segunda razón de peso por la cual podría ubicarse una nueva terminal de contenedores en la localización descrita o ampliar alguna de las existentes. No obstante, a pesar de eso último faltaría por justificar el hecho de que esta sea automatizada.

Parece obvio que, el hecho de automatizar varios subsistemas en una terminal supone una reducción de la mano de obra de manera considerable, pero no vale solo con eso ya que, para que dicha automatización sea rentable se le debe sacar provecho a la misma, es decir, aquí como en cualquier otro negocio, no solo cuenta la rapidez y las garantías con las que realizas la operación, sino también el coste que repercute en

los medios empleados para tal fin. Y es que la automatización de una terminal requiere una importante inversión inicial y también en mantenimiento.

Sin embargo, para el puerto de la Bahía de Algeciras hay un dato muy importante que lo diferencia del resto, y está en la cantidad de mercancía contenerizada en tránsito que esta maneja. Esta mercancía difiere de la de import/export en que no sale de puerto por vía terrestre, sino por marítima, además de que sus tiempos de estancia suelen ser más reducidos, lo cual requiere un mayor número de movimientos en terminal. Ello refuerza la idea de plantearse en Algeciras la ejecución de una terminal automatizada y aún más viendo los datos recogidos el año pasado y que figuran en la siguiente tabla y gráfico:

<u>ACTIVIDAD CON CONTENEDORES</u>	<u>TRÁFICO 2016 (TONELADAS)</u>	<u>TRÁFICO (%)</u>
EN TRÁNSITO INTERNACIONAL	48.812.593	81.11
EN TRÁNSITO NACIONAL	6.754.235	11.22
IMPORTACIÓN	1.628.507	2.71
EXPORTACIÓN	2.983.255	4.96
TOTAL	60.178.590	100%

Tabla 5 - Tráficos por tipo de actividad en el tráfico de contenedores en el puerto Bahía de Algeciras. Fuente: Puertos.es.

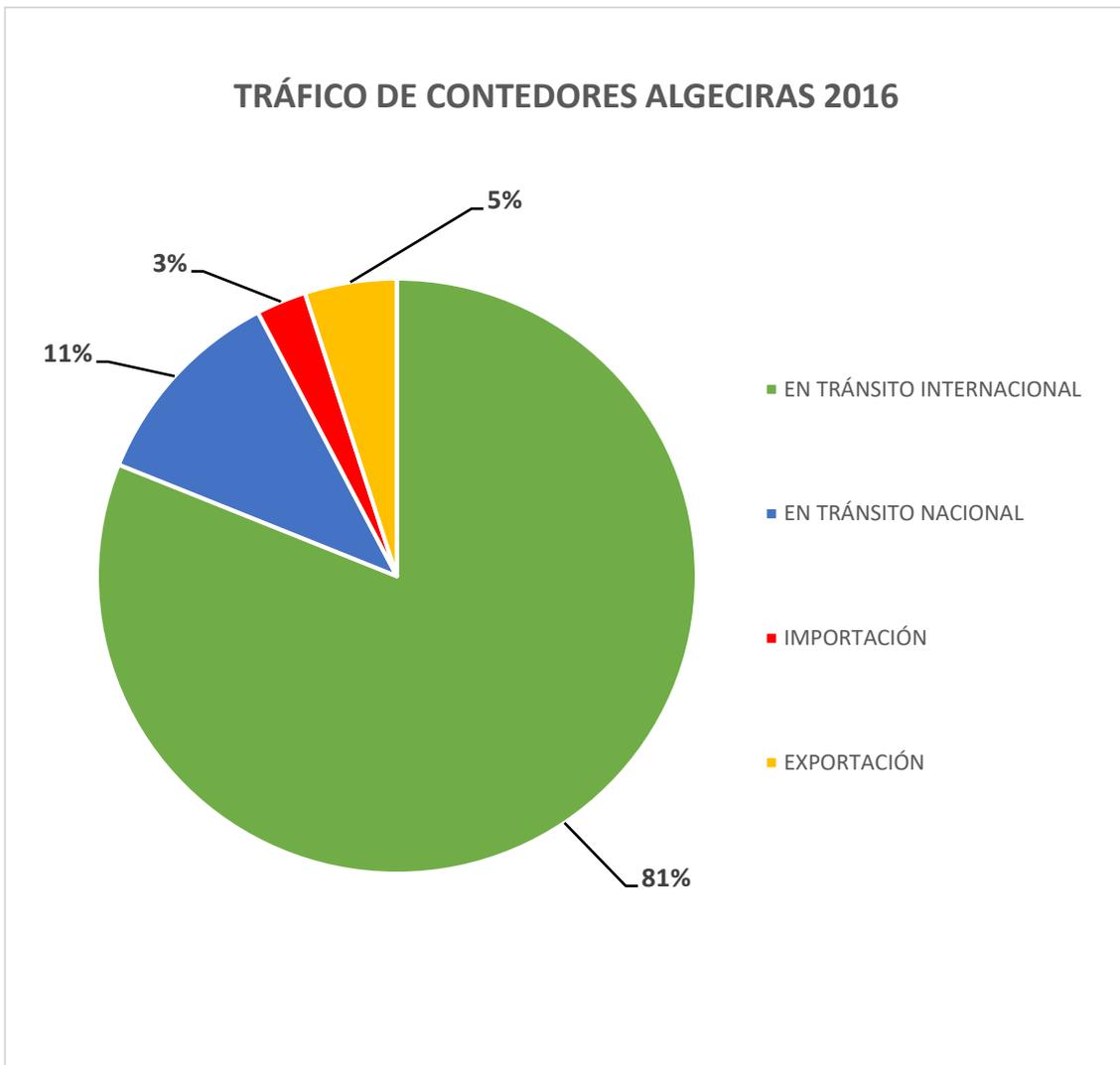


Gráfico 4 – Desglose de mercancía contenerizada en Algeciras en 2016. Fuente: Elaboración propia.

Además de este último gráfico, en el que tan solo se desglosa la mercancía perteneciente a Algeciras, se adjunta a continuación otro gráfico en el que se compara la mercancía en tránsito de este con la correspondiente al puerto de Valencia, donde la diferencia es de unos 25 millones de toneladas durante el último año y, según la tendencia del gráfico, parece que esta va a dilatarse con el tiempo.

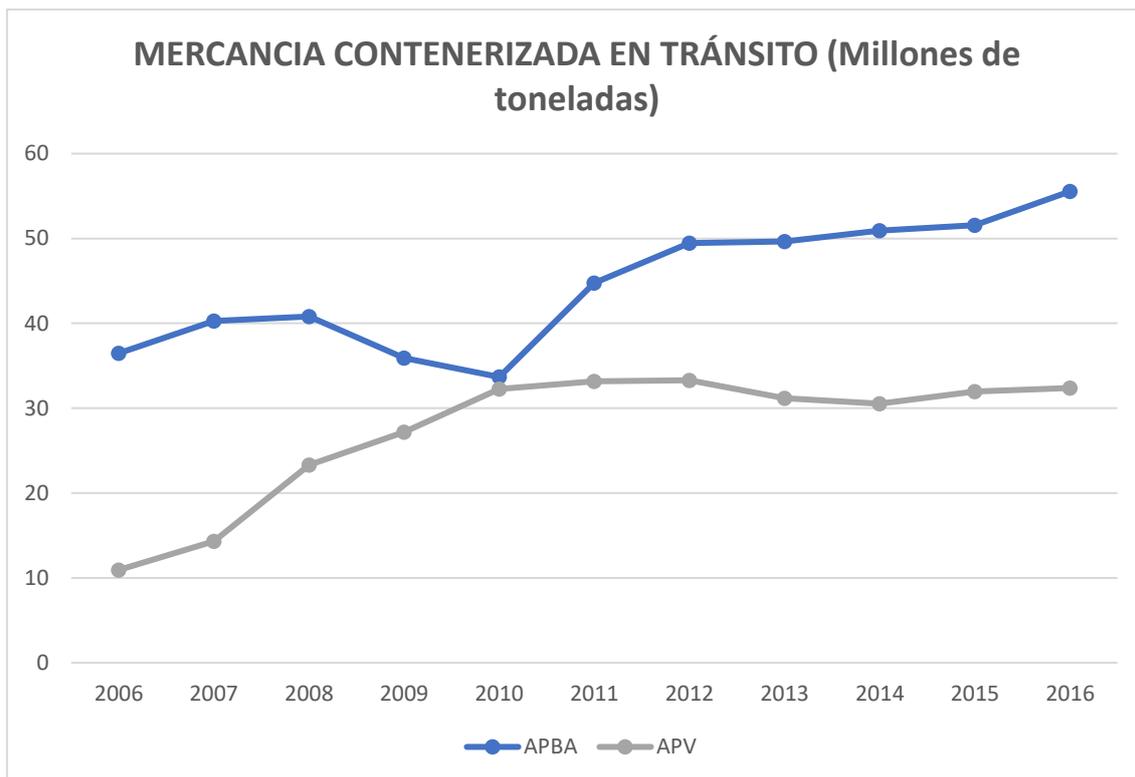


Gráfico 5 - Mercancía contenerizada en tránsito desde 2006 en Algeciras y Valencia. Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que el contenedor de transbordo es muy volátil, ya que no depende del área de influencia de los puertos donde se establece y es independiente del puerto donde se ubique. Esta circunstancia hace que el precio que las navieras otorgan para su descarga, almacenamiento y nueva manipulación sea muy ajustado, ya que estamos ante una mercancía que puede depositarse en algunos puertos que oferten para conseguir esos contratos. Es todo lo contrario al contenedor de origen/destino, el cual está sujeto a las condiciones geográficas de un puerto y de ahí se deriva un mayor precio en su manipulación ya que descargar o cargar en ese puerto o en cualquier otro competidor, pero más alejado que este primero, sí afecte al precio final en la logística del contenedor.

Si se observa la bajada de tráfico en Algeciras durante los años 2009-2010 puede verse que, si se compara con Valencia, no tiene correlación alguna por lo que queda descartada la posibilidad de que la crisis económica haya sido el principal causante de todo ello.

Tal y como se avanzaba en el párrafo anterior, el transbordo es muy volátil, y es que ese mismo año Tánger Med (Tánger, Marruecos) comenzó su operativa ofreciendo mejores precios a las navieras. Ello facilitó la fuga del contenedor de transbordo de Algeciras a esta terminal. Sin embargo, los trabajadores de Tánger no tardaron en darse cuenta de que sus salarios no se encontraban a la altura de los del resto de terminales de la zona, lo cual desembocó en huelgas que no gustaron nada a las

navieras. Y así es como el volumen de mercancía que Algeciras perdió en año y medio, lo recuperó en el año y medio siguiente, puesto que en precios los marroquíes son muy competitivos, pero en eficiencia seguimos muy por encima de ellos. Dentro de muy poco se procederá a la apertura de Tanger Med II, operada por la naviera Maersk, y ello puede propiciar una nueva fuga de mercancía al territorio africano. Dado que en precios de tú a tú no es posible competir con ellos, la automatización total es, aparentemente, la única salida para poder equipararnos a sus niveles de precios, pero ganándoles en calidad de servicio y eficiencia.

El éxito del puerto de Algeciras se encuentra principalmente en este tipo de contenedor. Se podría asegurar que este es un puerto de transbordo puro, dado que los contenedores origen/destino que este maneja son puramente testimoniales. Cabe destacar, que estas terminales mantienen mejores índices de productividad y una capacidad unitaria más alta en las áreas de atraque y almacenamiento, debido a la poca actividad que tienen en el subsistema de recepción y entrega terrestre. Ello reduce el tráfico interno de la terminal, mejora la eficiencia y reduce el número necesario de equipos de patio, por lo que facilita la organización operativa.

Una vez repasadas estas estadísticas de tráfico, quedaría justificada la idea de implantar una nueva terminal de contenedores de transbordo en el puerto de la Bahía de Algeciras principalmente por dos motivos:

- Una vez visto el tráfico de contenedores gracias a las estadísticas históricas facilitadas por Puertos del Estado, se ve claramente que, de construirse una nueva terminal, esta deberá ser de transbordo, puesto que es el tipo de tráfico que encabeza este puerto.
- Algeciras es el primer puerto español en cuanto a tráfico de contenedores se refiere además de que, una vez vistos los datos de tráfico, la tendencia de estos es la de crecimiento en los próximos años.

4.3 Próxima propuesta de ampliación: localización del diseño

El inicio de actividad en la zona de la Isla Verde Exterior constituye la principal apuesta de desarrollo por parte del Puerto Bahía de Algeciras. La zona, construida y comercializada en tiempo record, aporta 122 nuevas hectáreas de superficie y unos 2.5 kilómetros de línea de atraque con calados que oscilan entre los 17.5 y 18.5 metros de profundidad. Además, con el fin de dar protección a los mega buques que atraquen y proporcionarles una mayor flexibilidad operativa, a todo lo descrito se le añade un dique exento que abriga la zona.

A día de hoy, la única terminal de contenedores que se ubica en la zona de Isla Verde Exterior es operada por Total Terminal International Algeciras (*TTI-A*), una terminal pionera en su labor al ser la primera terminal semiautomática del Mediterráneo. Esta inició su actividad en mayo del 2010 con el objetivo de manipular 1.8 millones de

TEUs. Además, es capaz de manejarse con futuras generaciones de mega buques con una capacidad de 18.000 TEUs, todo con equipos de muelle y patio automatizados.



Figura 27 - Imagen tomada desde la grúa de muelle STS, con vistas al patio totalmente automatizado.
Fuente: www.apba.com

La ubicación de la TTI-Algeciras se sitúa en la Fase A de la ampliación del recinto de Isla Verde Exterior, y la principal razón por la que se habla de ella en el presente apartado es porque justo a su lado se encuentra la Fase B de la ampliación, localización prevista de la terminal de contenedores objeto del presente trabajo y que se encuentra todavía por explotar.

Según las últimas noticias de la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras y en nombre de su presidente, D. Manuel Morón, se adoptó el día 13 de octubre de 2017 el prorrogar el plazo presentación de ofertas del concurso público internacional para construir y explotar una terminal de contenedores en la citada Fase B de la Isla Verde Exterior hasta el 31 de enero de 2018.

Los motivos de realizar prórroga tras prórroga sin todavía permitir la presentación de ofertas, según fuentes de la APBA, son que queda pendiente la venta definitiva de la TTI-Algeciras, la cual parece en gran parte ya vendida a inversores coreanos; y la otra es la incertidumbre existente a día de hoy en el sector de la estiba, causa que parece haber comenzado a tener solución con la publicación en el BOE del *Real Decreto-ley 8/2017, por el que se modifica el régimen de los trabajadores para la prestación de servicios portuarios de manipulación de mercancías*. Ello refuerza la idea de que la APBA esté esperando para adjudicar a un inversor que pretenda colocar una terminal de contenedores automatizada.

Dicho esto, se procede a comentar todas las características físicas del emplazamiento de la terminal de contenedores automatizada en la citada Fase B en la ampliación de

Isla Verde, atendiendo a los anuncios que se han ido sucediendo en el BOE durante los últimos años.



Figura 28 - Imagen aérea del puerto de Algeciras con las terminales de contenedores existentes y la localización de la nueva. Fuente: elaboración propia.

En la imagen mostrada se pueden observar las dos terminales existentes (azul y verde), así como la zona de estudio donde se albergará la tercera (amarillo). A continuación, se muestran las características físicas de la misma:

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS MUELLE ISLA VERDE EXTERIOR FASE B

SUPERFICIE (Ha)	30.5
SUPERFICIE CON ZONAS PÚBLICAS (Ha)	37
LONGITUD DE MUELLE ESTE (m)	680
CALADO (m)	18,5
CAPACIDAD (MILLONES DE TEUs)	2
PLAZO DE LA CONCESIÓN (años)	50

Tabla 6 - Características físicas de la ubicación de la terminal en el Muelle Isla Verde Exterior. Fuente: APBH.

Si se realizara una comparación con el espacio que ocupa la TTI-Algeciras, podría decirse que tienen muy pocas diferencias, es decir, ambas superficies tienen características muy similares.

En cuanto a las longitudes de muelle, cabe destacar que los muelles Norte y Este de la TTI Algeciras miden 650 y 550 metros, respectivamente. Por su parte, la terminal que se ubicaría en la fase B, serían de un total de 680 metros de longitud en el Este con un calado de 18.5 metros, pudiéndose ampliar 130 metros más en un futuro hacia el Sur

en un futuro, cuando se ejecute la Fase C de la ampliación, si el dueño de la concesión así lo deseara.

Por último, en cuanto a capacidad de la terminal se refiere, las cifras serían muy similares, aunque un poco mayores en la nueva terminal. Mientras que la TTI dice poder albergar una capacidad de 1.8 millones de *TEUs*, según los datos de su página web, a la nueva terminal se le exigen en el Boletín Oficial del Estado tráfico mínimos de 400.000 *TEUs* al quinto año natural desde el inicio de la explotación y, a partir del sexto (incluido), el tráfico resultante debe aumentar de forma acumulada un 5% anual, hasta alcanzar la cifra de 800.000 *TEUs* anuales. Dadas las dimensiones del espacio donde se ubicará la terminal, no habrá ningún problema en superar las cifras exigidas.

Como conclusión al siguiente apartado, se podría destacar lo siguiente: a simple vista, la construcción de una nueva terminal en la Fase B de la ampliación de Isla Verde en el puerto de Algeciras parece una oportunidad de negocio muy interesante por varias razones: por un lado, tenemos un país emergiendo de una grave crisis económica y donde importantes inversores ya están empezando a perder el miedo por sucedido en los últimos años; por otro lado, se tiene la notable evolución del transporte marítimo internacional mediante la unidad del contenedor, un negocio que cada día se supera en crecimiento, tal y como se muestra en el apartado que analiza el tráfico marítimo y; por último, la posición estratégica de la que goza esta localización y la gran cantidad de servicio que puede ofrecer durante los próximos años.

5. PROYECTO OPERATIVO DE UNA TPC

En el presente apartado se comentará en primera instancia, las partes o zonas de las que se compone una terminal de contenedores automatizada, las cuales no difieren de las existentes en una terminal convencional. Y, acto seguido, se comentará toda la maquinaria existente y aplicable a una terminal de esta índole, con el fin de reducir tiempos, reducir costes, aumentar la seguridad y, en definitiva, mejorar su eficiencia.

5.1 La terminal: un sistema de subsistemas

Según el *Manual de Capacidad Portuaria*, una TPC es, técnicamente hablando, un intercambiador intermodal dotado de una capacidad determinada de almacenamiento en tierra con el fin de regular los diferentes ritmos de llegadas de los medios tanto terrestres como marítimos.

Su principal objetivo es el de proporcionar los medios y organización necesarios para que el intercambio de contenedores entre los diferentes modos de transporte sea efectuado en las mejores condiciones de rapidez, eficiencia, seguridad, respeto al medio ambiente y economía.

El principal factor que diferencia una TPC del resto de terminales marítimas, a parte de los equipos y recursos empleados, es que pueden alcanzar un alto grado de sistematización. Ello es debido al alto grado de estandarización del elemento transportado, la estandarización en la forma de manipulación portuaria, el alto nivel de intercambios que se producen y la gran repercusión que representa la tecnología para la rentabilidad de la terminal.

De esta manera, una TPC puede ser entendida como un sistema integrado de varios subsistemas bien diferenciados entre sí, tanto con conexión física como de información con las redes de transporte. Estos subsistemas de los que se compone se comentan en los siguientes apartados.

5.1.1 Subsistema de carga y descarga o de muelle

Este subsistema trata de resolver la interface marítima. Además, se caracteriza por el predominio del buque y las consecuencias que ello conlleva:

- Por un lado, sus grandes dimensiones. Ello afecta considerablemente al sistema ya que, el aumento de su tamaño llevará consigo problemas tales como muelles cada vez mayores, es decir, un sobre coste en las inversiones portuarias. También obligará a adquirir nuevos equipos de carga y descarga no solo más grandes, sino también con mayor rapidez de operación. Por último, las navieras también exigirán menores tiempos de estancia de sus buques en puerto, lo cual obligará a las terminales a aumentar constantemente su productividad.
- Su presencia en el subsistema requiere a su vez la presencia de agentes singulares, tales como armadores, navieros y consignatarios.

Es decir, el subsistema de carga y descarga se ocupa de atender la demanda de carga y descarga de contenedores del buque lo más rápido posible, en condiciones de seguridad y totalmente coordinado con el medio de transporte empleado para llevar las cargas a dentro de la terminal. Ello se lleva a cabo teniendo eficiencia, y un grado eficiencia adecuado se puede alcanzar atendiendo a los siguientes aspectos:

- Tamaño, velocidad y número de grúas.
- Grado de automatización de las mismas, así como el vehículo empleado para el transporte.
- Sistemas de comunicación de la terminal.
- La exactitud de la información suministrada por el consignatario, en lo que a la llegada y demás datos del buque se refiere.
- Dimensiones del muelle.
- Tipo de tráfico en terminal. Si es pública el número de clientes es mayor al caso privado.
- El grado de estandarización de la mercancía manipulada.

Tal y como se ha podido observar, la automatización es uno de los aspectos presentes para alcanzar un mayor grado de eficiencia en el subsistema de carga y descarga, no solo en la operación de carga-descarga, sino también en los vehículos en los que se depositan los contenedores para su transporte a terminal. No obstante, sería un grave error considerar únicamente este aspecto para la terminal ya que, la obra civil y los nuevos sistemas de comunicación son también de gran importancia para que las operaciones se hagan, además de rápido, correctamente.



Figura 29 - Grúas pórtico de muelle realizando la operación de descarga en la TTI Algeciras (España). Fuente: www.apba.es.

5.1.2 Subsistema de almacenamiento

Es el subsistema que ocupa una mayor superficie dentro de la terminal. Tanto la disposición como las dimensiones de esta, se encuentran muy estrechamente relacionadas con el tráfico de contenedores que soporta la terminal, así como con los diferentes equipos de manipulación escogidos.

Este subsistema se encuentra entre los subsistemas de carga y descarga de buques y el de recepción y entrega terrestres. La idea principal a tener en mente es la de disponer de una superficie tal que consiga soportar todos los requerimientos impuestos por la demanda.

Aspectos como el aumento del tráfico, tasa de containerización de la mercancía, el porte de la embarcación, ... han requerido de los puertos la disposición de mayores superficies de almacenamiento de contenedores. Es necesario decir que, con todo lo anteriormente citado, esta es la zona más importante de la terminal, es decir, es esencial para el correcto funcionamiento de la misma.

Su principal objetivo es el de proporcionar la atención a los diferentes ritmos que existen entre la carga y descarga de buques, y la recepción y entrega de las mercancías a los modos de transporte terrestre. Por ello, dicha superficie necesita que sea atendida por diferentes medios de manipulación, cuya elección dependerá de diversos factores.

El diseño de esta zona depende, primordialmente, del tipo de medios de manipulación que se tienen previsto utilizar. Éstos, a su vez, permiten varios grados de apilamiento y posibilidades de automatización muy dispares. Entre esos sistemas, los cuales se explicarán en el posterior apartado, son los siguientes:

- Grúas polivalentes
- Grúas pórtico de almacenamiento
- Grúas pórtico de almacenamiento (RTG y RMG)
- Carretillas pórtico
- Equipos de manipulación frontal (grúas apiladoras, apilador frontal, ...)
- Cabezas tractoras con plataformas
- Vehículos autoguiados (AGV y ALV)

Asimismo, se deben tener en cuenta zonas adicionales debido a diversos factores, como pueden ser:

- Contenedores refrigerados, los cuales necesitan de una zona especial de almacenamiento con las conexiones eléctricas necesarias para no romper la cadena de frío.
- Contenedores de mercancías peligrosas, los cuales deben separarse del tráfico ordinario en determinados casos por condiciones de seguridad.

- Instalaciones correspondientes a las inspecciones pertinentes por los organismos públicos (aduana, inspección, fitosanitaria, etc.).

Además, en esta zona se ubican distintas edificaciones, entre las que destacan:

- Oficinas propias de la terminal, donde se realizan las operaciones administrativas que conlleva la actividad empresarial y la relación con los clientes.
- La sala de control, donde se deciden, controlan y registran, en tiempo real, las operaciones que tienen lugar en la terminal.
- Los talleres, donde se efectúan operaciones de mantenimiento o reparación de los medios de la terminal.
- Almacén de consolidación. Éste se comunica con la interfaz terrestre sin el empleo del contenedor y es aquí donde se realizan operaciones de grupaje, de manera que la conexión de este almacén con el subsistema de almacenamiento o con el de carga y descarga se hace ya mediante contenedores completos. Cabe destacar que este almacén bien podría ser considerado un subsistema adicional debido a la actividad logística de valor añadido que supone, pero no es una instalación que exista en todas las terminales.



Figura 30 - Zona de almacenamiento de la TTI Algeciras. Fuente: www.apba.es.

5.1.3 Subsistema de recepción y entrega terrestre

Este subsistema se encuentra formado por todas las entradas, instalaciones y equipos necesarios para controlar y manipular las cargas que entran y salen de la terminal por vía terrestre, ya sea por carretera o ferrocarril.

Su finalidad es la interfaz terrestre. El transporte por carretera presenta un grado de automatización enorme, con horas punta características, y con requerimientos muy variables, lo cual conlleva ciertos condicionantes a la terminal. Con frecuencia se observa que la terminal se adapta a los ritmos del transporte terrestre. Por contra, el ferrocarril permite concentrar la actividad en los momentos que mejor convengan a la terminal, además de ofrecer niveles de rendimiento elevados, ofreciendo mayor eficacia en el intercambio de documentos. No obstante, el ferrocarril es el medio menos empleado para el tráfico que entra a la terminal.

Los elementos que más afectan a este subsistema son:

- El tipo de tráfico, según sea transbordo o import/export.
- El número de puertas que existen para atender a los vehículos que entran o salen de la terminal.
- El sistema de obtención e intercambio de la información que se encuentre instalado en ese punto, especialmente el medio de obtención y de comunicación al control central de la terminal.
- La inspección física y de control de precinto del contenedor, tanto a la entrada como a la salida.

El funcionamiento es el siguiente: una vez los camiones han superado la cola de espera para el acceso y los respectivos trámites administrativos están en orden, los camiones se desplazan hacia la zona asignada para la carga y descarga, la cual suele estar ubicada cerca de los contenedores de importación. Ello está pensado para mover el contenedor lo menos posible y se cargue al camión que esté al lado. En cambio, los contenedores de exportación son dirigidos a la zona de exportación que hay en el campo y, una vez realizados los procesos de carga y descarga, los camiones pueden ya salir de la terminal.



Figura 31 - Entrada por carretera a la terminal TCB de Barcelona (España). Fuente: www.diariodelpuerto.com.

En cuando al sistema ferroviario, comentar que éste normalmente se produce en la misma terminal, en los raíles que discurren de forma paralela a la zona destinada a camiones, aunque no siempre es así dado que, en determinados puertos, la transferencia de contenedores al sistema ferroviario se produce fuera de la terminal con zonas de almacenaje y sistemas operativos (grúas) propios. En este último caso, es necesaria una transferencia de contenedores desde la zona de almacenaje hacia la terminal, la cual será ejecutada por tráileres, generalmente.

5.1.4 Subsistema de interconexión

Este subsistema se encarga de asegurar el transporte horizontal de contenedores entre los 3 subsistemas explicados anteriormente con la mayor rapidez, seguridad y eficiencia posibles. Cabe destacar que este subsistema incluye tanto movimiento físico como de información generada durante las operaciones.

Aquí se deben tener en cuenta ciertos aspectos, los cuales se detallan a continuación:

- Si el subsistema de almacenamiento emplea plataformas, carretillas elevadoras o carretillas pórtico, pueden emplearse para este subsistema.
- La elección para el movimiento de contenedores en patio conlleva, de manera general, al empleo de plataformas de camión como medio básico para la interconexión de sistemas.
- Existen sistemas de interconexión de elevada tecnología como lo son los AGV, con los que se logran soluciones con muy alto nivel de automatización.



Figura 32 – AGVs en terminales automatizadas. Fuente: CTA.

5.2 Comparativa de terminales atendiendo a las disposiciones del patio de contenedores

Atendiendo a la orientación de los bloques de contenedores en la superficie de almacenamiento se pueden distinguir dos tipologías: una orientación horizontal o paralela al muelle y otra vertical o perpendicular al mismo. A continuación, se explicarán ambas disposiciones:

- Disposición de patio horizontal o paralela al muelle

Se trata de la disposición que es normalmente empleada en terminales convencionales, dado que es un buen sistema para ser manipulado por equipos de patio RTG o RMG. A continuación, se muestra un croquis de la configuración, además de cómo sería la operativa básica en una terminal automatizada:

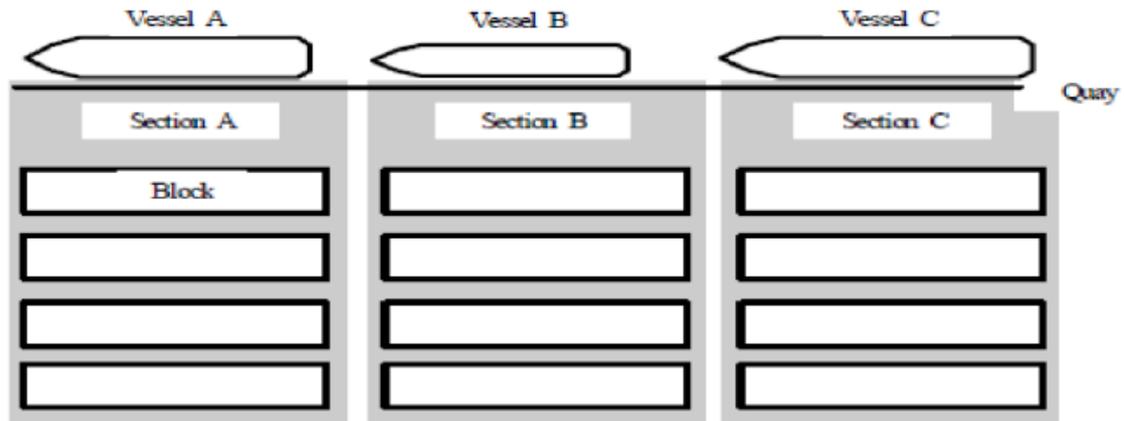


Figura 33 - Croquis de la disposición de patio paralela al muelle. Fuente: Korea Maritime Institute.

Las grúas de muelle descargarían los contenedores del barco en el medio de interconexión correspondiente (AGV o Straddle Carrier). Estos los llevarían a la zona de almacenamiento donde la ASC los recogería y mandaría a sus lugares correspondientes. En cuanto a la interfaz terrestre, el ASC cogería el contenedor correspondiente y lo depositaría en el camión que le estaría esperando al inicio del bloque.

Cabe destacar que esta disposición sería bastante buena para el caso en el que los contenedores de transbordo fueran predominantes, dada la mayor versatilidad y flexibilidad para elegir el bloque al poder ser atendidos por ambos lados.

No obstante, como puntos en contra debe destacarse que aprovecha una menor superficie que la otra tipología. Además de que los recorridos a implementar en el TOS son mucho más sofisticados y se requiere un mayor número de equipos para atender todos los bloques, y ello se traduce en unos costes de inversión, operación y mantenimiento mucho más elevados.

- Disposición de patio vertical o perpendicular al muelle

Es la orientación más típica en Europa en cuanto a la tipología automatizada. Con ella, se diferencian dos partes: la marítima, donde se ubican las grúas de muelle y los equipos de interconexión; y la terrestre, donde se atiende a los camiones que vienen a por los contenedores de importación o con contenedores para ser exportados. A continuación, se muestra un croquis de la configuración, así como la operativa básica de una terminal automatizada con esta disposición:

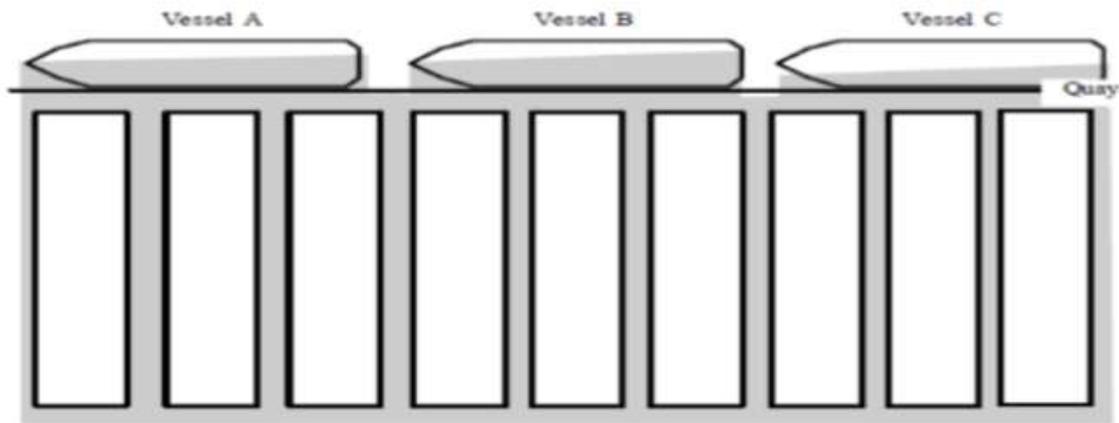


Figura 34 – Croquis de la disposición perpendicular al muelle. Fuente: Korea Maritime Institute.

La operativa es muy similar a la disposición anterior. No obstante, en esta el recorrido llevado a cabo por los medios de interconexión es menor que en el caso anterior, pero los recorridos que realicen las grúas ASC serán, generalmente, mayores.

La principal ventaja de esta disposición es que es muy conocida, dada su enorme presencia en el viejo continente. En cuanto a los algoritmos a implementar en el TOS, cabe destacar que en este caso son mucho más sencillos, dado que los recorridos son inferiores y ello se traduce en un menor coste. Por último y no menos importante, con esta tipología se distingue la zona de mar de la terrestre y ello implica que no habrá tráfico cruzados, lo que mejora la operativa de la terminal.

Dado que, en principio, la disposición paralela parece la más favorable para una terminal de transbordo, en el apartado 5 de la presente memoria se realizará un análisis comparativo de ambas tipologías con el espacio disponible con el fin de comprobar cuál de las dos otorga a la terminal una mayor capacidad de almacenamiento.

5.3 Equipos presentes en una terminal de contenedores automatizada

En lo relativo a maquinaria empleada en terminales automatizadas, cabe destacar que existen tipologías en todos los subsistemas que la componen. No obstante, aquellos en los que más innovación se ha producido han sido los de transferencia y almacenamiento, donde existen varias posibilidades. A día de hoy, los equipos existentes se recogen en la siguiente tabla, extraída del libro *Transporte en Contenedor (2012)*.

MAQUINARIA EMPLEADA EN TERMINALES AUTOMATIZADAS		
Grúa pórtico para operaciones buque-tierra	STS	<i>Ship to shore gantry crane</i>
Vehículo de transferencia interna	ITV	<i>Internal Transfer Vehicle</i>
- Vehículo de guiado automático	AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i>
- Vehículo de transferencia autoguiado con plataforma elevadora	L-AGV	<i>Lifting AGV</i>
- Vehículo de transferencia automático	ALV	<i>Automated Lifting Vehicle</i>
Grúa apiladora automatizada	ASC	<i>Automated stacking crane</i>
- Grúa pórtico sobre railes automatizada	ASC twin (No pasantes)	<i>Automated rail mounted gantry</i>
- Grúa pórtico sobre railes de carga lateral	ASC cross over (pasantes)	<i>Cantilever automated rail mounted gantry</i>

Tabla 7 - Maquinaria empleada en terminales automatizadas. Fuente: Transporte en contenedor (2012).

5.3.1 Equipos en el subsistema de recepción y entrega

Existe gran variedad de equipos capaces de resolver, de forma conjunta, el subsistema de recepción y entrega. A continuación, se detallan los más relevantes:

- Sistema OCR (Optical Character Recognition)

Se trata de sistemas electrónicos que permiten la traducción de caracteres mediante escáneres y algoritmos. De esta manera, se incrementa la seguridad y el rendimiento de en los procedimientos de acceso a la terminal dada la alta fiabilidad de este sistema.

En cuanto a la implantación de este sistema, destacar que consiste en colocar pórticos en los carriles de acceso a la terminal y dotarlos de los siguientes equipos:

- Sensores láser y magnéticos para la detección del vehículo, de manera que cuando este se encuentre parado delante identifiquen su matrícula mediante captura de imagen.
- Cámaras CCTV (Cámaras de Circuito Cerrado por Televisión) con sensores CCD (Charge Couple Device) dotadas para la captura de imágenes tanto diurnas como nocturnas evitando efectos reflectantes que puedan causar las matrículas. Además, estas cámaras fotografían los laterales del contenedor, con el fin de identificar su estado y características de la carga mediante su posible etiquetado IMO.
- Iluminadores tipo LEDs, que crean condiciones lumínicas óptimas para la toma de imágenes, los cuales se accionan con la intensidad de un flash en el momento de la toma de la imagen.



Figura 35 - Ejemplo de sistema OCR (Optical Character Recognition). Fuente: Idonic.

Dichas componentes convierten al equipo apto para desempeñar las siguientes funciones:

- Identificación de las matrículas de los vehículos, gracias al LPR (License Plate Recognition).
- Identificación del número de identificación de los contenedores ACCR (Automatic Container Code Recognition).
- Identificativa de etiquetas IMO.

Lo que resulta muy importante de este sistema es que capta y transmite la información en tiempo real. Esta tecnología es capaz de traducir las imágenes a datos, los cuales serán transmitidos al *TOS*.

- Sistemas de tarjetas inteligentes

Se trata un sistema que controlará el acceso del personal propio de la terminal mediante unas tarjetas inteligentes que pueden realizar las siguientes funciones:

- Almacenar la información de acceso, con nombre, turno, matrícula y hasta la información biométrica de las huellas.

- Codificar la fotografía (de manera que se puede contrastar la identidad del conductor mediante las imágenes captadas por las CCTV).
- Asociar un equipamiento a un empleado, restringiendo de este modo el acceso por determinadas zonas.
- Utilizarse como tarjetas monedero dentro de los puntos de servicio de la terminal.

Cabe destacar que este sistema puede ser empleado tanto por transportistas como por trabajadores de la terminal. No obstante, dado que la terminal va a ser de transbordo, no se espera un tráfico excesivo por las puertas de la misma se implantará un sistema OCR será el equipo que se encargue de la entrada y salida de todos los agentes implicados, el cual se encontrará conectado al TOS de la terminal.

También habría posibilidad de optar por una solución intermedia, la cual es la de una puerta semi-automatizada. En este caso, el cambio importante sería el traslado de los operarios de puertas a una oficina externa. El sistema instalado en puertas para este caso es el que recopila la información de manera automática y es el personal de puertas el que, desde las oficinas, toma las decisiones referentes a la entrada y salida de vehículos. Ello permite que un solo operario pueda atender, de manera simultánea, varias puertas.

- RFIDs (Radio Frequency Identification)

Hoy en día, los contenedores se identifican mediante la matrícula que portan grabada en sus puertas y del precinto, el cual es único y específico para el viaje que vaya a efectuar el contenedor. Por ello, ha nacido este sistema de comunicación remota entre dos dispositivos o más, en el cual uno emite una señal de radio y el otro responde automáticamente a dicha señal. De esta manera, se actualiza la introducción de datos a un sistema a tiempo real con fiabilidad.

Este sistema permite identificar un objeto cualquiera dotado de una tarjeta RFID. A continuación, se tiene un ejemplo de la misma:



Figura 36 - Ejemplo de etiqueta RFID. Fuente: www.casacochecurro.com.

Esta tarjeta recoge la información relativa al objeto y es capaz de transmitirla por radiofrecuencia. El sistema para identificar un objeto se compone de esta etiqueta, un lector RFID y de un decodificador.

Es posible la instalación de unos lectores en las puertas de la terminal compuestos por estos componentes de manera que, cuando el camión pasa por el pórtico, el sistema recibe la información de la tarjeta a través de la antena, obteniendo los datos de varios vehículos y contenedores al mismo tiempo. Así es muy fácil comprobar si el contenedor en cuestión tiene o no el permiso para salir de la terminal, quedando registrado en el *TOS* todos los movimientos que ha realizado.

Una vez vistas las tecnologías existentes en la puerta de las terminales, pasarán a verse una serie de iniciativas para implementar sistemas que faciliten la entrada y salida de contenedores, con la finalidad de disminuir los tiempos de espera y aligerar las colas que puedan formarse. A continuación, se detallan las dos iniciativas presentes:

- Closing time

Se trata de una iniciativa para ordenar el transporte basada en el compromiso de los actores que desempeñan esta función (agentes, transportistas, ...). Trata de establecer una serie de parámetros horarios para cada fase de envío de la información necesaria para facilitar el acceso a la terminal, además de englobar toda la información en un sistema informático que conecte a todos los usuarios.

De esta forma, se gestionan desde las ordenes de transporte, entrégueses, admitases, notificaciones de admisión en terminales o depots, de forma que todo pueda ser gestionado electrónicamente.

- Cita previa

Mediante este sistema se trata de repartir durante todo el día el flujo de camiones previstos, con el fin de evitar horas punta y así, equilibrar la carga de trabajo, todo ello con una buena planificación de recursos con el fin de que las operativas sean fluidas.

El sistema trata de lo siguiente: en la propia web de la terminal, se implementan una sección de ventanas horarias, delimitando la duración y capacidad de admisión en cada ventana horaria. Dentro de ellas, se informa a partir de qué momento pueden realizarse las solicitudes y a qué hora terminan. Una vez realizada la solicitud por el transportista o agente implicado, la terminal confirma la reserva indicando el tramo horario en que estará vigente o notifica que no se ha podido realizar dicha reserva, al encontrarse este tramo completo.

5.3.2 Equipos de muelle

5.3.2.1 Equipo de amarre automático

Existe un sistema novedoso de amarre automático por vacío "shore-based" comercializado por Cavotec, y del cual la empresa *TTS Port Equipment AB* también tiene su variante en los prototipos llamados "vacuumbased auto-mooring", además de un avance tecnológico que reduce el tiempo de estancia del buque en puerto, reducen los costes de atraque y aumentan su seguridad, puesto que el buque se mueve menos con este sistema que con el tradicional. Se trata de un gran avance en cuanto a la operativa de carga y descarga de un buque.

Este dispositivo cuenta con las GT (Gross Tones) del buque, su calado variante y sobre todo, el estado de la mar, viento e incluso las mareas. Sus palas, a través de sensores y un sofisticado programa, realiza movimientos para absorber y contrarrestar los factores que influyen al buque mientras se encuentra atracado. Sus paneles de vacío crean la fuerza de atracción necesaria para mantener inmovilizado el buque.

El accionamiento de este sistema es sencillo y podrá llevarlo a cabo el propio capitán del barco o el personal que controle la grúa de muelle desde oficinas, una vez el buque se encuentra en la posición correcta, todo ello en un periodo de 25 segundos para amarrarlo y 10 en desamarrarlo.



Figura 37 - Sistema de amarre automático de la empresa Cavotec. Fuente: Cavotec.

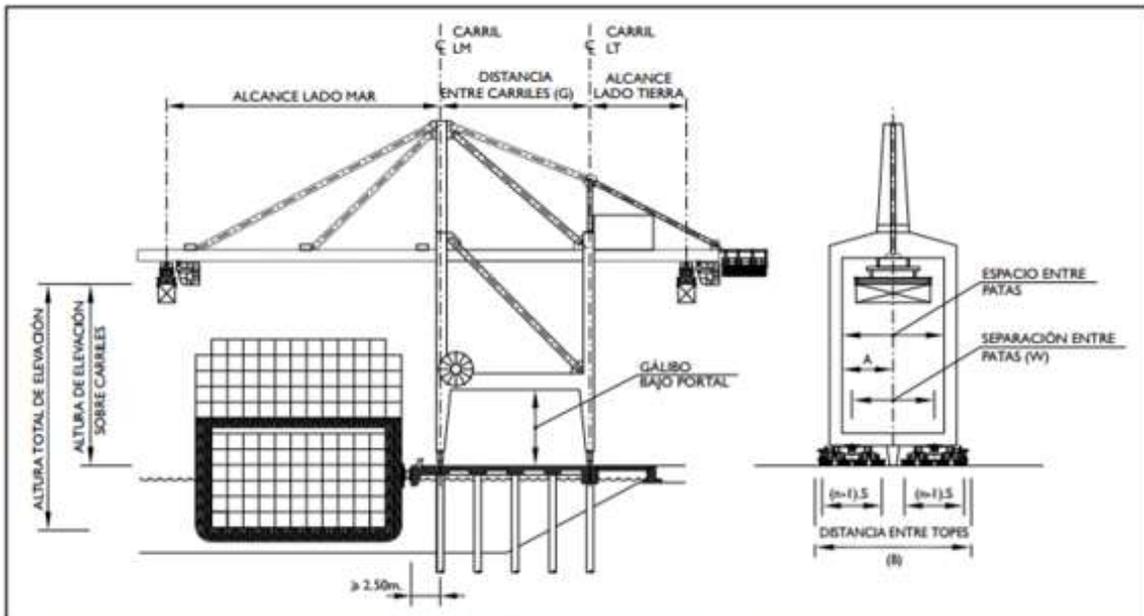
La relación de estos con la operativa es clara. Al mantener el buque mucho más estático mientras se encuentra atracado, disminuye el grado de libertad de movimientos del mismo, por lo que mejoran de manera significativa la fiabilidad de los sistemas de posicionado, lo cual incrementa las posibilidades de automatización de las grúas pórtico.

5.3.2.2 Grúas de contenedores STS (Ship To Shore)

Las grúas empleadas para la operación de carga y descarga de los buques son grúas pórtico, guiadas por carriles en su base y que se encuentran dotadas normalmente de 3 movimientos: longitudinal, el cual es realizado a través de los carriles; transversal, por medio del carro donde se desplaza el spreader con los contenedores; y el de izar y arriar el contenedor.

Existen fundamentalmente dos tipos de clasificaciones a la hora de diferenciar este tipo de grúas: el primero de ellos, atendiendo a la forma en la que se retira la pluma; y el segundo, atendiendo a las dimensiones de alcance. En cuanto a la primera clasificación no va a desarrollarse debido a que la grúa convencional es la más económica y empleada a nivel mundial.

No obstante, la segunda clasificación tiene mayor importancia ya que, dependiendo de la elección de una grúa, se podrán atender unos buques u otros. Es por ello que, en España, las *Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM 2.0-11)*, muestra algunas de las características geométricas de cada uno de los tipos existentes: Feeder, Panamax, Post Panamax, Super Post Panamax, Suezmax y Malacamax.



TIPO DE GRÚA PARA CONTENEDORES						
Para buques con n° filas de contenedores en manga	< 13	13	13-17	17-19	19-22	≥ 22
Tamaño buque máximo de proyecto	Feeder	Panamax	Post Panamax	Super Post Panamax	Suezmax	Malacamax
Capacidad del buque (TEUS)	300-3.000	3.000-4.000	4.000-8.000	8.000-10.000	10.000-12.000	> 12.000
Manga del buque (m)	21-32,3	32,3	32,3-43	43-46	46-53	53-60
CARACTERÍSTICAS GRÚA						
Capacidad de elevación bajo spreader (kN)	320-400	400	500	520	580	+ 650
Alcance lado mar (m)	30-35	35-47	45-47	50-55	55-60	65-75
Alcance lado tierra (m)	10	12-18	15-18	15-20	15-20	15-22
Max. altura de elevación sobre carriles (m)	25	30-34	34	34	36	40-46
Max. altura total de elevación (m)	50	50	50	52	54	+ 60
Gálíbo bajo portal (m)	12	12	12	12-15	15	12-18
Peso (kN)	4.000-5000	5.000-8.000	9.000-12.000	10.000-13.000	11.000-15.000	16.000≥20.000
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA						
Distancia (G) entre carriles (m)	15-30,50	30,50	30,50	30,50	30,50	30,50-40
Espacio entre patas (m)	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3
Separación (W) entre patas (m)	13-15	15-17	15-17	15-17	15-17	15,17
N° ruedas por pata (n)	6	8	8	8	8	8
Separación (S) de ruedas (m)	1,00-1,20	1,20-1,50	1,30-1,50	1,30-1,50	1,30-1,50	1,30-1,50
Distancia (B) entre topes (m)	20-24	24-27	24-27	24-27	24-27	24-27
Distancia (A) tirante anclaje/agarre (m)	9	9	9	9	9	9

Tabla 8 - Características físicas y geométricas de las grúas sobre carriles para contenedores. Fuente: ROM 2.0-11.

Por su parte, la evolución que esta grúa en términos de automatización ha ido encarada a la implementación de automatizaciones menores, que permiten evolucionar gradualmente hacia una automatización del sistema de carga y descarga con el fin de lograr avances en términos de seguridad. La empresa *ABB*, presenta un ejemplo de mejoras para automatizar al máximo la operativa de las grúas de muelle. Dicho sistema, el cual se implantará en las grúas de muelle de la terminal, incluye:

- Electronic Load Control (ELC): Se trata de un sistema que permite calcular la trayectoria óptima del spreader, siendo perfectamente implementable de manera conjunta con los sistemas anti-sway y posicionamiento de carga.
 - Sway control: se trata de sistemas automáticos para minimizar los movimientos pendulares que incorporan las grúas modernas.
 - Posicionamiento de carga: gracias a una cámara instalada en el trolley, manda la situación exacta del contenedor al sistema de control de la grúa.

- Skew control: Esos sistemas electrónicos ajustan las inclinaciones, giros y/o balanceos alineando perfectamente el spreader cargado en la bodega del buque, con el sistema de interconexión o con el spreader vacío sobre el contenedor, ajustando hidráulicamente la longitud de cada uno de los cuatro cables que lo sujetan al trolley mediante un conjunto de cilindros.

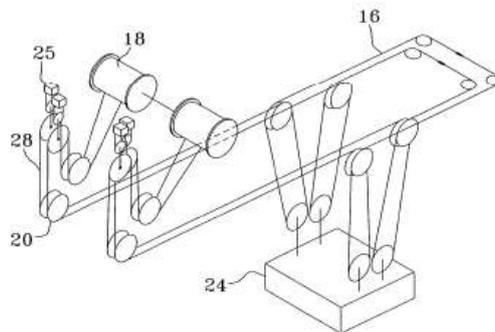


Figura 38 – Croquis de la compensación de los cables del sistema anti-skew. Fuente: Influencia de los sistemas de automatización aplicados en la gestión de nuevas terminales de contenedores.

- Ship Profiling System (SPS): dispositivo basado en tecnología láser, el cual dibuja continuamente el perfil de los contenedores del buque, mejorando la seguridad de todo el ciclo de carga y descarga.

La empresa *AAB* ha desarrollado un equipo que funciona de la siguiente forma:

La primera vez que el spreader iza y se sitúa a bordo, el programa toma datos de la altura del buque y dimensiones de la carga, que traslada a la pantalla del operador de la grúa. En cada movimiento de carga y descarga, el perfil del buque varía en la pantalla a tiempo real, comparando el escaneo del movimiento anterior con el del siguiente. Si el sistema detectara algún error de los que se mencionan a continuación, lanzaría una alarma al panel de control para que el operador pueda revisarlo o desactivarlo en cualquier momento:

- Fin de carro

- Tope de elevación
 - Sobrepeso
 - Altura libre
 - Detectores volumétricos de proximidad de objeto anticolidión
 - Sistemas de seguridad de recorrido de carro
 - Sistemas de auto-steering
- Control remoto

5.3.3 Sistemas de transporte horizontal

Los equipos que se comentan en el presente apartado tienen la finalidad de servir como medio de distribución de los contenedores dentro de la terminal, es decir, resuelven la interconexión entre subsistemas. La diferencia a la hora de su elección radica en la elección del sistema de almacenamiento, ya sea por medios convencionales (*RTG o RMG*) o automatizados (*ASC*), los cuales se comentarán en el siguiente apartado. Los sistemas empleados en terminales automatizadas son los llamados *AGV (Automated Guided Vehicles)* y *ALV (Automated Lifted Vehicles) o AShC (Automated Shuttle Carrier)*. Ambos se caracterizan por tener un software interno, el cual controla el *TOS (Terminal Operating System)*, el que hace que todos ellos trabajen como si fueran una unidad creando adaptabilidad, eficiencia y ordenes de trabajo.

Comenzaron empleándose los *AGV*, basándose en los desarrollos llevados a cabo por otras industrias.

- Automated Guided Vehicle (AGV)

Se trata de vehículos que no necesitan conductor para desarrollar la actividad para la que han sido diseñados. No tiene la capacidad de cargarse ni descargarse a sí mismo, únicamente transporta la mercancía una vez se la ha cargado otro medio o equipo.

Con el paso del tiempo, de este modelo nació otro que se bautizó con el nombre de *AGV-lift*, capaz de izar la carga unos centímetros para para dejarla en estanterías para su posterior colocación en patio, reduciendo tiempos de parada y ganando tiempo de aprovechamiento del equipo. Esta solución es excelente dado que con los *AGV* tradicionales podía haber la posibilidad de que, por el factor que fuera, no queden equipos suficientes en patio para abastecer a la grúa, quedando esta parada. Es evidente que esto último es inadmisibles, dado que el barco que está siendo cargado o descargado está pagando una tasa por tiempo de amarre.

Es por ello que las terminales han intentado romper la dependencia directa tanto de las grúas de muelle como de las de patio del funcionamiento de la interconexión. A este sistema se le conoce como *Decoupling (desacoplar)*. Con este sistema las grúas pueden depositar los contenedores en una plataforma, la cual se verá en el apartado 4 de la presente memoria, sin la necesidad de que haya un vehículo de interconexión debajo para recibirla ya que, cuando llegue al lugar indicado, se cargará el contenedor

a él mismo sin la necesidad de medios auxiliares. Los *AGV-Lift* son un ejemplo claro de *decoupling*, los cuales operarán como medio de interconexión en la nueva terminal.

La evolución de estos equipos ha sido tal, que empezaron siendo propulsados por motor de combustión interna y, actualmente, son 100% eléctricos.



Figura 39 - Equipos de interconexión automatizados AGV (izquierda) y AGV-Lift (derecha). Fuente: Terex Gottwald.

- Automated Lifting Vehicle (ALV)

Se trata del siguiente escalón de evolución. Son, al igual que el caso anterior, vehículos autónomos guiados, pero en este caso se trata de Shuttle Carriers de las terminales convencionales, pero con la salvedad de que son automáticos, es decir, vehículos que cargan, transportan y descargan la mercancía hasta en dos alturas. Con su uso, el rendimiento de la terminal sería superior, haciendo que el número necesario de AGVs fuese menor.

Por tanto, no cabe duda que para el problema del sistema de transferencia horizontal existen varias posibilidades de automatización, con equipos que transportan la mercancía y hasta incluso la cargan y descargan funcionando de manera autónoma, lo cual indica que el futuro ha llegado para desempeñar estas tareas en una terminal de contenedores.

5.3.4 Equipos de almacenamiento

En terminales automatizadas este sistema se encuentra operado por grúas pórticos, robotizados y controlados por control remoto en las operaciones de carga y descarga.

Las denominadas *Automated Stacking Cranes (ASC)* son las que gozan de un mayor grado de automatización y dentro de esta tipología existen dos configuraciones: los *ASC twin NO pasantes* y los *ASC cross over pasantes*. Estos equipos, montados sobre raíles *ARMG* o *C-ARMG*, desempeñan las funciones de carga y descarga del contenedor en medios auxiliares y para su apilamiento en patio. La única diferencia entre los dos es que las primeras cargan y descargan camiones y vehículos de transferencia solamente en las cabezas de las calles, mientras que las segundas lo realizan al costado de las pilas de contenedores.

Son equipos que se trasladan sobre raíles, permiten un apilado de hasta 5 alturas y anchuras de 6 a 10 contenedores y son 100% eléctricos. Al ser automatizados, no se dispone de cabina de conductor en su estructura, lo cual permite un máximo aprovechamiento del espacio. De la misma forma que los equipos de transferencia horizontal, estas son controladas por el TOS de la terminal, haciendo que el conjunto trabaje como si fuera uno, siendo un software interno el que maneja la grúa y almacena la carga; un sistema de comunicación, el cual se encarga de la operación del vehículo; y otro de localización, el cual localiza el vehículo en el rail prediciendo posibles colisiones.

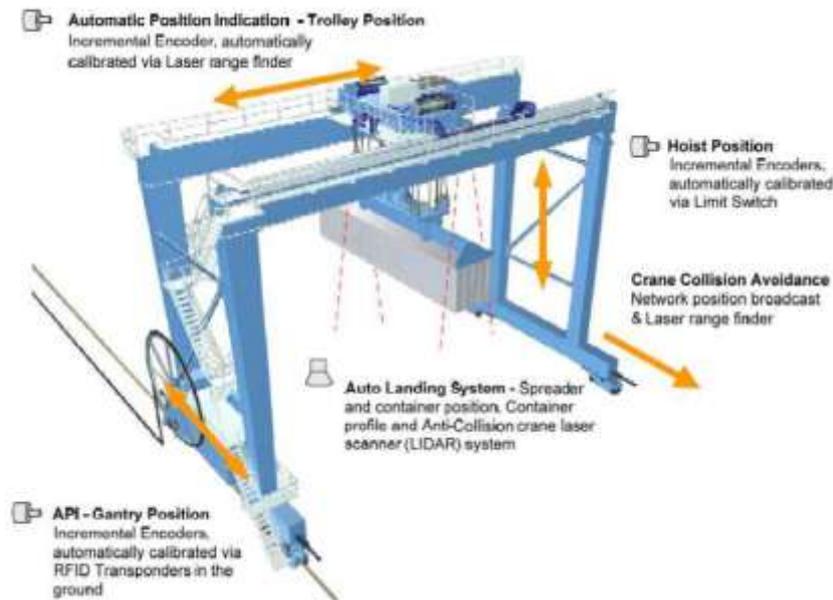


Figura 40 - Partes de un ASC. Fuente: Influencia de los sistemas de automatización aplicados en la gestión de nuevas terminales de contenedores.

5.3.4.1 Grúas ASC gemelas twin no pasantes

Son las más habituales en terminales automatizadas. Aprovechan bastante mejor la superficie del patio respecto a la tipología pasante y, además, cargan y descargan dentro del área de la misma, pero es necesaria una buena estrategia de operación para lograr éxito en su funcionamiento. Se trata de dos grúas exactamente iguales: una sirve a toda mercancía que venga del mar, situándose en ese flanco; mientras que la situada en el flanco de tierra despacha contenedores, colocándolos encima de los camiones y colabora con la grúa del flanco de mar recogiendo contenedores dejados a mitad de hilera por la otra grúa para colocarlos en su posición final, dado que la grúa de mar es la que mayor trabajo tiene por norma general.



Figura 41 - La Khalifa Port Container Terminal emplea esta tipología en patio. Fuente: www.apba.es.

A continuación, se muestran los valores por los que rondan las características de estas grúas:

CHARACTERISTICS OF NON-PASSING ASCs	
Characteristics	ASCs
Crane speed	4 m/s
Trolley speed	1m/s
Hoist speed	36-72m/min
Max. Height for lifting	17,8m
Width	35m

Tabla 9 - Características de las grúas twin (no pasantes). Fuente: *Porttechnology*.

5.3.4.2 Grúas ASC cross over (pasantes)

Se trata de una alternativa a las anteriores y difieren de ellas en que aquí se utilizan dos grúas de tamaños distintos de tal manera que pueden cruzarse sin llegar a colisionar. Su uso no es elevado en Europa, siendo el único de los dos únicos casos hasta la fecha el de la CTA Altenwerder de Hamburgo.

Se trata de un diseño que potencia la flexibilidad de sus equipos ya que, ambas grúas son capaces de operar en los dos lados de la hilera sin el perjuicio de molestar a una a la otra y ello es una ventaja que la tipología anterior no tenía. De hecho, la única manera en la que pudieran molestar sería cuando la grúa mayor se encontrara izando un contenedor y la pequeña tratara de pasarla por bajo. En cuanto a la configuración habitual, la grúa menor suele operar en el flanco del mar dada su mayor velocidad de operación.

No obstante, esta configuración arrastra algún inconveniente. Son más caras y requieren una mayor superficie por bloque, es decir, es necesaria una mayor superficie

de terminal al requerir dos líneas de carriles por bloque para hacerlas pasantes. Por otro lado, el consumo de las grúas no es el mismo, dado que la grúa mayor es más grande, por lo que es más lenta y tiene un consumo mayor y es también un factor a tener en cuenta. A continuación, se adjuntan en tabla las características de cada grúa:

CHARACTERISTICS OF SMALL AND LARGE ASC IN THE PASSING CRANE CONFIGURATION		
Characteristics	Small ASC	Large ASC
Crane speed	3 m/s	3m/s
Trolley speed	1m/s	1m/s
Hoist speed	36-72m/min	36-72m/min
Height crane	22m	27m
Max. Height for lifting	15,5m	21,5m
Width	31m	40m

Tabla 10 - Características de las grúas ASC cross over (pasantes). Fuente: Porttechnology.

Otra configuración, aunque ya es de muy poco uso, es la de utilizar ASCs que combinan carga y descarga en el extremo de la pila para camiones externos, con la carga y descarga en el costado de la pila para los equipos de interconexión dedicados a la transferencia entre patio y muelle (*ASC-End+Side*), siendo el resto de sistemas minoritarios y de los que no se espera de ellos un crecimiento elevado.

5.3.4.3 Grúas automáticas RMG y C-RMG

La siguiente configuración en la lista de más utilizadas sería la que emplea grúas RMGs cantiléver (C-RMGs) con pilas de gran tamaño, paralelas o perpendiculares al muelle. Estos equipos, recogen y entregan los contenedores sobre los equipos de interconexión y camiones externos en el costado de la pila. Este sistema suele combinarse con sistema manual de cabeza tractora de más plataforma como equipo de interconexión. Esta disposición da densidades de apilado muy elevadas, por lo que es propia de terminales asiáticas.



Figura 42 - C-RMG transportada a una terminal de contenedores china. Se puede observar que es para grandes apilados. Fuente: Peel Ports.

5.3.5 Avances tecnológicos del spreader

Además de los sistemas comentados en el apartado anterior de grúas STS, los avances tecnológicos en los spreaders y que serán de aplicación en la nueva terminal serán los siguientes:

- Sistema anti-snap: se trata de un sistema anti-enganche, compuesto por un sistema de sensores de fricción en las poleas ubicadas en la contrapluma.

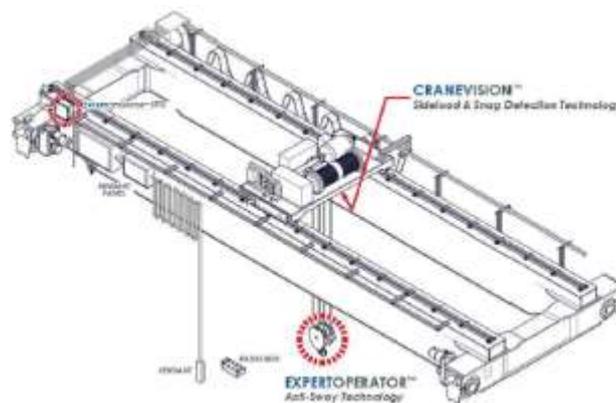


Figura 43 - Sistemas anti-snap y anti-sway aplicados a un spreader. Fuente: CraneVision.

Dichas poleas enrollan los cables que tiran del spreader para elevar la carga, si detectan que el contenedor se engancha en una guía de la bodega, se mueven hacia delante para disipar la energía y cortar la elevación. Este sistema colabora de manera conjunta con el anti-skew para evitar que los cables que unen el spreader se rompan o que la estructura de la grúa resulte dañada por la

energía cinética acumulada en la izada, si el contenedor quedara enganchado en la bodega.

- *Boxhunter Horizontal Fine Positioning System*: este sistema, desarrollado por Konecranes, permite al operador de la grúa de muelle mover el spreader aproximadamente unos 200 mm en dirección paralela o perpendicular a la pluma. De esta manera, es capaz de ajustar la posición exacta del contenedor de forma rápida y sin necesidad de mover el trolley. Además, este sistema es aplicable de forma simultánea con el control de balanceo (skew).
- Sistema de escáner láser: sistema creado por CPS Cargotec Security para implementarse en grúas para escanear los contenedores durante su izada. Cabe destacar que la implementación de este sistema es óptima, dado que el escaneo por contenedor dura entre 20-30 segundos, lo cual no disminuye el rendimiento de la grúa. Se trata de una forma muy útil de escanear contenedores de transbordo en muelle sin la necesidad de realizarlo en patio o puerta.
- Modalidades de spreader según los contenedores a cargar:
 - Spreader con Twin-lift: sistema muy extendido, el cual consta de un spreader telescópico, que permite adaptarse a un contenedor de 20 pies como alargarse y manipular uno de 40. Su principal característica es que es capaz de elevar dos contenedores de 20 pies, sujetándolos con twistlocks en su zona central.

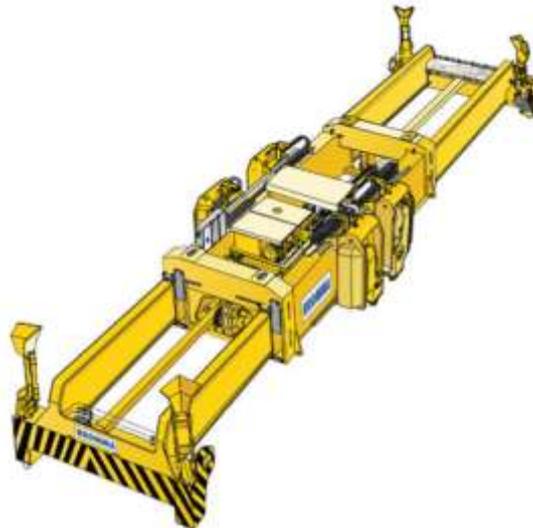


Figura 44 - Spreader con Twin-lift. Fuente: BROMMA.

- Spreader en tándem: es la evolución del anterior y permite manipular hasta 4 contenedores de 20 pies a la vez. No obstante, para ello es necesaria una capacidad de la grúa de 120 toneladas. Esta capacidad es lo que limita los contenedores a izar por movimiento.

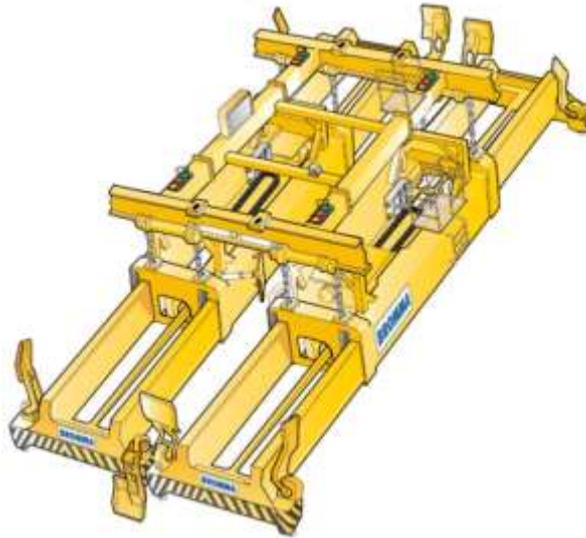


Figura 45 - Spreader en tándem. Fuente: BROMMA.

- Triple spreader con twin-lift: este sistema emplea 3 spreaders simultáneos para elevar 3 contenedores de 40 pies o 6 de 20 pies, dado que incorpora la tecnología twin-lift.



Figura 46 - Triple spreader con twin-lift. Fuente: Influencia de los sistemas de automatización aplicados en la gestión de nuevas terminales de contenedores.

5.3.6 Sistemas de gestión de la información

5.3.6.1 Sistema de Operativo de la Terminal

El SOT o TOS (en inglés) es el conjunto de equipos (hardware) y software que permiten el intercambio de información y la generación de órdenes necesarias para la explotación de la terminal.

Estos sistemas planifican y controlan los movimientos de contenedores aumentando la eficiencia de los equipos de patio, maximizando el espacio de almacenamiento, reduciendo los costes y aumentando la seguridad, así como la eficiencia energética. Todo esto se consigue al introducir estos criterios como objetivos a conseguir por el sistema mediante los diseños lógicos, algoritmos y varemos preestablecidos con los que trabajan estas herramientas de gestión.

Con carácter general, un TOS recién comprado tiene tres módulos básicos sobre una o varias bases de datos, que luego adaptan a la terminal sobre la que va a gobernar:

- Planificación y control de operaciones

Se basa en el cálculo, mediante algoritmos matemáticos para definir y optimizar los recursos necesarios tanto de personal como de maquinaria para realizar la operativa tanto del buque como de almacenamiento en explanada, en la entrega y recepción por puerta. Por otro lado, también realiza la operativa de contenedores refrigerados como de la sección de consolidados.

- Método de administración y gestión

Se encarga de analizar la productividad, realizando una planificación y control de costes, facturación, estadísticas, ... Puede realizar un informe a tiempo real de la situación de una operativa, lo cual facilita la toma de decisiones.

- Módulo de comunicaciones

Se encarga del intercambio de información de la terminal con otros agentes mediante internet, los servicios EDI, ordenadores, LANswireless, OCR, el estado de los contenedores, reservas de entregas/llegadas, gestión de órdenes online y el acceso a los clientes a la información de buques y contenedores a tiempo real, siendo toda esta información volcada a una base de datos, la cual puede proporcionar datos útiles para los diferentes usuarios del sistema, según los filtros que se apliquen o las funciones que se requiera en el programa que absorbe esta información de la base de datos creada por la integración de todos los canales que comportan la operativa de una terminal de contenedores.

Tal y como se ha comentado al principio del presente apartado, además de los módulos básicos presentados, en función de la estrategia de cada empresa/terminal, el TOS puede y debe configurarse para módulos más definidos, en base a los citados. Es

por ello que, en el mercado actual, se encuentran diferentes empresas que han generado sus propios TOS, con módulos propios que se adaptan a las necesidades de sus clientes según una auditoría rigurosa, la cual es realizada por estas mismas empresas para su óptima implementación.

En el próximo apartado se describirá el TOS seleccionado para esta terminal, el cual se trata de un Navis, comercializado por la empresa Cargotec.

5.3.6.2 Sistema de ventanas de atraque

Con el fin de mantener un orden de llegadas a la terminal, es imprescindible un sistema de ventanas de atraque para los buques que vengan a operar a la terminal.

En el caso de la nueva terminal, se tiene una limitación muy importante en la línea de atraque puesto que es muy reducida. Por ello, en caso de que una no tenga un determinado control en este aspecto, existiría un riesgo muy elevado de congestionar la línea de atraque, lo cual llevaría a un sentimiento de desconfianza por parte de los clientes que solo quieren un servicio rápido y eficiente.

Es por esa limitación por la que se ha decidido que la terminal sea dedicada. De esta forma, la terminal sería gestionada de forma íntegra por una naviera, la cual daría servicio de forma exclusiva a sus buques y a los de sus socios en una posición ideal para distribuir su mercancía en el mediterráneo.

Se trata pues, de un sistema que debe ser implementado por el futuro operador de la terminal acorde a sus necesidades por lo que no se entrará en este tema en el siguiente apartado.

6. DISEÑO TÉCNICO DE LA TERMINAL

En este apartado se abordará el diseño técnico de la terminal en la localización acordada en el punto tercero de la presente memoria, 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. Así mismo, se llevará a cabo un diseño en planta del acceso terrestre a la misma y se delimitarán las zonas reservadas para la construcción de las instalaciones necesarias para su operativa.

6.1 Equipamiento empleado

6.1.1 Equipos de muelle

6.1.1.1 Sistema de amarre automático

En cuanto a los sistemas de amarrare para los buques que atraquen en la terminal y con el fin de que se muevan lo más mínimo, se ha optado por la instalación de 7 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.

La operativa de estos sistemas quedará bajo la responsabilidad del responsable de la grúa por control remoto en la oficina, el cual accionará el amarre en condiciones seguras gracias a un sensor de proximidad por láser ubicado en cada uno de los sistemas de amarre cara al buque de tal manera que, una vez todos los sensores detecten que el buque se encuentra a una distancia adecuada para efectuar el amarre, el operario únicamente tenga que accionarlos presionando un solo botón.

En cuanto a su distribución, estos sistemas de amarre automático quedarán distribuidos de manera uniforme a lo largo de la línea de atraque, esto es cada 80 metros, debido a la posibilidad de poder alternar varias opciones de atraque como, por ejemplo, las 2 que se plantean a continuación:

- 1 atraque para albergar a un solo buque Malacamax con una eslora de 470 metros.



Figura 47 - Configuración de atraque 1: buque Malacamax. Fuente: elaboración propia.

- 2 atraques para albergar a dos buques feeder con una eslora de 230 metros.



Figura 48 - Configuración de atraque 2: buques feeder. Fuente: elaboración propia.

Tal y como puede verse en las imágenes, el buque de 470 metros de eslora quedará amarrado mediante los 5 amarres, mientras que los buques feeder serán amarrados únicamente con 3 cada uno, dejando el amarre intermedio libre.

6.1.1.2 Grúas de muelle STS

Para abordar las operaciones de carga y descarga, dadas las excelentes condiciones batimétricas para acoger a los buques con la mayor capacidad en funcionamiento, se ha decidido la instalación de grúas STS portacontenedores sobre raíles **Megamax**, suministradas por la compañía alemana *Liebherr Contalner Cranes Ltd.*, cuyas características se detallan a continuación:

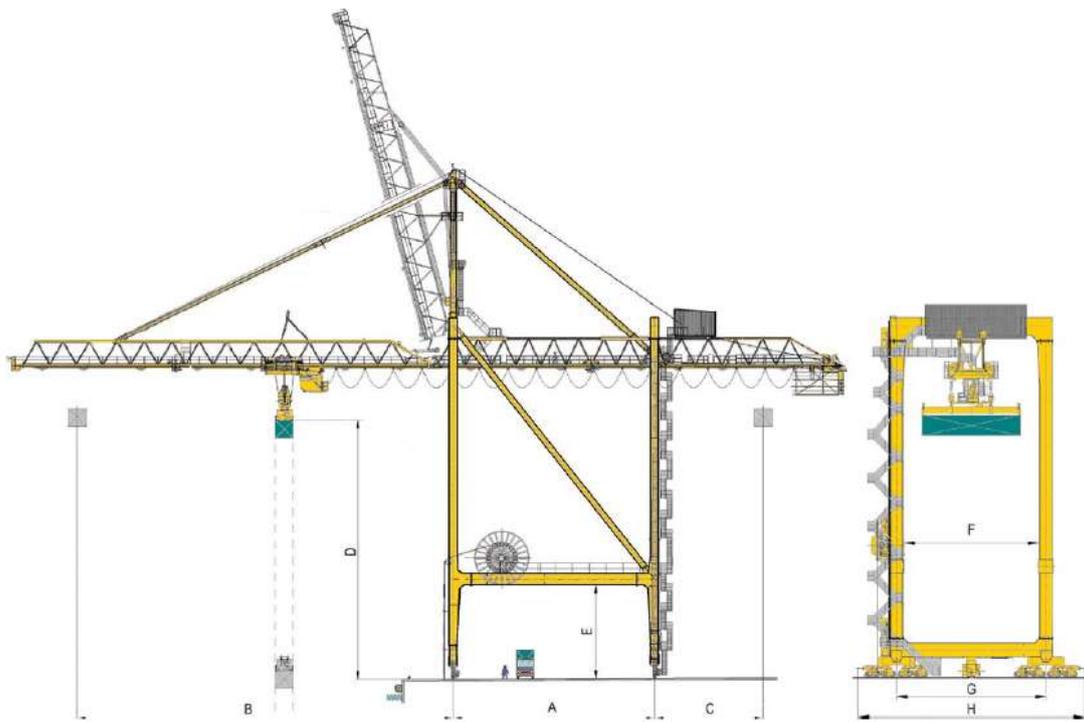


Figura 49 - Grúa tipo Megamax. Fuente: Liebherr Contalner Cranes Ltd.

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

Tabla 11 - Características Grúa Megamax. Fuente: Liebherr Container Cranes.

Una vez vistas las características de la grúa a implantar en la terminal, se ha optado por la compra de 6 grúas atendiendo a un criterio establecido por la naviera Mediterranean Shipping Company (MSC), la cual recomienda adquirir para nuevas terminales una cantidad de grúas igual a las necesarias para atender al mayor buque que vaya a atracar en dicha terminal separadas entre ellas una distancia de 80 metros.

Por su parte, los spreaders escogidos para que estas puedan izar los contenedores serán un Twin-Lift y otro en Tandem por grúa, con la finalidad de que estas sean capaces de izar las siguientes combinaciones:

TWIN-LIFT	TÁNDEM
1 contenedor de 20 pies	2 contenedores de 20 pies
1 contenedor de 40 pies	2 contenedores de 40 pies
2 contenedores de 20 pies	4 contenedores de 20 pies

Tabla 12 - Combinaciones de izado con los spreaders escogidos. Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Equipos de transporte horizontal

En el apartado anterior ya se comentaron las nuevas tecnologías existentes para resolver el problema del sistema de interconexión, así como las características principales de cada uno. Seguidamente, también se habló del principal problema que planteaban los AGVs tradicionales, y es que estos no eran capaces de descargarse los contenedores una vez llegaban al área de almacenamiento necesitando al equipo de este subsistema para realizarle dicha función, por lo que la productividad de los AGV dependía en gran medida de ello, puesto que quedaban "acoplados" al mismo. Por

ello`, se pensó en la forma de realizar un desacoplamiento de estos sistemas mediante algo nuevo, lo cual llegó con los AGV-Lift, que serán finalmente los equipos empleados para resolver el sistema de interconexión en la nueva terminal y serán suministrados por la marca *Gottwald*.

Este nuevo modelo testado, cuenta con unas plataformas de elevación eléctrico que le permiten depositar perfectamente los contenedores en unas estanterías ubicadas al principio de la zona de almacenamiento, lo que permite disminuir hasta en un 50% el número de equipos necesarios para atender a cada grúa de muelle. En la siguiente imagen se puede observar la operativa de los mismos:



Figura 50 - Operativa de los AGV-Lift. Fuente: Gottwald Port Technology.

Otro factor que caracteriza a estos equipos es que funcionan mediante batería eléctrica, lo cual indica que se trata de equipos respetuosos con el medio ambiente, tratándose de un punto muy a favor y que los diferencia enormemente de otros equipos. A continuación, se muestra una tabla con las características técnicas, así como de los modelos disponibles por parte de *Gottwald Technology* para este equipo:

Lift AGV - Technical Data	
Positioning accuracy	25 mm
Technology	Full electric
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' container	60 t
Dimensions	
Length (depending on bumper)	approx. 14,8 m
Width	approx. 3.0 m
Loading area height	approx 2.4 m
Dead weight	approx. 34 t
Tyre size	18,00 R 25
Speeds	
Max. Speed forward / reverse	6 m/s
Max. Speed in curves	3 m/s
Travelling in crab mode	1 m/s

Tabla 13 - Características técnicas AGV-Lift. Fuente: Gottwald Port Technology.

Por otro lado, se determinará la productividad de estos aparatos, ya que estos autores la estudiaron minuciosamente sometiéndolos a condiciones de tráfico medio y pico (Yvo Saanen et. al., 2003).

Dicho número de equipos se determinará en el apartado del cálculo de la capacidad 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 AGV-Lift a implantar en la terminal.

6.1.3 Equipos de almacenamiento de contenedores

Una vez comentadas en el apartado anterior las características generales de los dos tipos de *Automated Stacking Cranes*, se va a exponer a continuación un modelo de cada tipo de la casa Künz y se establecerán las principales ventajas e inconvenientes de cada una de cara a su implantación en el caso de estudio, con la finalidad de tomar una decisión sobre uno u otro modelo en el apartado de cálculo de la capacidad de almacenamiento, el cual se encuentra en el apartado 5 de la presente memoria.

ASC PASANTES KÜNZ

La primera tipología a comentar es la que se compone de dos grúas de patio ASC de distinto tamaño por bloque de contenedores, y sus características técnicas se muestran a continuación:

Technical Data ASC KÜNZ	
Capacity large crane	42 tonnes
Capacity small crane	42 tonnes
Track width large crane	40.1m
Track width small crane	31.7m
Lifting height large crane	21.1m
Lifting height small crane	15m
Stacking capacity	10 wide, 1 over 4 / 1 over 5
Length of crane way	-
Working speed	
Hoist rated load	0 - 52 m/min
Hoist empty load	0 - 90 m/min
Gantry drive	0 - 180 m/min
Trolley drive	0 - 60 m/min
Power	
Main hoist	400 KW / 40%ED
Gantry drive	25 KW / 60%ED
Trolley drive	10 KW / 60%ED

Tabla 14 - Características técnicas ASC pasantes. Fuente: künz



Figura 51 - Automated Stacking Cranes pasantes. Fuente: CTA Altenwerder terminal (Hamburg, Germany).

La principal ventaja asociada esta pareja de grúas es que pueden cruzarse una por debajo de la otra con relativa facilidad, lo cual permite hacerlas trabajar a ambas a la vez de forma más eficiente en función de donde se concentre la faena en cada

momento: en la puerta marítima o en la terrestre. El puerto va a constituir un nudo de transbordo, por lo que es posible que surja este problema en alguna ocasión.

Por otro lado, como principales inconvenientes destaca el precio de mantenimiento de las mismas, algo superior a la de la tipología gemela, así como la mayor necesidad de espacio, dado que deben habilitarse dos nuevos carriles para albergar a la grúa grande.

En definitiva, con esta tipología de grúas se gana en eficiencia, pero llevan asociado un coste elevado de mantenimiento y requiere unas necesidades de espacio superiores.

ASC GEMELAS NO PASANTES KÜNZ

Acto seguido, se muestran las características técnicas asociadas a las grúas de patio ASC de mismo tamaño por bloque de contenedores:

Technical Data Twin ASC KÜNZ	
Capacity main hoist	41 tonnes
Track width	28 m
Lifting height	18.1 m
Stacking capacity	9 wide / 1 over 5
Length of crane way	380 m
Working speed	
Hoist rated load	0 - 36 m/min
Hoist empty load	0 - 60 m/min
Gantry drive	0 - 270 m/min
Trolley drive	0 - 70 m/min
Power	
Main hoist	2 x 170 KW / 100%ED
Gantry drive	13 x 37 KW / 100%ED
Trolley drive	4 x 11 KW / 100%ED

Tabla 15 - Características técnicas ASC gemelas. Fuente: Künz.



Figura 52 – Automated Stacking Cranes gemelas. Fuente. Künz.

Las ventajas e inconvenientes asociados a esta tipología van en la línea contraria a la tipología anterior, es decir, la eficiencia que da la anterior no llegará a darla esta, aunque la diferencia no será excesiva, los costes asociados al mantenimiento son menores, puesto que son equipos completamente iguales y que ruedan por un mismo carril, lo cual implica menor infraestructura a mantener y menor espacio necesario por bloque.

Tal y como se ha comentado, en el próximo apartado se realizará un análisis comparativo de la capacidad de almacenamiento para ambos modelos, atendiendo también a la disposición de los bloques de contenedores en el patio de la terminal (paralela o perpendicular a la línea de atraque), todo ello con la finalidad de obtener aquella combinación tipo de grúa / orientación de bloques que mayor capacidad de almacenamiento otorgue a la terminal.

6.1.4 Equipos de recepción y entrega

Para el sistema de recepción y entrega se ha decidido instalar un equipo de última generación de la marca ÓRBITA, el cual consta de 6 sistemas que actuarán de forma conjunta y se encontrarán directamente integrados en el TOS:

- Gate Container Code Recognition (CCR): permite a los usuarios verificar automáticamente los contenedores ISO a medida que son transportados por el camión a través del punto de acceso. También incluye un lector para la placa de los camiones, captar imágenes de todos los costados visibles del vehículo y

videos e identificación por código IMDG (International Maritime Dangerous Goods) de etiquetas de mercancías peligrosas, todo ello a tiempo real.



Figura 53 - Gate CCR. Fuente: ÓRBITA.

- **Gate Operating System (OS):** administra de forma remota y en tiempo real la información adquirida en el punto de acceso. Mejora el rendimiento y los costes de la instalación mediante la centralización de control de eventos de puerta de múltiples carriles y excepciones. Gestiona y almacena la información correspondiente a la entrada y/o salida del camión y lo comparte con el TOS de la terminal a través de servicios web y otros protocolos de comunicación comunes. La integración con el TOS proporciona una interfaz única que brinda a los operadores el control de prácticamente todos los eventos relacionados con el funcionamiento de la puerta desde una sola pantalla y sistema de software.



Figura 54 - Interfaz del software de Gate OS. Fuente: ÓRBITA.

- Gate Kiosk: se trata de un gabinete de control modular que proporciona una amplia gama de interfaces para administrar la entrada y salida de las instalaciones. Ello incluye órdenes de trabajo, comunicación entre el conductor y el personal de la terminal e impresión de documentos entre otras funciones. Automatiza las operaciones de inicio de sesión, agiliza los tiempos de procesamiento proporcionando trazabilidad de las operaciones del conductor para así, reducir la necesidad de intervención del personal de la terminal, facilitándoles la gestión de incidencias.



Figura 55 - Gate Kiosk. Fuente: ÓRBITA.

- Gate Empty Container Inspection 3D (ECI): nueva solución para la identificación automática de objetos dentro de un contenedor. El producto consiste en un dispositivo de escaneo 3D montado en un sistema de posicionamiento mecánico. Tras abrir las partes del contenedor, el dispositivo se posiciona automáticamente y escanea el interior del contenedor. El software procesa los datos en tiempo real y puede proporcionar información sobre las condiciones del interior del contenedor (si hay objetos ocultos en su interior, si las dimensiones han sido alteradas, ...). Es un sistema muy útil para reforzar la seguridad de la terminal dado que detecta con facilidad mercancía de contrabando. Este sistema se integra perfectamente con el resto de sistemas proporcionando una interfaz única en el Gate OS.



Figura 56 - Interfaz del sistema ECI. Fuente: ÓRBITA.

- Gate Traffic: paquete de hardware y software que automatiza la gestión del tráfico del punto de acceso, mejorando de esta manera el flujo de vehículos, haciéndolo más fluido, estructurado y organizado, y reforzar la gestión de seguridad en las puertas. Se trata de un complemento perfecto para Gate CCR y Gate OS, dando lugar cuando se combinan a una solución de automatización total del punto de acceso.
- Gate Damage Inspection 3D (DMG): el sistema de inspección automática de daños de ÓRBITA detecta las áreas dañadas del contenedor e informa al Gate OS. Funciona sin supervisión e informa al recepcionista de la puerta sobre la ubicación y área de daños en tiempo real cuando el camión pasa a través del Gate CCR, dado que se instalan de forma conjunta. Consiste en dispositivos hardware de escaneo 3D de clase industrial que proporcionan información muy detallada sobre la estructura del contenedor en tiempo real. Forma parte de la interfaz del Gate OS, por lo que puede comunicarse con otros módulos (como pudiera ser el CCR) para obtener imágenes en tiempo real, lo cual le permite al usuario mostrar al mismo tiempo la vista de la inspección obtenida con las imágenes de esa zona del contenedor, facilitándole su identificación.



Figura 57 - Interfaz del sistema DMG 3D. Fuente: ÓRBITA.

Dado que la terminal va a ser de transbordo, el número de carriles para el acceso por vía terrestre no debería ser muy elevado. No obstante, se ha podido ver en el apartado 3 de la presente memoria que un 11% del tráfico total anual va en tránsito nacional. Dado que no se pretende añadir una plataforma ferroviaria para el cambio de modo de transporte, se ha decidido habilitar 3 carriles de entrada y salida de camiones a la terminal, tal y como se verá en el apartado de accesos, y cada uno de estos carriles estará equipado con uno de estos sistemas OCR, dando un total de 6 equipos completos. Así pues, se alcanzará un ritmo de entrada y despacho de mercancías eficiente.

6.1.5 Equipos de gestión de la información

6.1.5.1 Navis TOS N4

El sistema operativo que gestionará tanto el flujo tanto físico de la mercancía dentro de la terminal como el digital de la información que lleva asociada será el Navis N4, comercializado y soportado por Zebra Technologies Solutions. Este software es una plataforma de tecnología sofisticada y moderna orientada a optimizar la eficiencia y productividad de las terminales de contenedores en el conjunto de sus actividades operacionales, integrándola con actividades de soporte a la actividad portuaria.

Entre las actividades operacionales se pueden anotar básicamente las siguientes:

- Planeamiento de buques
- Planeación de patio
- Ejecución y control operacional terrestre y marítimo

De esta forma, se mejora la utilización de la infraestructura de equipos de desplazamiento, ya sea horizontal o vertical y del recurso humano. Ello es posible gracias al conjunto de módulos de optimización con los que cuenta el NAVIS N4, el más empleado en el mundo para terminales de contenedores automatizadas dada la sencillez de su adaptación en caso de crecimiento de la terminal, tanto geográfica, como de tráfico o maquinaria empleada:

- *Prime Route:* optimiza las asignaciones de trabajo de los equipos, es decir, reduce al máximo las distancias de viaje de los equipos ya sean de interconexión o del área de almacenamiento, todo ello en tiempo real, considerando las restricciones existentes y obteniendo un uso eficiente de todos estos equipos reduciendo los costes asociados al combustible, mano de obra o mantenimiento.
- *Vessel's Auto-Stow:* colabora en la mejora del tiempo de planificación de las secuencias de carga y descarga de los buques generando de forma automática sus propios planes de estiba, considerando sus características técnicas, número y tipo de contenedores a manipular y las restricciones técnicas de la terminal.
- *Expert-Decking:* controla en todo momento el empleo óptimo del espacio de la zona de almacenamiento de contenedores, dado que a cada contenedor le asigna una posición óptima en función del tiempo de estancia hasta su posterior despacho y las limitaciones de la terminal, proporcionando de esta forma un mejor uso más eficiente de esta zona.
- *Quay-Commander:* proporciona un control en tiempo real de los horarios de las grúas, contenedores que se movilizan y las tareas operacionales del buque, lo cual permite ajustes dinámicos de la carga pronosticada en los tiempos de carga/descarga y las secuencias de trabajo de las grúas. Con esta herramienta, los planificadores de los buques pueden lograr predicciones más exactas del movimiento de los contenedores y plazos de ejecución, aumentando la productividad laboral, así como el control de equipos.

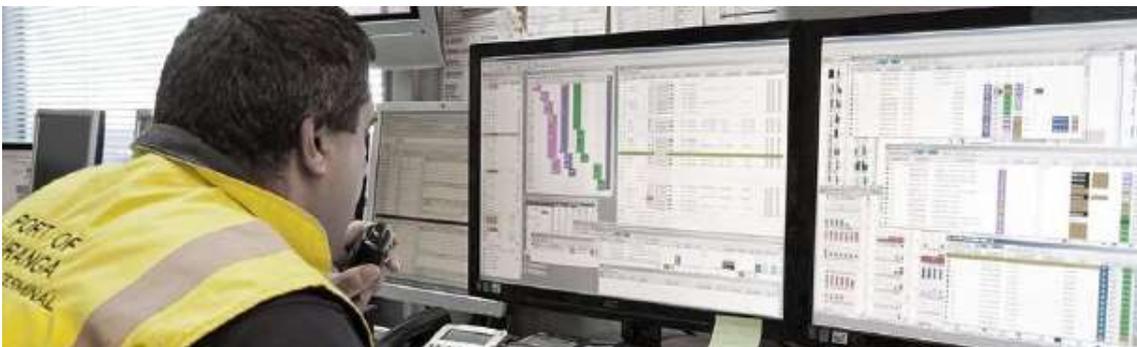


Figura 58 - Operario de Terminal con el sistema de gestión Navis. Fuente: Influencia de los sistemas de automatización aplicados en la gestión de nuevas terminales de contenedores.

6.2 Diseño de la terminal

Antes de comenzar con el diseño de la terminal, es necesario puntualizar algunos aspectos relativos a la línea de atraque de la concesión, atendiendo a la siguiente imagen:

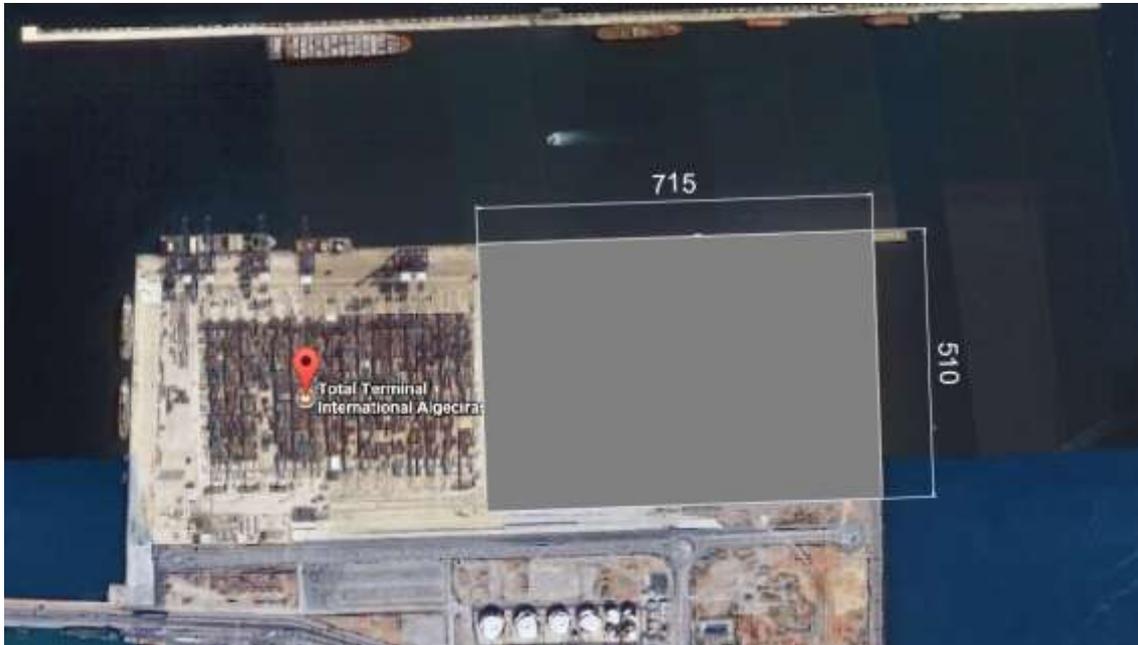


Figura 59 - Zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que la línea de atraque mide unos 715 metros de largo, cuando en el anuncio publicado por el BOE se concesionaban 680. Finalmente se ha adoptado este último número como válido dado que, por operatividad de las grúas la línea de atraque neta se acerca más a este último valor.

Por otro lado, la TTI Algeciras tomó cierta parte de esta línea de atraque con la finalidad de mejorar la operatividad de la terminal. De acuerdo a la información que se posee del Boletín Oficial del Estado, se ha podido saber que esa parte de línea de atraque pertenece a esta concesión y, en caso de que un operador/naviera se instalase en ella, tendría esa parte de atraque a su disposición.

En el siguiente apartado, se detallarán todos los cálculos de capacidad necesarios, atendiendo a los factores que afecten a ellos y obteniendo sus valores numéricos basándose en bibliografía especializada en esta área.

6.2.1 Área de operación

Se trata de la zona más próxima a la línea de atraque por lo que, se entiende que es aquella en la que se realizan las operaciones de carga y descarga de mercancías de los buques. Atendiendo a la disposición general del área de operación en una terminal de

contenedores, así como de sus dimensiones, la ROM 2.0 11 define una serie de factores determinantes:

- Características y número de equipos de carga y descarga.
- Características y equipos utilizados para la interconexión interna entre esta área y la de almacenamiento.
- La localización de los servicios u operaciones auxiliares relativas al buque y a las operaciones de carga y descarga del mismo.

Dicha norma recomienda que la profundidad de esta zona oscile entre los 22.5 y valores superiores a los 100 metros. No obstante, para el caso de una instalación de atraque para uso contenedores, se aconseja que dicha profundidad oscile entre los 30 metros para atender a buques feeder y supere los 70 cuando las grúas de contenedores sean tales que puedan atender buques Malacamax.

A continuación, se muestra una imagen extraída de la ROM 2.0 11 con los valores orientativos por cada zona:

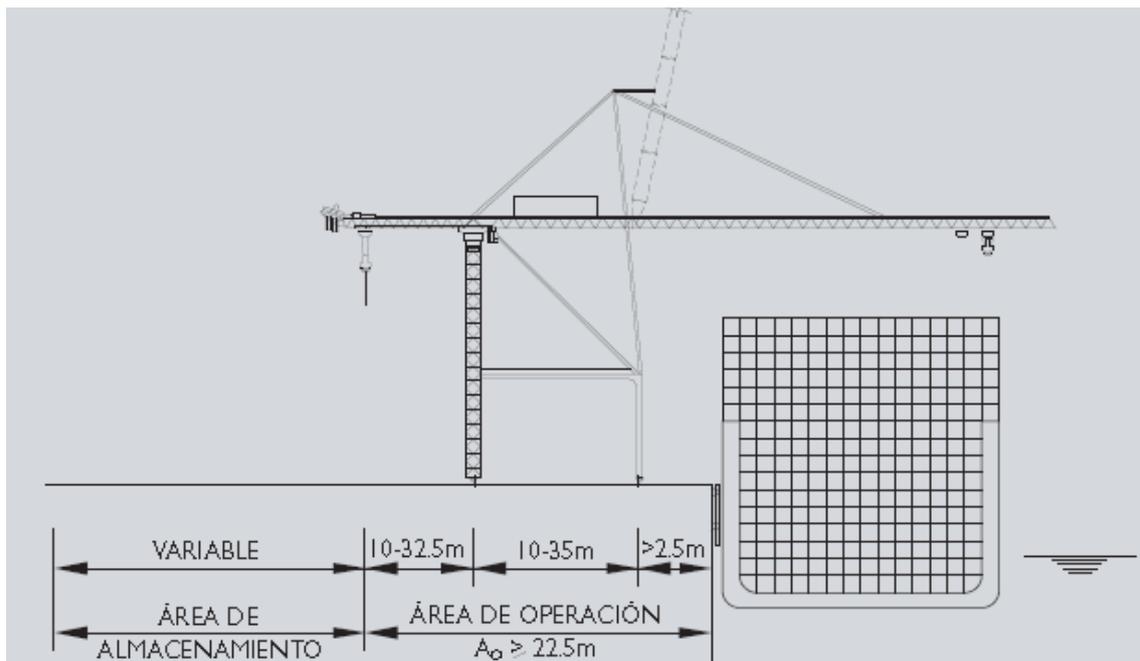


Figura 60 - Diferenciación de áreas terrestres en la instalación de atraque tipo muelle, con uso comercial y utilizando sistemas de carga y descarga de mercancías mediante equipos de rodadura sobre carriles. Fuente: ROM 2.0 11.

En ella se distinguen 3 zonas: la más próxima al mar, la cual debe ser superior a los 2.5 metros para albergar los equipos de amarre; y las otras dos, bajo grúa y parte trasera de la misma, reservadas para los carriles donde los equipos realizarán la interconexión con el patio.

En el caso de la nueva terminal, se reservará para cada zona lo siguiente:

- Zona de amarre: 9.5 metros debido a la mayor envergadura de los equipos de amarre automáticos frente a los bolados tradicionales.
- Zona bajo grúa STS: 5 carriles de circulación en área de operación destinados a la interconexión de 5 metros de ancho cada uno, incluyendo en su interior las marcas por donde los neumáticos de los equipos de interconexión deben circular de 3 metros de ancho. La separación entre carriles es de 1 metro.
- Zona tras grúas STS: se distinguen dos zonas; la primera, que albergará 3 carriles para los equipos de interconexión con las mismas características que los anteriores; y la segunda de 7.5 metros, la cual se sitúa bajo los contrapesos de las grúas y marca el final del área de operación.

Todas ellas hacen un total de anchura destinada al área de operación de 70.5 metros de longitud (Ver Anejo nº1: Planos).

6.2.2 Diseño en planta

En una concepción sistemática interna de una terminal portuaria, su capacidad será la menor de las capacidades de los subsistemas que la integran en un periodo anual: subsistemas de carga y descarga de buques (capacidad por línea de atraque), subsistema de interconexión, subsistema de almacenamiento, y subsistema de recepción y entrega terrestre (Monfort *et. al.*, 2011).

Para determinar dicha capacidad, se deben asumir una serie de hipótesis de trabajo que permitan aislamiento de cada subsistema para el cálculo de su capacidad de manera que, la menor de las capacidades obtenidas será la capacidad de la terminal. Esta metodología se conoce como la del *Método de los Cuellos de Botella*.

Desde el punto de vista de la planificación, ni el subsistema de recepción y entrega ni el de interconexión deben ser los limitantes de la capacidad dado que ambos deben dotarse del equipamiento suficiente para que no se conviertan en cuellos de botella, Mofort *et. al.* (2011).

Es por ello que, en la práctica, los subsistemas limitantes serán los de atraque y almacenamiento dada su gran dificultad de ampliación cuando estos quedan limitados. En los próximos dos apartados se llevará a cabo el cálculo de la capacidad de la terminal de estos dos subsistemas con la finalidad de establecer un diseño en planta.

6.2.3 Capacidad por línea de atraque

Los principales aspectos a tener en cuenta para la realización del siguiente cálculo de capacidad de la línea de atraque son los que se mencionan a continuación:

- Tráfico de mercancía a manipular según su caracterización, medida en TEU/año.
- Distribuciones estadísticas de llegadas de buques, además de sus características y de tiempos de servicio.
- Alineaciones de atraque en términos de longitud y calado.
- La productividad del equipamiento de muelle y cantidad de estos, es decir, la productividad del puesto de atraque.
- El nivel de calidad de servicio medido a través de la espera relativa considerado como admisible.

A continuación, se muestra la ecuación por la cual se define la capacidad por línea de atraque, según Mofort *et. al.* (2011). Cabe destacar que, estrictamente hablando, esta es la formulación para el cálculo del tráfico de la terminal en atraque. De esta manera, cuando la productividad (P) sea lo suficientemente alta y la tasa de ocupación es la asociada a una espera relativa límite, este tráfico se convierte en Capacidad, tal y como indica Obrer, R. (2015):

$$C_{LA} = N * \phi * T_{año} * P * F$$

Donde:

- C_{LA} : capacidad anual de la línea de atraque (TEUs/año).
- N : número de atraques.
- $T_{año}$: horas al año en las que la terminal se encuentra en operativo, función de días festivos para el puerto y condiciones climáticas.
- P : Productividad anual media de atraque medida en mov/h. Resulta 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 otros subsistemas, entre otros factores.
- F : factor que establece la proporción de llegada de tipo de contenedores 40'-20', lo cual permite dar el resultado final en TEU/año.
- ϕ : Tasa de ocupación admisible. Función del número de puestos de atraque, la calidad del servicio asociada a la espera relativa y de la caracterización de las llegadas y los tiempos de servicio.

Una vez descritos los factores de los que se compone la formulación, se procede a la obtención de los mismos:

El número 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:

$$N = \frac{\textit{Longitud de línea de atraque}}{\textit{Eslora del buque tipo} + (K_{sep})}$$

De los datos mostrados, cabe destacar que el único que es totalmente conocido es el de la longitud de línea de atraque. Por su parte, la eslora del buque tipo debe ser seleccionada por el proyectista en función del tamaño de un buque tipo que tenga que atracar en la futura terminal y la longitud de separación se obtendrá de una tabla recogida por la ROM 2.0-11 a partir de la eslora de buque escogida.

Dado que no se conoce cuál será el buque tipo, se ha procedido realizar un análisis de dicho parámetro atendiendo a la ecuación anterior para así poder continuar con el cálculo.

Así pues y de acuerdo a la tabla obtenida de la ROM 2.0-11, se procederá a la obtención de resguardos recomendados para el caso de atraque en el que los barcos se encuentran atracados en la misma alineación:

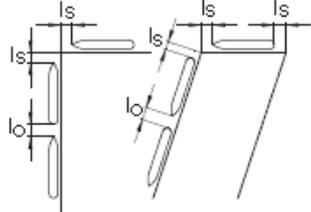
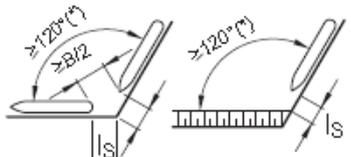
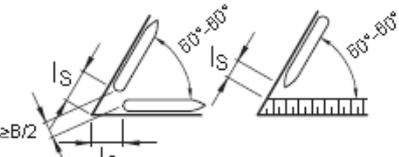
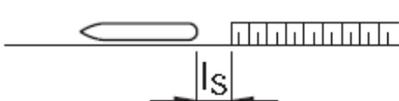
ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL MUELLE	Valores de las variables en función de la eslora total (L en m.) del barco mayor que afecta a la determinación de la dimensión analizada				
	Mayor de 300	300-201	200-151	150-100	Menor de 100 ⁽¹⁾
1. Distancia "L ₀ " entre barcos atracados en la misma alineación (m.) 	30	25	20	15	10
2. Separación "L _s " entre barco y cambios de alineación o de tipología estructural (m.) a) 	30	25	20	10	5
b) 	45/40	30	25	20	15
c) 	30/25	20	15	15	10
d) 	~60	50	40	30	20
e) 	20	15	15	10	10
(1) Para buques con eslora total menor de 12 m. se tomará como valor de "L ₀ " el 20% de "L", reajustándose los restantes valores proporcionalmente. (B) Manga del barco mayor que afecta a la determinación de la dimensión analizada. (**) El ángulo se entenderá limitado a 160°. Para ángulos mayores se aplicará el (1).					

Tabla 16 - Resguardos en planta recomendados en línea de atraque. Fuente: ROM 2.0-11.

Puesto que no existe limitación por calado (son 18.5 metros los disponibles) y la posición estratégica que hace de Algeciras un nodo de transbordo, lo lógico sería tratar de atender tanto a los buques más grandes del mercado como a los de tamaño mediano. A continuación, se exponen los 3 rangos de esloras para los que se obtienen los valores de 1, 2 y 3 atraques con los datos disponibles.

Rango de esloras (m)	>291	290-187	<186
Resguardo necesario (m)	30	20	40
Nº atraques obtenidos	1	2	3

Tabla 17 - Número de atraques obtenidos en función de distintos rangos de esloras. Fuente: elaboración propia.

A la vista de los resultados, se definirán los siguientes buques tipo que se corresponden con las 3 combinaciones de atraque anteriores para el cálculo de la capacidad por línea de atraque:

- Buque Malacamax de 18.000 TEUs: 470 metros de eslora.
- Buque Post-Pannamax de 5.000 TEUs: 290 metros de eslora.
- Buque Feeder de 500 TEUs: 148 metros de eslora.

La tasa de ocupación admisible (ϕ): se trata de un parámetro que se relaciona con la espera relativa ε , el cual representa la relación entre los tiempos de espera y servicio de todos los buques. Resulta de considerar los siguientes aspectos:

- Distribución de las llegadas de los buques, los cuales pueden variar desde sucesos Poisson (puramente aleatorios) a funciones Erlang de orden k , las cuales se encuentran entre la regularidad y la aleatoriedad.
- Distribución de los tiempos de servicio: suelen seguir distribuciones Erlang de orden grado variable entre 4 y 7 (Monfort *et. al.*, 2011).
- Número de atraques

Debido a la gran dificultad a la hora de determinar los dos primeros parámetros, se ha procedido a la consulta de bibliografía especializada para poder determinar las funciones más acordes al uso de la nueva terminal.

Según las recomendaciones de UNCTAD (1984) y Obrer-Marco y Aguilar (2015), quienes analizan en *Nueva Determinación de la Capacidad de Muelles en Terminales de Contenedores mediante Técnicas de Simulación* varias terminales de contenedores en España, admiten que las llegadas se rigen por una distribución aleatoria.

Por otro lado, para los tiempos de servicio se asume que se distribuirán como una Erlang. Para el caso de estudio se ha decidido optar por un valor de 4 por lo que finalmente las distribuciones de llegadas y tiempos de servicio quedarán de la siguiente forma ($M/E_4/N$).

Según Mofort *et. al.* (2011), 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 es, como máximo, del orden al 10% del tiempo que van a estar atendiéndole en terminal, considerando todo tiempo que exceda de ese valor como inadmisibile.

En definitiva, asumiendo dicho valor para el caso de $M/E_4/N$ con los atraques obtenidos en función de la eslora de buque tipo que se escoja, se obtendrá la tasa de ocupación admisible en función del siguiente gráfico:

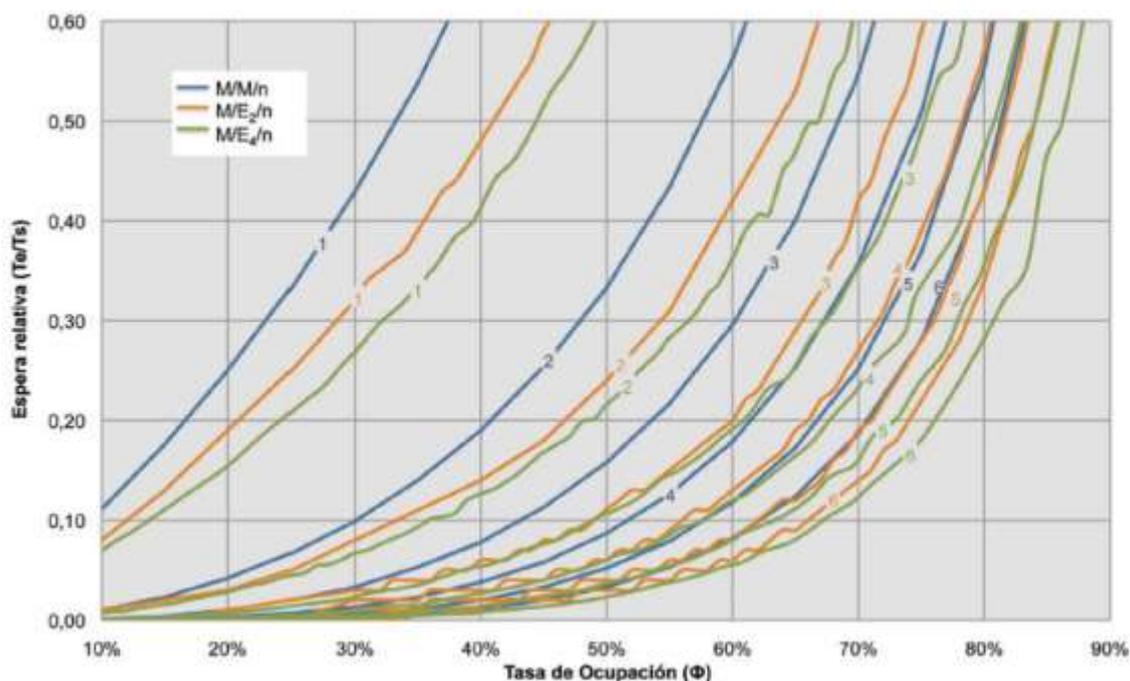


Gráfico 6 - Correspondencia de las tasas de ocupación y la espera relativa de los sistemas $M/M/n$, $M/E_2/n$ y $M/E_4/n$ de 1 a 6 ataques. Fuente: Fundación ValenciaPort a partir de los datos de UNCTAD (1984), Agerschou (2004) y Aguilar y Obrer-Marco (2008).

Tasa de ocupación (para $T_e/T_s=0.1$)	n=1	n=2	n=3
$M/E_4/n$	14%	36%	49%

Tabla 18 - Valores de la tasa de ocupación admisible obtenidos del gráfico 6. Fuente: elaboración propia.

Factor de conversión (F): puesto que el factor de la productividad se encuentra expresado en contenedores y las unidades que realmente interesan al futuro operador son los TEUs, es necesario aplicar un factor de conversión que permita reflejar el resultado final en estas unidades.

Para este caso, el dato ha sido obtenido acogiendo a los datos de la totalidad de tráfico de mercancía en contenedor en Algeciras de los años 2007-2009 en unidades de TEUs y contenedores, proporcionadas por *Puertos del Estado* para finalmente, efectuar una media aritmética para obtener un resultado único.

	TEU	Cajas	Factor
Tráfico en 2009	3043268	1974389	1,54137204
Tráfico en 2008	3327616	2190090	1,51939692
Tráfico en 2007	3420533	2264369	1,51058993
			1,5237863

Tabla 19 - Obtención del factor de conversión contenedor-TEU de los último ejercicios de los que se tiene información de Algeciras. Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que ese valor es muy próximo al que se estima de media para las terminales de contenedores en España, el cual es de 1,5 (Mofort *et. al.*, 2011).

Horas de operatividad anuales (Taño): son las horas al año en las que la terminal se encuentra en operativo. En el caso de la nueva terminal, se trabajará las 24 horas del día, los 7 días a la semana durante 364 días al año, con el fin de obtener el máximo rendimiento de la terminal.

Ello hace un total de 8.734 horas al año.

La productividad anual media del buque atracado (P) relaciona la producción anual (expresada en movimientos de contenedores) y la suma de los tiempos brutos de atraque en un periodo anual. En dicho indicador contribuyen tanto los contenedores origen/destino terrestre y los transbordos, los cuales se computan a la carga y a la descarga.

Este valor es función de los siguientes aspectos:

- Número y tipo de grúas empleado y de su productividad.
- Tamaños de escalas de manera que se trabaje el buque de manera masiva y no selectiva, por lo que mayor productividad se tendrá.
- De los tiempos muertos, donde no se genera productividad alguna.
- Distribuciones de buques de distintas capacidades y de sus productividades a la hora de ser atendidos por las grúas.

Se trata pues, de un parámetro muy difícil de estimar dado que depende de muchos parámetros. En España se estima un valor de 25 mov/h de media para unas grúas sin sistema double trolley. No obstante, se va a proceder al cálculo de este parámetro para la terminal que se encuentra justo al lado, la TTI Algeciras, una terminal semiautomatizada de la cual se tiene información suficiente para su obtención y así de esta forma, pueda obtenerse un valor verídico para la nueva terminal:

Atendiendo a los datos proporcionados por la página web de la terminal de contenedores TTI Algeciras, así como los datos de eslora de buque tipo y separación obtenidos de la ROM 2.0-11, se tienen los siguientes datos de partida:

DATOS TTI ALGECIRAS + ROM 2.0 11

Capacidad línea de atraque (TEU/año)	1800000
Longitud línea de atraque (metros)	850
Eslora buque tipo (tipo buque ROM p. 242)	400
Longitud de separación (resguardos en metros ROM p. 80)	20
Te/Ts (espera relativa): asumida por bibliografía	0,1
Factor de conversión contenedor-TEU 20'/40'-50/50	1,52
Taño (horas operativas de la terminal al año)	8734

Tabla 20 - Datos de capacidad de atraque iniciales TTI Algeciras. Fuente: elaboración propia.

Con estos datos es posible la obtención del número de atraques con la fórmula mostrada en el presente apartado. Ello da un total de 2 atraques.

Sin embargo, la forma de proceder a la hora de obtener la tasa de ocupación admisible no será la misma. Todas las terminales analizadas por Obrer Marco, R. en su tesis doctoral estaban diseñadas teniendo en cuenta una distribución de llegadas aleatorias, por lo que se considerará de la misma forma para el caso de estudio. Por otro lado, los tiempos de servicio se ajustan más a una Erlang 4 o superior. En definitiva, los valores para entrar al gráfico mostrado a continuación son los de espera relativa de 0.1 y las distribuciones $(M/E_4/2)$:

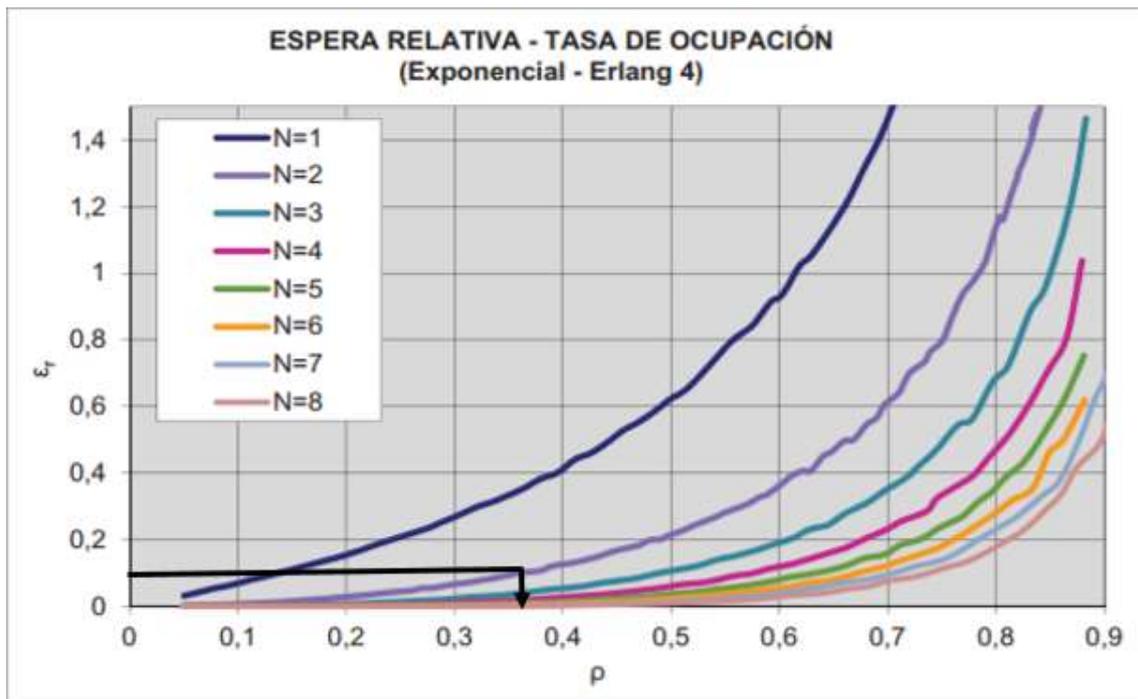


Gráfico 7 – Ábaco ϕ - ε cuando las llegadas se distribuyen según una función exponencial y las duraciones de servicio según una Erlang 4 y un muelle compuesto entre 1 y 8 atraques. Fuente: Aguilar, J. y Obrer, R. (2015).

Con ello se obtiene una tasa de ocupación del 36% y ya se puede entrar a la fórmula de la capacidad de atraque para la obtención de la productividad anual media de buque atracado:

$$C_{LA} = N * \phi * T_{año} * P * F$$

$$1.800.000 = 2 * 0.36 * 8734 * P * 1.52 \rightarrow P = 187 \frac{mov}{h}$$

Dado que la TTI Algeciras tiene un total de 8 grúas, también es posible la obtención de la productividad por grúa:

$$P_{GRÚA} = \frac{P}{n^{\circ} grúas} = \frac{187}{8} \approx 23 \frac{mov}{grúa}$$

Por tanto, se asumirá un valor de 25 mov/hora como valor de productividad de cada una de las grúas de la terminal y ello permitirá la obtención de las productividades medias anuales, teniendo en cuenta los tiempos muertos para los 3 casos que se han planteado al inicio del apartado:

- Para el buque Malacamax, se sabe que solamente podrá ser atendido uno por escala, pero a su favor está que todas las grúas estarán disponibles para él. Por ello, el valor de P asignado para este caso es de 150 mov/h.
- Para el buque Post-Panamax podrán ser atendidos dos a la vez, lo cual llevaría a repartir las grúas entre ambos buques en función del trabajo que lleve la escala de cada uno, mientras que, si solo se atiende a uno, este tendría disponibles 3 de las 6 grúas. Por ello, se ha decidido asignar un valor de 75 mov/h para este caso.
- Para el caso de los buques feeder propuesto, podrían ser atendidos hasta 3 buques a la vez. Se ha estimado que, como máximo, solo podrán operar 2 grúas a la vez en un mismo buque por la limitación de la eslora. Asimismo, las escalas para estos buques son más cortas por lo que la productividad es menor. Por ello, la productividad que se asociará a este caso será de 50 mov/h.

Una vez obtenidos todos los datos, se recoge un esquema del procedimiento seguido y la tabla en la que se recogen todos los datos obtenidos más el resultado de la capacidad por línea de atraque para cada caso de buque tipo:

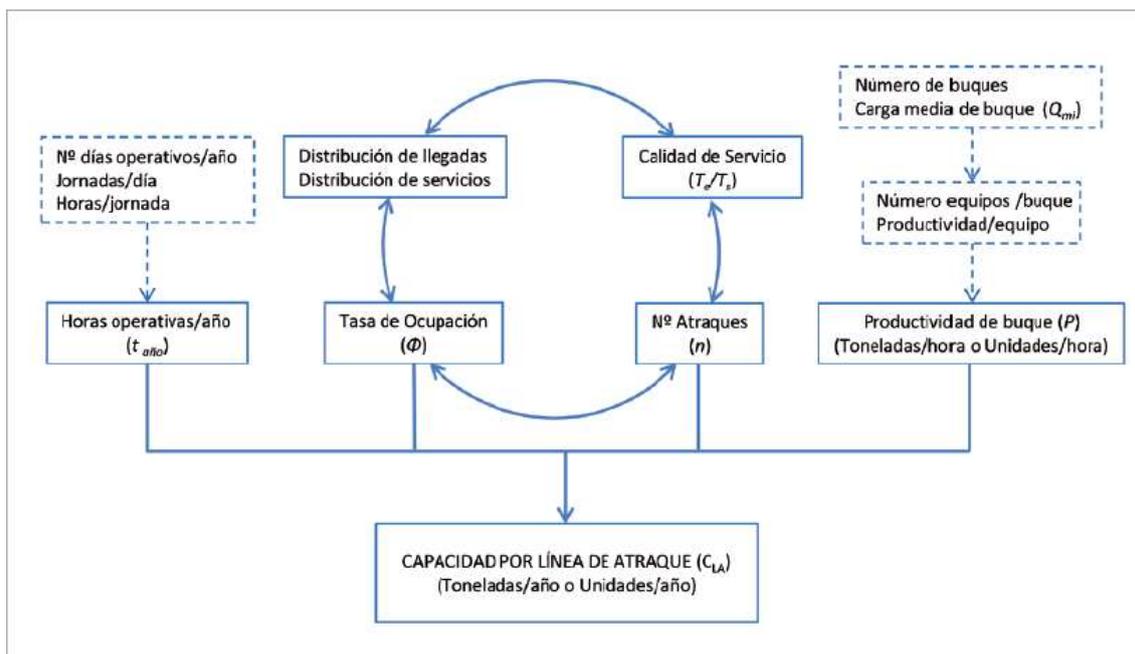


Figura 61 - Esquema para la obtención de la capacidad por línea de atraque de una terminal de contenedores. Fuente: Fundación Valenciaport.

Capacidad línea de atraque			
Eslora buque tipo	Malacamax 470 metros	Post-Panamax 290 metros	Feeder 148metros
n (número de atraques)	1	2	3
ϕ Tasa de ocupación admisible (%)	14	36	49
Productividad media (mov/h)	150	75	50
Taño (horas operativas de la terminal al año)		8760	
Factor de conversión contenedor-TEU 20'/40'		1,52	
Capacidad línea de atraque (TEU/año)	279.620	719.021	978.668

Tabla 21 - Resultados de la capacidad de atraque para los distintos tipos de buque. Fuente: elaboración propia.

A la vista de los resultados, cabe destacar que las consideraciones de 2 y 3 atraques superan considerablemente las condiciones de tráfico mínimo de 400.000 TEUs/año requerido en el BOE para los 5 primeros años. De ahí en adelante, esa capacidad debe incrementarse un 5% cada año hasta alcanzar la cifra de 800.000 TEUs/año, como mínimo y ambas supuestos se encuentran alrededor de la cifra tope exigida.

Finalmente, y dado que se trata del valor más bajo de los 2 obtenidos, se supondrán 2 atraques con llegadas aleatorias y tiempos de servicio regidos por una Erlang 4.

Una vez definido el valor de la productividad media de buque atracado, ya es posible determinar el número de equipos de interconexión necesarios para conectar el patio con la puerta marítima. Por un lado, se conoce que la productividad media de cada grúa es de 25 mov/h.

Por otro lado, también se conoce en base al artículo de investigación *The Design and Assessment of Next Generation Automated Container Terminals* la productividad de estos equipos de interconexión por grúa de muelle gracias a los estudios efectuados en un escenario pico tal y como puede verse en el siguiente gráfico:

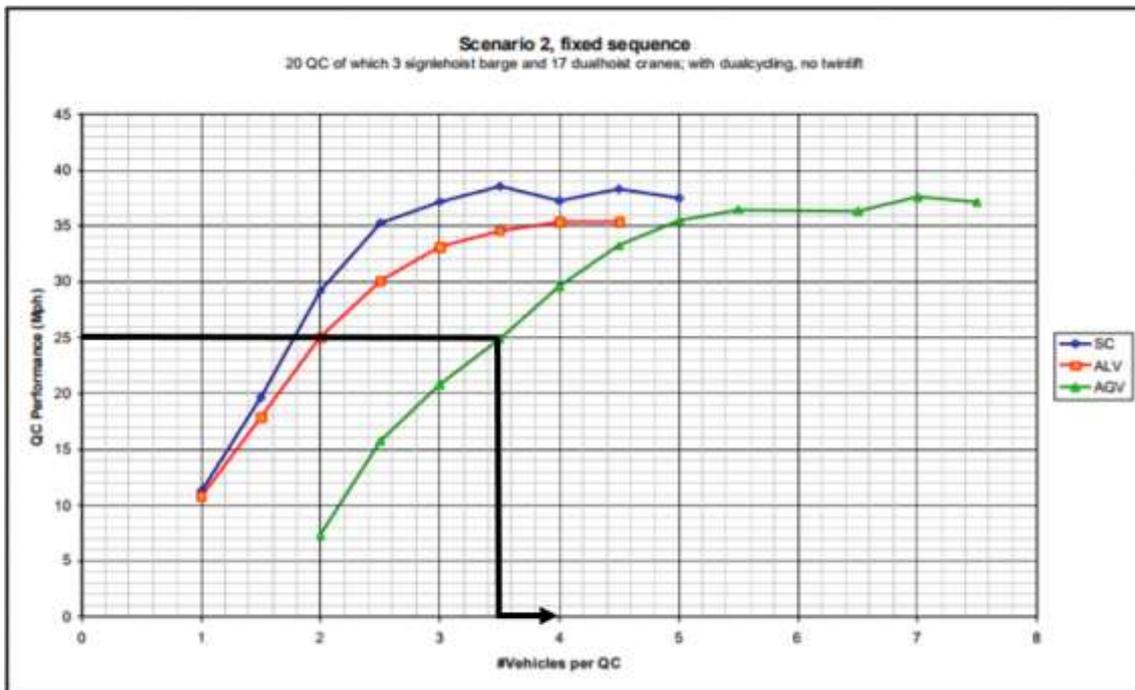


Gráfico 8 - Productividad de los equipos de interconexión en la puerta marítima en un supuesto de escenario pico. Fuente: *The Design and Assessment of Next Generation Automated Container Terminals*.

Ello da un total de 4 equipos de interconexión, por tanto:

$$N^{\circ} \text{ equipos necesarios} = 4 * 6 \text{ grúas} = 24 \rightarrow 28 \text{ equipos}$$

Se ha decidido introducir 4 equipos más de los necesarios con la finalidad de cubrir posibles imprevistos, tales como averías. De estos 28 equipos, 14 tendrán plataforma para albergar un contenedor de 20 pies y los 14 restantes con plataforma con diferentes alternativas de carga:

- 1 contenedor de 45 pies
- 1 contenedor de 40 pies
- 1 contenedor de 30 pies
- 2 contenedores de 20 pies

6.2.4 Capacidad de almacenamiento

La capacidad por superficie o subsistema de almacenamiento (Monfort *et. al.*, 2011), depende de los siguientes factores:

- La densidad superficial y productividad del sistema de almacenamiento
- La altura de apilado
- Los tiempos de estancia de la mercancía
- La estacionalidad del tráfico
- La forma y dimensión en planta de la terminal; y
- La gestión del patio (en particular, el nivel de desarrollo del TOS)

Es por ello que esta zona debe dimensionarse de acuerdo a la disponibilidad de suelo, pero también acorde a los niveles de servicio exigidos, teniendo en cuenta flujos y rendimientos del resto de subsistemas.

Asimismo, en la gestión del patio, suelen definirse distintas zonas para los contenedores frigoríficos, vacíos o para contenedores especiales (mercancías peligrosas, sobredimensionados, ...) por lo que deberá tenerse en cuenta.

A continuación, se muestra un esquema donde se incluyen los conceptos necesarios para calcular la capacidad de almacenamiento:

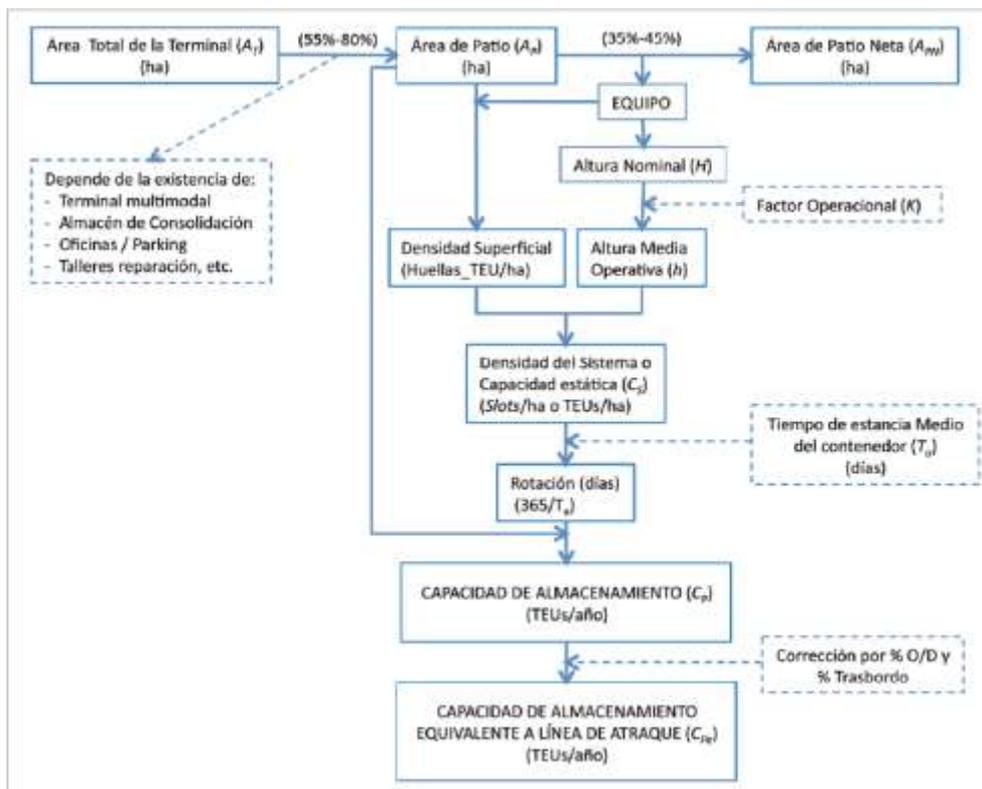


Figura 62 – Esquema para la obtención de la capacidad de almacenamiento en una terminal de contenedores. Fuente: Fundación Valenciaport.

Para el cálculo de la capacidad de almacenamiento en una terminal de contenedores cualquiera puede emplearse la siguiente ecuación:

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

Donde:

- C_p : capacidad anual de almacenamiento de la terminal (TEUs/año).
- h : altura operativa media de apilado.
- T_a : tiempo de estancia medio de los contenedores en el área de almacenamiento.
- $N^{\circ}\text{Huellas_TEU}$: número de slots marcados en tierra de capacidad un TEU que puede albergar una terminal. Se asumirá como slots un rectángulo de 15 m² (2.5 x 7 metros).
- K : factor operacional para el sistema de almacenamiento empleado para minorar la altura máxima, con el fin de poder trabajar en condiciones operativas y no realizar excesivas remociones, lo cual se traduce en movimientos improductivos.

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, se va a llevar a cabo un análisis comparativo de la capacidad de almacenamiento, atendiendo fundamentalmente a dos factores: uno, la tipología de grúa de patio a utilizar (ASC Pasantes o ASC Gemelas No pasantes); y dos, a la disposición de los bloques en dicho patio (perpendicular o paralela a la línea de atraque) con la finalidad de escoger la mejor combinación para este caso.

Así pues, de la misma forma que con la capacidad por línea de atraque, se van a determinar uno a uno los factores de los que depende:

Tiempo de estancia medio de contenedores (Ta): se trata de un parámetro que varía en función del tipo de contenedor. No obstante, al tratarse de una terminal dedicada, el operador deberá tener muy en cuenta este dato dado que la capacidad de almacenamiento es muy sensible al variar este valor.

Según el *Manual de Capacidad Portuaria*, el tiempo de estancia del contenedor de transbordo lleno es de unos 7 días y el de transbordo vacío de 20 días. Por otro lado, se han consultado los datos de la memoria anual de 2015 del puerto de Algeciras, obteniéndose los siguientes datos relativos a contenedores:

Contenedores equivalentes a 20 pies (1TEU)	
Con carga	3.454.589
Vacíos	689.447
Totales	4.144.036

Tabla 22 - Valores en TEUs de la relación de contenedores llenos y vacíos en tránsito en Algeciras 2015.
Fuente: memoria anual 2015 puerto bahía de Algeciras.

Así pues, con los valores de tiempos de estancia medios para cada tipo de contenedor del Manual y las estadísticas obtenidas de la Memoria Anual del Puerto de Algeciras, puede obtenerse un tiempo de estancia medio resultado de una media ponderada entre los contenedores con carga y vacíos para poder introducirlo en la fórmula:

$$T_a = \frac{\text{llenos en 2015} * T_{a,\text{llenos}} + \text{vacíos en 2015} * T_{a,\text{vacíos}}}{\text{Contenedores totales 2015}} \rightarrow$$

$$\rightarrow T_a = \frac{3.454.589 * 7 + 689.447 * 20}{4.144.036} \approx 6 \text{ días}$$

Altura media de apilado (h): de acuerdo a los equipos ASC a escoger, la altura media de apilado será la máxima a la cual puede apilar cada uno de los sistemas. Esto es, 4 alturas para la tipología ASC pasante y 5 para el caso de las gemelas.

Factor operacional (K): este dato depende en gran medida de la altura de apilado, es decir, cuanto mayor sea esta, mayor número de remociones deberán llevarse a cabo para alcanzar un contenedor determinado. Por otro lado, también es sumamente importante la planificación dado que un contenedor que debes despachar antes que otro no deberías situarlo en la parte baja de la pila. Ciertos autores han realizado estudios sobre este factor en función del equipo de patio empleado. Por tanto, el valor de dicho factor se decidirá según Wieschemann y Rijsenbrig (2004) de acuerdo a la siguiente tabla:

	Densidad superficial de patio (h. TEU/ha)	Altura máxima de apilado	Capacidad absoluta máxima (TEU/ha)	Factor operacional K (%)	Picos máximos de ocupación recomendados (%)	Media de capacidad (TEU/ha)	Capacidad en los picos (TEU/ha)	Capacidad estática de patio (TEUs/ha)
Reachstacker, bloques de 3 de ancho / 3 de alto	258	3	774	55	85	426	658	425
Straddle carrier 3 de alto (1 sobre 3) Espacio por fila contenedores: 4,1 m	265	3	795	60	80	477	636	475
RTG 6-ancho (1 sobre 4)	268	4	1.072	60	75	643	804	650
RTG 7-ancho (1 sobre 5)	286	5	1.430	55	75	787	1.073	800
RMG 9-ancho (1 sobre 4) Transferencia en las cabeceras de la pila	384	4	1.536	70	85	1.075	1.306	1.075
RMG 12-ancho (1 sobre 6) Transferencia en el lateral de la pila	291	6	1.746	60	85	1.048	1.484	1.050
WSG 18-ancho (1 sobre 5) + Buffers al lado de 3-ancho / 3-alturas	337	5	1.685	65	85	1.095	1.432	1.095
OBC 9-ancho o MT 10-ancho (1 sobre 4) Transferencia en las cabeceras de la pila	432	4	1.728	70	85	1.210	1.469	1.200
MT-stacker (8 profundo / 7 alturas)	375	7	2.625	65	90	1.706	2.363	1.700

Tabla 23 - Valores estimados del factor operacional en función del equipo de patio empleado por Wieschemann y Rijsenbrij (2004). Fuente: Manual de capacidad portuaria.

Para la tipología pasante, se ha decidido escoger un valor de 0.7. Por otro lado, para la tipología gemela no se tiene en dicha tabla un valor exacto de factor operacional, pero dado que es exactamente igual en ancho, pero permite una altura más de apilado, se ha decidido reducir dicho coeficiente a un valor de 0.6.

Número de huellas TEU: en cuanto al dimensionamiento de los bloques donde se ubicarán los contenedores, cabe destacar que se ha efectuado un diseño de tal forma que maximizase la capacidad de almacenamiento aprovechando la mayor cantidad de superficie posible para cada combinación. Dadas las dimensiones de la terminal, 710 x 510 metros, los espacios disponibles según la disposición son los recogidos en la siguiente tabla:

	Disposición perpendicular	Disposición paralela
Zona de operación marítima	70,5 metros	
Áreas de transferencia	45+30 metros	Un única zona central de 48 metros y 4 zonas de 20 metros.
Área de circulación para la recepción y entrega terrestre	Una única zona en lado terrestre de 69 metros	Dos zonas en los laterales de la terminal de 66 metros

Tabla 24 - Espacios disponibles para cada zona en función de la disposición escogida. Fuente: elaboración propia.

Ello da espacio para albergar bloques de 294 metros de longitud si se opta por una distribución perpendicular y de 166.1 metros si la distribución de bloques se realiza paralela a la línea de atraque. Estos bloques dan cabida a 9 huellas de 15 m² separados a una distancia de 0.3 metros por todos sus costados si se opta por las ASC gemelas y de 10 huellas si definitivamente se opta por las ASC pasantes. Por último, en cuanto a longitud y número de bloques, destacar que se ha tendido a agotar todo el espacio disponible en cada tipología (Ver Anejo nº1: Planos).

La tipología en orientación paralela a la línea de atraque compuesta por grúas ASC pasantes ha sido descartada, puesto que ocupa demasiado espacio, lo cual no la hace competitiva en número de huellas frente a las otras 3. Además, esta solución es más un método alternativo para otorgar una mayor eficiencia a la disposición perpendicular, por lo que no tiene sentido su aplicación en una orientación paralela.

Cabe destacar que cuanto mayor sea la superficie para albergar huellas, mejor, dado que la capacidad de almacenamiento es muy sensible al tiempo de estancia medio del contenedor. En el caso de una terminal pública, el operador se protege subiendo las tarifas a sus clientes a partir de un determinado tiempo de estancia marcado por él mismo. De esta forma, queda protegido frente a una posible saturación de la zona.

Por otro lado, si se habla de una terminal dedicada como es el caso, el operador no tiene esa estrategia de subida de precios puesto que los contenedores son suyos o de sus socios. Por ello, lo que debe hacerse en este caso es planificar muy bien todo el proceso para no llegar a este problema.

Una vez definidas las 3 combinaciones posibles, cabe destacar que al principio se comentó que la disposición paralela era una mejor opción para una terminal de transbordo que la opción perpendicular. También se comentó que las grúas pasantes darían un mayor rendimiento que las gemelas, puesto que tenían la ventaja de poder cruzarse una por debajo de la otra. No obstante, se decidió que el cálculo de la capacidad de almacenamiento diera la última palabra y a continuación se muestran los resultados obtenidos:

DISPOSICIÓN PERPENDICULAR AL MUELLE	
<i>CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO CON GRÚAS ASC GEMELAS NO PASANTES</i>	
Capacidad de almacenamiento (TEU/año)	1.208.880
Ta (tiempo de estancia medio de los contenedores en este área en días)	6
Nº huellas_TEU	6.624
H (altura operativa media de apilado)	5
K (factor operacional, según bibliografía entre 0,55-0,7) p. 170 manual	0.6
DIMENSIONAMIENTO DEL BLOQUE	16
bloque de contenedores (9x46 huellas)	414
Separación entre huellas (m)	0,3
Área total por bloque (m ²)	619
<i>CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO CON GRÚAS ASC PASANTES</i>	
Capacidad de almacenamiento (TEU/año)	974.307
Ta (tiempo de estancia medio de los contenedores en este área en días)	6
Nº huellas_TEU	5.720
H (altura operativa media de apilado)	4
K (factor operacional, según bibliografía entre 0,55-0,7) p. 170 manual	0.7
DIMENSIONAMIENTO DEL BLOQUE	13
bloque de contenedores (10x44) en huellas	440
Separación entre huellas (m)	0,3
Área total por bloque (m ²)	643
DISPOSICIÓN PARALELA AL MUELLE	
<i>CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO CON GRÚAS ASC GEMELAS NO PASANTES</i>	
Capacidad de almacenamiento (TEU/año)	939.510
Ta (tiempo de estancia medio de los contenedores en este área en días)	6
Nº huellas_TEU	5.148
H (altura operativa media de apilado)	5
K (factor operacional, según bibliografía entre 0,55-0,7) p. 170 manual	0.6
DIMENSIONAMIENTO DEL BLOQUE	22
bloque de contenedores (9x26 huellas)	234
Separación entre huellas (m)	0,3
Área total por bloque (m ²)	619
<i>CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO CON GRÚAS ASC PASANTES</i>	
<i>No se considera.</i>	

Tabla 25 - Tabla comparativa de los dos modelos de grúas de patio. Fuente: elaboración propia.

Viendo la comparación, se extraen las siguientes conclusiones:

- Atendiendo exclusivamente a las medidas de cada tipo de bloque, la tipología gemela en disposición perpendicular aventaja a las otras 2 combinaciones en unas 1.000 y 1.500 huellas, respectivamente.

- Por otro lado, esta disposición es la que ofrece mayores garantías a los tráficos mínimos exigidos en el contrato de concesión superando con creces dichos valores, siendo el de las otras dos combinaciones un tanto ajustadas.

En vista de los resultados obtenidos en la tabla anterior, se ha optado por la instalación de 16 bloques en disposición perpendicular al muelle, los cuales serán operados por dos grúas ASC gemelas cada uno, dando un total de 32 para toda la terminal.

En cuanto a la disposición de contenedores según tipos se delimitarán las siguientes zonas:

- Contenedores Reefer: se ha decidido ubicar dichos contenedores en las últimas filas de cada bloque, dado que las tomas de corriente se encontrarán en la zona de transferencia a modo terrestre.
- De la misma forma en la zona Sur de la terminal se ha habilitado una zona de 546 m² para poder almacenar 183 contenedores especiales (estilo open side, open top, flat rack, cisterna, ...) que por su constitución no es posible su apilado.
- En cuanto a los contenedores que alberguen mercancías peligrosas en su interior, cabe destacar que se ubicarán en función de sus medidas (sean de 20 o 40 pies) en las primeras filas de cada bloque en el lado del mar puesto que se trata de tipos de contenedores, que bien por sus características físicas o tipo de mercancía, conviene tenerlos separados.
- En cuanto a los bloques de contenedores, estos quedarán distribuidos al 50% atendiendo al resultado obtenido por el factor de conversión TEUs/contenedor obtenido en el apartado de capacidad por línea de atraque, es decir, 8 bloques para los contenedores de 20' y otros 8 para los de 40'.
- Por su parte, los contenedores vacíos se ha decidido que sean trasladados a un depósito externo para que sean revisados, reparados y almacenados hasta nuevo uso, especialmente en 3 puntos al año, en los cuales el flujo de contenedores vacíos con el de llenos se descompensa. Estos son Pascua, Navidades y verano.

En el anejo de planos, puede verse la distribución de los contenedores según tipo. (Ver anejo n°1: planos).

6.2.5 Subsistema de recepción y entrega

En el presente apartado, se detallará el dimensionamiento en planta del área destinada a que los camiones puedan entregar los contenedores que traigan consigo para ser transportados por mar, o bien recibir aquellos de importación para llevarlos a su destino final tierra adentro.

Por ello, se han diseñado un total de 6 carriles de circulación de 4 metros de ancho repartidos de la siguiente forma:

- 2 carriles de circulación de entrada
- 1 carril adyacente a los 2 de entrada.
- 2 carriles de circulación de salida.
- 1 carril adyacente a los 2 de salida.

El carril adyacente a los de entrada sirve para que el camión pueda apartarse de los carriles de circulación en el bloque donde le corresponda recoger o entregar el contenedor y así pueda maniobrar para entrar en el carril asignado para que el ASC realice la operación de recogida o depósito del contenedor.

Por su parte, el carril adyacente a los de salida solamente se empleará por los camiones que recojan contenedores de importación en el determinado caso de que, en la zona de recepción del contenedor con el ASC, el TOS de la terminal le haya dictaminado un circuito de contenedor amarillo o rojo en una pantalla situada en el carril, lo cual le obligará a pasar por aduanas, cuyo edificio se encontrará en esa zona.

Existen 3 tipos de circuito aduanero en el paso de un contenedor hacia el exterior de una terminal:

- Circuito verde: no se realiza control de ningún tipo, por lo que el camión podrá salir de la terminal sin necesidad de su paso por aduanas.
- Circuito amarillo: es obligado el paso del camión por aduanas para una inspección documental del contenedor.
- Circuito rojo: también es obligado el paso del camión por aduanas, aunque esta vez se lleva a cabo una inspección física del contenedor además del control documental citado en el circuito amarillo.

Ello se le indicará al conductor del vehículo en pantalla una vez recoja el contenedor del área de almacenamiento. En el anejo de planos se detalla el dimensionamiento del subsistema de recepción y entrega (Ver anejo nº1: Planos).

Por su parte, el dimensionamiento de la zona de acceso a la terminal desde el exterior se abordará en el apartado de acceso terrestre, el cual viene a continuación.

6.3 Acceso terrestre

El puerto Bahía de Algeciras es estadísticamente el puerto con mayor movimiento dentro del territorio español. No obstante, la gran mayoría del tráfico que genera no es soportado por la red viaria del país, puesto que este es de transbordo, es decir, la gran mayoría de los contenedores que entran en el puerto Bahía de Algeciras por vía marítima vuelven a irse por vía marítima tras un determinado tiempo de estancia.

Aun así, existe un mínimo de tráfico de importación que el puerto debe atender. Tal y como puede verse en la siguiente imagen, los accesos al puerto de Algeciras por carretera son 3 principalmente: el desdoble de la A-7 (Autopista del Mediterráneo), la A-381 hacia Jerez de la Frontera y Sevilla y la N-340 en dirección Cádiz.

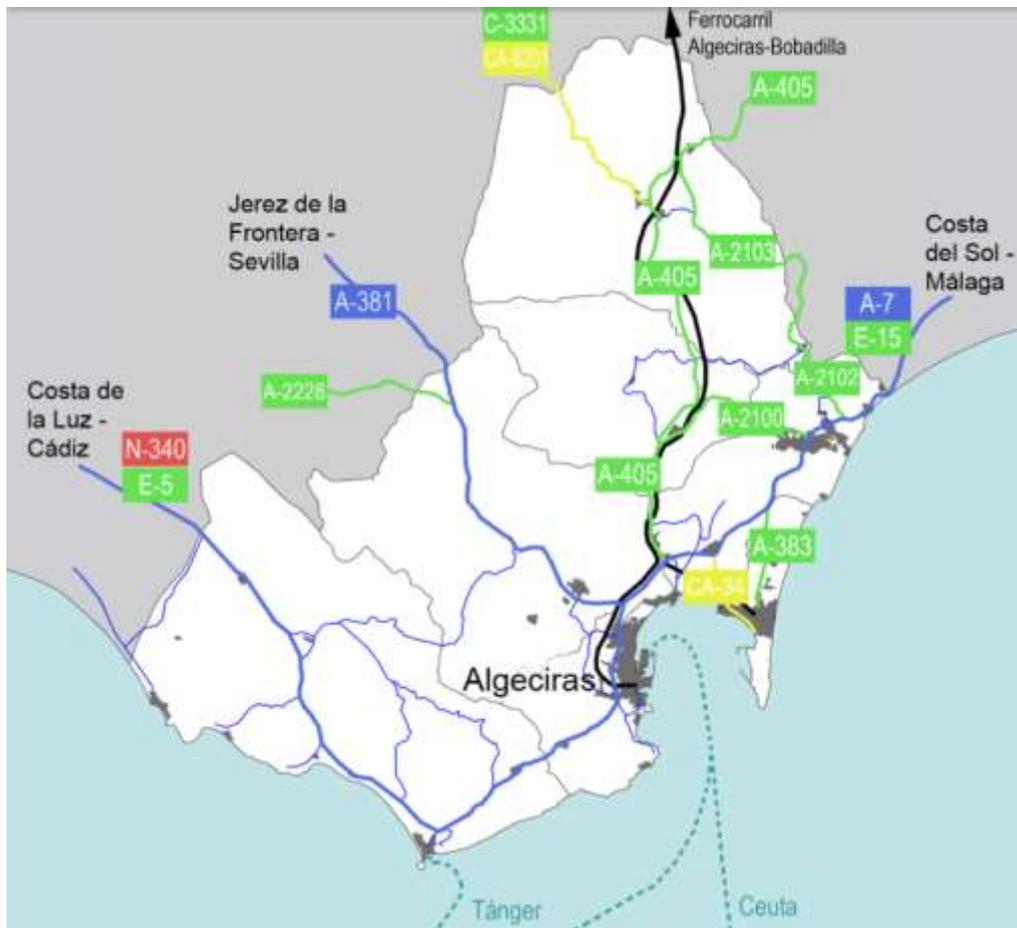


Figura 63 - Conexiones terrestres principales del puerto Bahía de Algeciras con el exterior. Fuente: skyscraperCity.

El desdoblamiento de la A-7 fue un hito muy importante, puesto que permitió la conexión directa del puerto con el eje del Mediterráneo. Por otro lado, la penetración de la actividad portuaria con su hinterland y el resto de España se vio reforzada con la culminación de la A-381, autovía que conecta la comarca del Campo de Gibraltar con Jerez y Sevilla. Por último, los accesos Norte y Sur al puerto futuros facilitará la accesibilidad de las mercancías por la zona Oeste y su enlace con la N-340.

Para acceder a la nueva terminal, los camiones deben conducir por cualquiera de las entradas mostradas en la imagen anterior, dependiendo de cual fuera su origen, e introducirse en el puerto hacia el Muelle Isla Verde. Una vez llegado a este punto, entrando a la glorieta final de la Calle Gaitán de Ayala, a mano derecha tendrán la nueva terminal.



Figura 64 - Ubicación de la entrada de la nueva terminal. Fuente: elaboración propia.

Puesto que no se dispone de datos acerca de la entrada de vehículos con carga containerizada al puerto, se va a llevar a cabo una estimación partiendo de la capacidad de almacenamiento obtenida en el apartado anterior, cuyo valor es de 1.208.880 TEU/año.

Partiendo de los datos obtenidos por Puertos del Estado sobre Algeciras plasmados en el apartado 3 de la presente memoria se tiene que, del total de contenedores registrados en 2016, únicamente el 8% de los mismos era de importación/exportación. Ello da lugar a que la capacidad del sistema de recepción y entrega parte de un valor de 96.720 TEU/año.

Sin embargo, debe aplicarse el factor de conversión TEU-contenedor de 1.52 del apartado de la capacidad de almacenamiento para tener una idea sobre el número de recipientes que pueden llegar a la terminal. Ello da un valor de 64.480 contenedores/año.

Una vez se tiene el número de recipientes que va a recibir la terminal durante la temporada, bien es sabido que dicho flujo no va a repartirse de forma equitativa a lo largo de los 360 días que permanece operativa. Por ello y con la finalidad de considerar picos de llegada más elevados en determinadas temporadas, se tendrán en cuenta un

total de 260 días laborables. Así pues, el cociente entre ambos términos dará el valor de la IMD:

$$IMD = \frac{\text{Contenedores anuales}}{\text{Días considerados}} = \frac{64.480}{260} = 248 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

En cuanto a la proporción de contenedores llenos/vacíos, para el caso de Bahía de Algeciras es de un 85/15, teniendo en cuenta los datos obtenidos de la memoria anual de 2015.

Dado que no se tienen registros acerca de la intensidad media horaria y, de la misma forma que con la distribución de los contenedores durante el año, sería un error considerar que los camiones llegan de forma equitativa cada hora. Las horas de mayor tráfico por las puertas de una terminal de contenedores suelen ser a las 9:00h y a las 18:00h. Por ello, se ha establecido un pico máximo de 100 camiones de intensidad dentro del periodo de una hora.

Por otro lado, cabe decir que es necesario la instalación de portones para las zonas de entrada y salida de la terminal por condiciones de seguridad. Las instalaciones deben ser de fácil acceso, amplio para poder maniobrar si es preciso y permitir amplia visibilidad.

Así pues, considerando que un camión es atendido en puerta en 1 minuto, cada puerta tiene capacidad para atender a 60 camiones cada hora. Partiendo de la intensidad pico de 100 camiones/hora, se obtiene el número de puertas necesarias:

$$N^{\circ}puertas = \frac{100 \text{ veh/hora}}{60 \text{ veh/hora}} = 1.66 \approx 2 \text{ puertas}$$

Es decir, para que no se produzca saturación en las puertas de la terminal, estas serán 2 de entrada y 2 de salida.

Asimismo, se ha decidido habilitar un pequeño parking de 20 plazas a la entrada de la terminal por las posibles inclemencias que se puedan derivar de la actividad (retrasos, asignación de bloque, ...). Para este parking se han destinado 1.050 m².

6.4 Instalaciones auxiliares

En el presente apartado se abordará la localización de determinadas instalaciones auxiliares necesarias para la operatividad de la terminal, las cuales se mencionan a continuación:

- Oficinas
- Talleres
- Servicios aduaneros

6.4.1 Oficinas

El área reservada para oficinas se ubicará en la zona Sur de la terminal, justo al lado de la entrada de vehículos a la terminal. En ella se desarrollarán las operaciones relacionadas con la terminal (manejo de las grúas de muelle y supervisión del TOS), así como lo relacionado con temas administrativos. Se construirá un edificio de planta rectangular de 6.300 m² y se habilitarán 20 plazas de aparcamiento cercanas a la entrada para todo el personal.

6.4.2 Taller y parking de maquinaria

El taller y el parking de maquinaria también estarán ubicados en la zona Sur de la terminal, donde se ha reservado una zona de 17.700 m² entre las áreas reservados para oficinas y contenedores especiales.

Asimismo, se han habilitado 4 carriles, dos de entrada y dos de salida, con las mismas características que los del área de operación entre la zona reservada a contenedores especiales y la del último bloque del patio de contenedores para que los vehículos de interconexión puedan acceder a ella si necesitan alguna reparación, realizar los cambios de batería o aparcar durante los 5 días al año que no están en movimiento.

6.4.3 Aduanas

Ya se comentó el protocolo a seguir en el caso de que un contenedor de importación diese lugar a un circuito amarillo o rojo en base a los datos que maneja el TOS. Una vez en esta situación, el conductor debe acudir a aduanas. Por ello, en el recorrido de vuelta existe un carril adyacente a los dos de salida que el conductor debe utilizar. Una vez en él, a unos 130 metros de la salida podrá salir del mismo y maniobrar para acceder al aparcamiento que le haya designado el TOS, y así proceder a la inspección pertinente.

Para el desarrollo de esta actividad, se ha reservado una zona de 3.650 m², la cual incluye las instalaciones de aduanas más 20 plazas de inspección para camiones y 14 plazas de aparcamiento para el personal de aduanas.

6.5 Redes y servicios

6.5.1 Iluminación

Para llevar a cabo el diseño de la red de iluminación, debe asegurarse un nivel de luz no inferior a 20 lux en los puntos en los que se muevan equipos de interconexión, camiones y vehículos de los operarios de la terminal. Por su parte, en la zona de almacenamiento no será necesaria la instalación de alumbrado, puesto que los equipos de grúas automáticas ASC ya poseen su propia iluminación. Por tanto, se colocarán farolas de báculo doble entre bloque y bloque de contenedores para garantizar la iluminación necesaria en las zonas de interconexión de mar y tierra con patio.

Por otro lado, los carriles que forman parte de la entrada de camiones a la terminal además de la entrada de los vehículos de interconexión a talleres y los accesos a oficinas también serán iluminados con farola de un solo báculo cada 40 metros.

Por último, para las zonas reservadas para instalaciones auxiliares, se llevará a cabo una entrada formada por una toma de electricidad, contador y cuadro de mando y protección correspondiente. Asimismo, la instalación se realizará en paralelo con la finalidad de que no se vea afectada en su totalidad en el caso del fallo de un solo elemento. En el anejo de planos de la presente memoria un plano con la distribución de la red eléctrica de la terminal.

6.5.2 Red de posicionamiento

Esta red resulta imprescindible para que el TOS de la terminal conozca en cada momento la localización de todos y cada uno de los equipos automáticos que se encuentran en la terminal y, de esta forma, los operarios de oficinas tengan conocimiento de ello. Se empleará cableado de fibra óptica para cumplir tales funciones. (Ver anejo nº1: planos).

6.5.3 Red de contraincendios

Es imprescindible la construcción de una red de extinción de posibles incendios que puedan producirse en la terminal, puesto que se trabaja con mercancía peligrosa y maquinaria impulsada por energía eléctrica.

Por ello, se ubicará un punto de toma situado en el punto situado más al sur de la terminal en el área de operaciones, donde una bomba de extracción tomará agua de mar. Las tuberías que forman parte de la conducción serán de PVC y se dispondrán en ciertos pasillos de las áreas de almacenamiento y operación para prestar especial atención a los contenedores de mercancías peligrosas, así como en las instalaciones auxiliares de la terminal desde donde se ubicarán hidrantes para atender aquellas que pudieren ser afectadas.

Por último, destacar que en cada codo de la canalización se colocará una válvula de mariposa con el objetivo de que el agua fluya hacia el lugar donde se la necesita lo más rápido y efectuando el menor recorrido posible. (Ver anejo nº1: Planos).

6.5.4 Red de abastecimiento de agua

Para la red de abastecimiento de agua potable a la terminal, cabe destacar que se conectará a la Red General que suministra la Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras a partir de una toma.

Las tomas con los edificios a los que se le pretende suministrar (oficinas, taller y aduanas) estarán conformadas con tuberías de PVC, mientras que aquellas destinadas a la distribución y transporte lo serán de polietileno de alta densidad. El uso de estos

materiales se justifica en la medida de que son inmunes a ataques químicos e impiden el crecimiento de microorganismos bacterianos en su interior.

Las tuberías horizontales se asegurarán de tal forma que queden fijas y cumplan siempre con la pendiente correspondiente mediante una envoltura de hormigón no inferior a 15 cm. Lo mismo les sucederá a las tuberías verticales.

Por último, se colocarán arquetas en las tuberías y pozos de registro en cada codo con la finalidad de asegurar el recorrido del agua. En el anejo nº1: Planos, se muestra el recorrido en planta de dicha red a falta de un dimensionamiento más preciso.

6.5.5 Redes de drenaje

En el presente apartado se tratará los recorridos que deberán realizar, así como los componentes necesarios de la red de recogida de pluviales o superficial (aguas blancas) y de la red de saneamiento (aguas negras).

6.5.5.1 Red de pluviales

Este sistema se construirá con la finalidad de recoger las aguas provenientes de la escorrentía generada por la lluvia y ser conducidas a través de sus tuberías al mar, garantizando de esta manera la evacuación de las mismas y evitando que puedan estancarse en zonas que dificulten o impidan el correcto funcionamiento de las instalaciones. Para que esto sea posible, es necesario dotar al terreno de las pendientes consecutivas para que el agua sea evacuada única y exclusivamente por la acción de la gravedad hacia los sumideros proyectados.

El material empleado deberá ser polietileno de alta densidad, material con buena resistencia, flexible, liviano y lo más importante, resistente a los agentes químicos y a la abrasión dado que, al encontrarse tan próximo al mar, resulta imprescindible el empleo de un material de esta composición.

6.5.5.2 Red de saneamiento

Esta red tiene como finalidad de recoger las aguas residuales generadas en los edificios a los que se les deba suministrar agua potable, estos son:

- Oficinas
- Taller
- Aduanas

Como elementos que vayan a formar parte de la red, se destaca que el material de las tuberías será PVC, se añadirán sifones para evitar los malos olores que se achacan a esta zona y se ubicarán arquetas de registro en todos los codos que desarrolle la misma.

En el anejo de planos de la presente memoria se podrá ver la ubicación de ambas redes de drenaje en la terminal (Ver anejo nº1: Planos).

7. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el trabajo, es de especial interés mencionar una serie de conclusiones que se han ido extrayendo a lo largo del proceso del proceso de elaboración del mismo:

- Tras repasar la configuración de decenas de terminales de contenedores repartidas por todo el mundo es importante recalcar que este está cambiando, los países costeros están apostando por la tecnología en sus puertos y es imprescindible que España siga esa tendencia que comenzó con las terminales semiautomatizadas de BEST, en Barcelona y TTI, en Algeciras.
- Haciendo referencia a la primera conclusión, para el caso de Algeciras es vital ya que, al tratarse de un puerto puro de transbordo y la volatilidad que tiene asociada este tipo de contenedor. Con la apertura de Tanger Med II, el tráfico en este puerto se reducirá si no se toman este tipo de medidas.
- Los gráficos correspondientes a los valores de tráfico en el puerto donde se pretende ubicar la terminal van en aumento año a año, teniendo en cuenta que en 2015 se superaron los 100 millones de toneladas en mercancía, este es un puerto idóneo para albergar una nueva terminal.
- Una vez concluidos los cálculos de capacidad, queda claro que estos cumplen los requisitos técnicos establecidos en el Boletín Oficial del Estado.
- En cuanto a la configuración de patio, se opta por la distribución de los bloques de contenedores de forma perpendicular a la línea de atraque dado el mayor número de huellas que con esta se obtiene, además de la proximidad de las zonas de transferencia a la línea marítima, lo cual permite que los recorridos a implementar al TOS para los AGV sean más sencillos, traducándose en una planificación más sencilla y una reducción en costes.
- La zona de transferencia es más grande (15 metros más) en la puerta marítima que en la terrestre puesto que, al tratarse de una terminal donde el tráfico de transbordo va a predominar sobre el import/export de forma clara, el tráfico tenderá a concentrarse en la puerta marítima, por lo que es mejor dotar esa zona de una mayor superficie.

8. REFERENCIAS

Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras. *Memoria Anual Algeciras Port 2016*. <<http://www.apba.es/bundles/common/docs/publicaciones/memoria-anual-2016.pdf>>. [en línea]. Consulta: 12/11/2017.

Bromma Spreaders (2016). *Spreader de elevación doble para grúas móviles portuarias EH170U*. <https://bromma.com/images/PI_sheets/Spanish_Files/PI_EH170U_160610_esmx.pdf>. [en línea]. Consulta: 24/09/2017.

Camarero, A y Cazalla, R. (2016). *Automatización de terminales portuarias: Evolución Tecnológica*. Universidad Politécnica de Madrid y Universidad de Cádiz. <<http://www.cidesport.com.br/sites/default/files/a52693.pdf>>. [en línea]. Consulta: 30/09/2017.

Características del Sistema Operativo de Terminal Navis N4. *Navis N4, una herramienta de gestión operacional para los puertos marítimos más avanzados del mundo*. <<https://logisticamuialpcsupv.wordpress.com/2015/02/22/navis-n4-una-herramienta-de-gestion-operacional-para-los-puertos-maritimos-mas-avanzados-del-mundo/>>. [en línea]. Consulta: 07/12/2017.

Coma, M. *Influencia de los sistemas de automatización aplicados en la gestión de las nuevas terminales de contenedores*. Director: D. Jesús E. Martínez Marín. Proyecto Final de Carrera. Universitat Politècnica de Catalunya, 2015.

Diagonal. *El deshielo abre la última frontera*. <<https://www.diagonalperiodico.net/saberes/31517-deshielo-abre-la-ultima-frontera.html>>. [en línea]. Consulta: 06/12/2017.

Díaz Gutiérrez, D. y Fernández Rubio, G. (2013). *Diseño preliminar para el establecimiento de una terminal de contenedores automatizada (TCA) en los Puertos Españoles*. Ingeniería Naval Académica [en línea]. Consulta: 11/11/2017.

Fernández Rubio, G. *Estudio de la viabilidad técnica y económica para el establecimiento de una terminal de contenedores automatizada en el Mediterráneo español*. Director: D. Gerardo Polo Sánchez. Tesis de investigación. Universidad Politécnica de Madrid, 2012.

Fernández San Luis, S. e Iglesias Pirla, F. *Infraestructuras portuarias: gestión y logística*. Director: D. Juan Antonio Rojas Manrique. Trabajo Final de Grado. Universidad de la Laguna, 2015.

Gottwald Port Technology (2011). *New Heights in Container Handling Gottwald Lift AGV*. <http://elit.terex.com/assets/ucm03_072226.pdf>. [en línea]. Consulta: 22/09/2017.

Jiménez Bayo, P. *Diseño de una terminal de contenedores semiautomatizada en la Ampliación Norte del Puerto de Valencia*. Tutor: D. José Aguilar Herrando. Trabajo Fin de Máster. Universitat Politècnica de Valencia, 2016.

Künz (2012). *APMT Maasvlakte II Automated Stacking Cranes*. <https://www.kuenz.com/fileadmin/user_upload/Maasvlakte-II_E.pdf>. [en línea]. Consulta: 22/09/2017.

Künz (2012). *CTA and CTB Hamburg Automated Stacking Cranes*. <https://www.kuenz.com/fileadmin/user_upload/CTA-CTB_E.pdf>. [en línea]. Consulta: 22/09/2017.

Libremercado. De Franco a Rajoy. Historia del monopolio de la estiba. <<https://www.libremercado.com/2017-02-17/de-franco-a-rajoy-historia-del-monopolio-de-la-estiba-1276592927/>>. [en línea]. Consulta: 25/11/2017.

Liebherr Ship to Shore Cranes (2010). *Technical Description STS Gantry Cranes*. <<https://es.scribd.com/document/362502372/liebherr-sts-cranes-technical-description-pdf>>. [en línea]. Consulta: 22/09/2017.

López González, A. *El contenedor, la terminal y métodos informáticos*. Director: D. Ricardo González Blanco. Trabajo Final de Carrera. Universidad de Barcelona, 2009.

Ministerio de Fomento (2011). *Recomendaciones para el Proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre*. ROM 2.0-11 Tomos I y II. Madrid, Puertos del Estado.

Monfort Mulinas, A. et. al. (2011). *Innovaciones tecnológicas y Gestión en Terminales Portuarias de Contenedores*. Valencia: Fundación Valenciaport.

Monfort Mulinas, A. et. al. (2011). *Manual de Capacidad Portuaria*. Valencia: Fundación Valenciaport.

Monografías. *Comercio Internacional*. <<http://www.monografias.com/trabajos13/comer/comer.shtml>>. [en línea]. Consulta: 12/10/2017.

Obrer Marco, R. *Nueva determinación de la capacidad de muelles en terminales de contenedores mediante técnicas de simulación*. Director: D. José Aguilar Herrando. Tesis de investigación. Universitat Politècnica de Valencia, 2015.

Orbita Ports & Terminals (2014). <*Advanced Port Automation Engineering OCR*. <http://www.orbitaports.com/>>. [en línea]. Consulta: 23/09/2017.

Puertos del Estado. *Estadísticas de tráfico históricas de diversos tipos de mercancía en el Puerto Bahía de Algeciras*. <http://www.puertos.es/es-es/estadisticas/Paginas/estadistica_Historicas.aspx>. [en línea]. Consulta: 20/09/2017.

Puertos del Estado. *Estadísticas de tráfico mensuales de diversos tipos de mercancía en el Puerto Bahía de Algeciras*. <http://www.puertos.es/es-es/estadisticas/Paginas/estadistica_mensual.aspx>. [en línea]. Consulta: 20/09/2017.

Soler Martínez, A. (2016). *Maritime Container Safety*. Valencia: Fundación Valenciaport.

Wikipedia. *Historia del Puerto Bahía de Algeciras*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Puerto_de_la_bah%C3%ADa_de_Algeciras>. [en línea]. Consulta: 15/09/2017.

Yáñez González, P. *Análisis de capacidad portuaria: intensidad media diaria de contenedores vs intensidad media anual de contenedores*. Director: Dña. María del Pilar Jiménez Gómez. Trabajo Final de Máster. Universidad Politécnica de Cartagena, 2014.

Youtube, "Asia first automated container terminal, at Port of Quindao, China". <<https://www.youtube.com/watch?v=bn2GPNJmR7A>>. Consulta: 10/12/2017.

Yvo Saanen et. al. (2003). *The design and assessment of next generation automated container terminals*. Delft University of Technology, Port Authority of Rotterdam and TBNederland.

<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.603.3867&rep=rep1&type=pdf>>. [en línea]. Consulta: 10/12/2017.

ANEJO DE PLANOS DEL DISEÑO DE LA TERMINAL