



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Productividad, nivel de servicio y
capacidad en terminales de contenedores.
El caso de la futura terminal Norte del
Puerto de Valencia.

Presentado por

Capella López, Álvaro

Para la obtención del

Master Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2019/2020

Fecha: Enero 2020

Tutor: Monfort Mulinas, Arturo

Cotutor: Gómez Martín, Maria Esther





ÍNDICE

1.	Introducción	8
2.	Conceptos básicos de una terminal marítima de contenedores.	9
2.1.	Tipos de terminales de contenedores portuarias según su conectividad	12
2.2.	Tipos de contenedores	12
2.3.	Equipos de manipulación y transporte de contenedores	14
2.3.1.	Grúas pórtico de muelle	14
2.3.2.	Grúas pórtico de almacenamiento	16
2.3.3.	Carretilla pórtico.....	18
2.3.4.	Grúas polivalentes	20
2.3.5.	Carretillas	20
2.3.6.	Cabezas tractoras con plataformas	21
2.3.7.	Remolque portacontenedor autocarga	22
2.3.8.	Multitrailer system	22
2.3.9.	Vehículos autoguiados.....	23
2.4.	Buques Portacontenedores	24
2.5.	Automatización de terminales	27
3.	Evolución del transporte marítimo y tráfico portuario en contenedor y de su gestión.....	29
4.	Conceptos de productividad, nivel de servicio y capacidad en terminales portuarias.	35
4.1.	Concepto de productividad	35
4.2.	Concepto de nivel de servicio.....	40
4.3.	Concepto de capacidad en terminales portuarias.	44
4.3.1.	En línea de Atraque	46
4.3.2.	Capacidad en el subsistema de almacenamiento	55
5.	Análisis de los factores que afectan a la capacidad	62
5.1.	En línea de Atraque	62
5.2.	En almacenamiento.....	66
6.	Métodos para el cálculo de la capacidad y su dimensionamiento	69
6.1.	Dimensionamiento de terminales portuarias con la formulación propuesta	69
7.	Aplicación al caso de nueva Terminal portuaria de Valencia.....	81
7.1.	Pliego del concurso: Parámetros relacionados con el cálculo de la capacidad.....	81
7.2.	Productividad, nivel de servicio y capacidad de la futura terminal de contenedores.....	84
	Propuesta 1 “Terminal Pequeña”	87
	Propuesta 2 “Terminal grande”	101
	Propuesta de “pre-diseño técnico y conceptual” realizada por la adjudicataria	116



8. Conclusiones	119
Referencias.....	122
ANEJO 1: TABLAS DE DATOS.....	124
ANEJO 2: PLANOS.....	129



ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Rendimiento operacional: Indicadores tipo y unidades.....	36
Tabla 2: Ranking de productividad por buque atracado de 2014 y comparativa con los años anteriores.....	38
Tabla 3: Propuesta de niveles de servicio para el subsistema de carga y descarga de buques o de línea de atraque.	42
Tabla 4: Límites para niveles de servicio para sistema M/E4/2 y atraque de 300 m, en cont/h.	43
Tabla 5: Límites para niveles de servicio para sistema M/E4/2 y atraque de 300 m, en TEUs/m.	43
Tabla 6: Características buques de reciente construcción.	49
Tabla 7: Propuesta de la ROM 2.1 para el cálculo de los resguardos en planta para línea de atraque.....	50
Tabla 8: Recomendaciones para la tasa de ocupación admisible en función del número de atraque y del sistema para terminales de contenedores ($T_e/T_s= 0.05$; $T_e/T_s= 0.1$ y $T_e/T_s= 0.2$)	52
Tabla 9: Capacidad de terminales de contenedores por línea de atraque en función del tamaño de la terminal y de la caracterización del tráfico.....	53
Tabla 10: Capacidad anual por metro de línea de atraque en función del tipo de tráfico, de la productividad de buque atracado y del número de atraque, para atraques de 300 metros.	54
Tabla 11: Densidad superficial según autor y equipo de almacenamiento.	59
Tabla 12: Valores de la capacidad estática de almacenamiento del patio de contenedores según el equipo.	59
Tabla 13: Densidad superficial, altura operativa media de apilado y capacidad estática de las terminales de contenedores según el tipo de equipo de almacenamiento.	60
Tabla 14: Valores de Capacidad obtenidos a partir de la gráfica anterior.	65
Tabla 15: Drewry: Capacidad unitaria por superficie obtenida con su modelo de capacidad teórica de terminales.	67
Tabla 16: Datos físicos y operativos de la Terminal de contenedores de la Dársena Sur del Puerto de Valle Verde.	71
Tabla 17: Evolución de la productividad a lo largo de la concesión.....	73
Tabla 18: Recomendaciones para la tasa de ocupación admisible en función del número de atraques y del sistema para terminales de contenedores.....	74
Tabla 19: Capacidades según las distintas productividades por buque atracado y por fases para el caso de la Terminal Sud del puerto de Valle Verde.	74
Tabla 20: Capacidad de almacenamiento de las TP y TD.....	77
Tabla 21: Capacidad de almacenamiento de la TP y TD de la Dársena Sur en función de los días de estancia.	79
Tabla 22: Recomendaciones para la tasa de ocupación admisible en función del número de atraques y del sistema para terminales de contenedores, en la propuesta 1.....	89
Tabla 23: Características ShC Modelo KALMAR FSH 240.	94
Tabla 24: Número de contenedores que dejan la zona de almacenamiento según el modo de transporte.	96
Tabla 25: Características SC Modelo KALMAR FSC 350	97
Tabla 26: Resumen de las grúas necesarias para cada uno de los casos, según espera relativa y productividad.	105



Tabla 27: Resumen de tiempo de estancias medio según la altura de apilado, y su capacidad correspondiente.....	109
Tabla 28: Número de contenedores que dejan la zona de almacenamiento según el modo de transporte.	110
Tabla 29: Resumen propuesta puesta en funcionamiento progresiva propuesta 2.	114
Tabla 30: Fases de desarrollo terminal por TIL.	116
Tabla 31: Capacidades según fases para la terminal propuesta por TIL.	118
Tabla 32: Resumen de los equipos utilizados para las propuestas 1 y 2.	119
Tabla 33: Resumen equipos de las tres propuestas.	120



ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1:Subsistemas de una terminal portuaria de contenedores.....	9
Ilustración 2:Ejemplo de la distribución de contenedores en zona de almacenamiento.	10
Ilustración 3: Puertas de acceso Terminal CSP Iberian del Puerto de Valencia.	11
Ilustración 4: Los tipos más utilizados de contenedores marítimos.....	14
Ilustración 5: Grúas pórtico de muelle	15
Ilustración 6: Evolución de los Buques portacontenedores.	15
Ilustración 7: Grúa RTG en una terminal portuaria.	16
Ilustración 8: Ejemplo Distribución Grúas pórtico de almacenamiento paralelas a línea de atraque y con pasillos perpendiculares.....	17
Ilustración 9: Grúa pórtico RMG.....	18
Ilustración 10: Modelo de Carretilla pórtico, o Straddle Carrier (SC).	19
Ilustración 11: Ejemplo Grúa polivalente en Puerto Sevilla.....	20
Ilustración 12: Resumen de tipología de carretillas.	20
Ilustración 13: Nuevas cabezas tractoras de la terminal de Algeciras.....	21
Ilustración 14: Remolque portacontenedor autocarga.	22
Ilustración 15: Multitrailer system.	22
Ilustración 16:Terminal con Vehículos Guiados automatizados.....	23
Ilustración 17: Vehículo Elevador Automatizado	24
Ilustración 18: Evolución del tamaño de los buques.....	25
<i>Ilustración 19: Ahorro de CO2 según velocidad del buque.</i>	<i>26</i>
Ilustración 20:Ubicación de los puertos automatizados del mundo.	27
Ilustración 21: Inicios de la navegación.....	29
Ilustración 22: Descarga buques mediante barcazas en puerto de Valencia.....	30
Ilustración 23: Evolución de los buques portacontenedores en los últimos 50 años.....	31
Ilustración 24: Evolución del layout de las terminales de contenedores 1965-1985.....	34
Ilustración 25: Definiciones de tiempos en el subsistema carga/descarga.	36
Ilustración 26: Ranking de productividad portuaria por zonas en los años 2011-12.....	37
Ilustración 27: Productividad por buque atracado en los principales puertos en 2014.	38
Ilustración 28: Esquema de los factores que afectan a la capacidad portuaria.....	45
Ilustración 29: Subsistema de línea de atraque en puerto de shanghái.....	46
Ilustración 30:Factores que influyen en la capacidad por línea de atraque de las terminales portuarias.....	48
Ilustración 31: Subsistema de almacenamiento de la terminal de contenedores Mariel.....	55
Ilustración 32: capacidad de almacenamiento de las terminales de contenedores.....	57
Ilustración 33: Ejemplo de layout de una terminal de contenedores.....	58
Ilustración 34: Distintas configuraciones del área de almacenamiento según el equipo de patio utilizado.	58
Ilustración 35: Clasificación de los factores que afectan a la capacidad por línea de atraque. ..	62
Ilustración 36: Tipologías de innovación en TCs: Clasificación.	64
Ilustración 37: Funciones de una Sistema Operativo de la Terminal.....	68
Ilustración 38: Terminal de contenedores Tipo- Puerto Valle Verde.....	70
Ilustración 39: Superficie para la terminal de la propuesta 1.....	87
Ilustración 40: Propuesta de distribución para buque tipo 360m.	88
Ilustración 41: Distribución de las grúas y buques en la línea de atraque. Propuesta 1.....	91
Ilustración 42: Plano de la distribución de la zona de almacenamiento para la propuesta 1.....	93
Ilustración 43: ShC modelo KALMAR FSH 240.....	95



Ilustración 44: Representación modo de carga del ShC escogido.	96
Ilustración 45: Plano con la ubicación de la estación de carga para los SC, en la propuesta 1. ...	98
Ilustración 46: Descripción técnica y funciones de Valenciaport PCS.....	99
Ilustración 47: Plano de la entrada terrestre a la terminal de la propuesta 1.	100
Ilustración 48: Distribución Final Propuesta 1.....	100
Ilustración 49: Superficie para la terminal de la propuesta 2.....	101
Ilustración 50: Buque más grande del mundo.....	102
Ilustración 51: Distribución buques atracados en la Propuesta 2.	103
Ilustración 52: Recomendaciones para la tasa de ocupación admisible en función del número de atraques y del sistema para terminales de contenedores, en la propuesta 2.	103
Ilustración 53: Plano con la distribución final de las grúas para la propuesta 2.....	106
Ilustración 54: Distribución de la zona de almacenamiento para la propuesta 2.....	108
Ilustración 55: Plano con las ubicaciones de las estaciones de carga de los SC para la propuesta 2.	112
Ilustración 56: Plano de la entrada terrestre a la terminal para la propuesta 2.	113
Ilustración 57: Plano definitivo de la distribución de la propuesta 2.....	114
Ilustración 58: Plano de las distintas fases de construcción propuesta 2.....	114
Ilustración 59: Vista general en 3D de la terminal propuesta por TIL.....	116
Ilustración 60: Distribución de las diferentes áreas operativas en la terminal propuesta por TIL.	117
Ilustración 61: Distribución definitiva propuesta TIL.....	118



ÍNDICE GRÁFICOS

Gráfica 1: Representa los gramos de CO ₂ generados según el tipo de transporte por el desplazamiento de una tonelada un kilómetro.....	26
Gráfica 2: Evolución del transporte de mercancía en contenedor, desde 1958 hasta 2018	32
Gráfica 3: Relación entre el tiempo medio de atraque de un barco y el número de movimientos en TEUs.	39
Gráfica 4: Relación entre el número de movimientos y la productividad (bruta) de atraque de los buques. (muestra del Puerto de Valencia, año 2010)	39
Gráfica 5: Capacidad anual por línea de atraque, con un tráfico M/E ₄ /n y espera relativa 0.05 para 300m de atraque.....	42
Gráfica 6: Niveles de servicio para el caso M/E ₄ /n para n=2 y n=3 con atraques de 300 m.	44
Gráfica 7: Correspondencia de las tasas de ocupación y la espera relativa de los sistemas E ₂ /E ₂ /n y E ₂ /E ₄ /n de 1 a 6 atraques.	52
Gráfica 8: Capacidad anual de almacenamiento (TEUs/ha año) en función de la densidad de almacenamiento y de los días de estancia.	61
Gráfica 9: Capacidad estática del equipo de patio como resultado de las necesidades de capacidad anual y de los días de estancia.	61
Gráfica 10: Capacidad anual por metro lineal: detalle de la comparación de los modelos de Ashar (2009), Drewry (2010, RTG) y Monfort et al. (2011, M/E ₄ /n, e=0.1, P=60 cont/h)	65
Gráfica 11: Capacidad anual por metro lineal de atraque: Modelo Ashar (2009), Drewry (2010, RTG) y Monfort et al. (2011, P=50, 60 y 70 cont/h)	66
Gráfica 12: Previsión del tráfico de las terminales tipo TP y TD Dársena Sur puerto de Valle Verde.....	71
Gráfica 13: Comparación de la capacidad por línea de atraque de la TP con la previsión de tráfico.....	75
Gráfica 14: Comparación capacidades de almacenamiento para RTGs y SCs en la TP con la previsión de tráfico.	77
Gráfica 15: Comparación capacidades de almacenamiento para RTGs y SCs en la TD con la previsión de tráfico.	78
Gráfica 16: Capacidad limitante en la TP para Te/Ts=0.2	80
Gráfica 17: Capacidad limitante en la TD para Te/Ts=0.1.....	80
Gráfica 18: Evolución tráfico exigido para la superficie máxima y mínima de la concesión.	86
Gráfica 19: Capacidad de la propuesta 2 por fases y comparación con el tráfico mínimo.	115



1. Introducción

Los puertos son lugares muy importantes para la economía de su Hinterland, estas zonas pueden llegar a abarcar hasta varios países, según el tamaño del puerto y su situación geográfica, además es el único nodo de conexión entre el transporte marítimo y el terrestre. Por todo esto es importante que sus terminales tengan una buena planificación, la cual incluya un análisis de la oferta y demanda a largo plazo puesto que se trata de obras muy costosas cuya construcción suele tardar varios años y su vida útil es elevada.

El trabajo de planificación es una tarea complicada, puesto que trata con conceptos que varían con el tiempo, como puede ser; la capacidad de los buques, el tamaño del área de influencia o Hinterland, el estado de la economía, ... Hasta hace escasas décadas este era un tema poco estudiado. Pero en la actualidad ya son muchos los expertos del mundo portuario que se han dedicado a estudiar sobre esta planificación y sobre la medición de ciertos parámetros que hasta entonces no se podía medir y no se tenía control sobre ellos.

Durante este Trabajo vamos algunos de estos parámetros recientes con el fin de conseguir acercarnos un poco más a las capacidades reales de las terminales o en su defecto por lo menos intentaremos entender cuáles son los factores que hacen que varíen las capacidades y como modificarlos con el fin de optimizar nuestras terminales.

Además de estudiar los factores que afectan a las capacidades también se hablará sobre la calidad del servicio, como se mide en el sector portuario y la importancia de esta.

En general en los puertos existen 4 subsistemas: Línea de atraque, almacenamiento, interconexión y Puerta de Entrada. De todos estos subsistemas el que menos problemas suele dar es el de interconexión, puesto se hacen mediante equipos de patio y se soluciona con la adquisición de más maquinaria de equipo de patio. Por otro lado, la Puerta de Entrada depende mucho del terreno disponible para ello, pero la solución suele ser la creación de más puertas de entrada para que se pueda cargar más camiones o ferrocarriles (en este caso es algo más complicado) a la vez. Por lo tanto, los dos subsistemas más determinantes son el almacenamiento (aunque según el valor del terreno y el país esto puede ser menos determinante) y la Línea de Atraque (este es el más costoso y es más complicado de ampliar), y serán estos los que ocupen la mayor parte del Trabajo.

A lo largo del trabajo se observará lo necesario que es acotar correctamente los factores necesarios en los pliegos de las concesiones, como pueden ser las productividades por buque atracado, capacidades mínimas por metro de línea de atraque o eslora mínima del buque tipo.

En última instancia, plantearémos todo lo hablado en los puntos anteriores para el caso de la nueva terminal de Norte del puerto de Valencia y veremos cómo afecta el pliego de condiciones en el modo de gestionarlo y la influencia que tendrá esta nueva terminal para el resto del puerto. Se estudiará detenidamente cada uno de los elementos que se deben tener en cuenta para la planificación de una terminal portuaria de contenedores concretando en este caso tan reciente.



2. Conceptos básicos de una terminal marítima de contenedores.

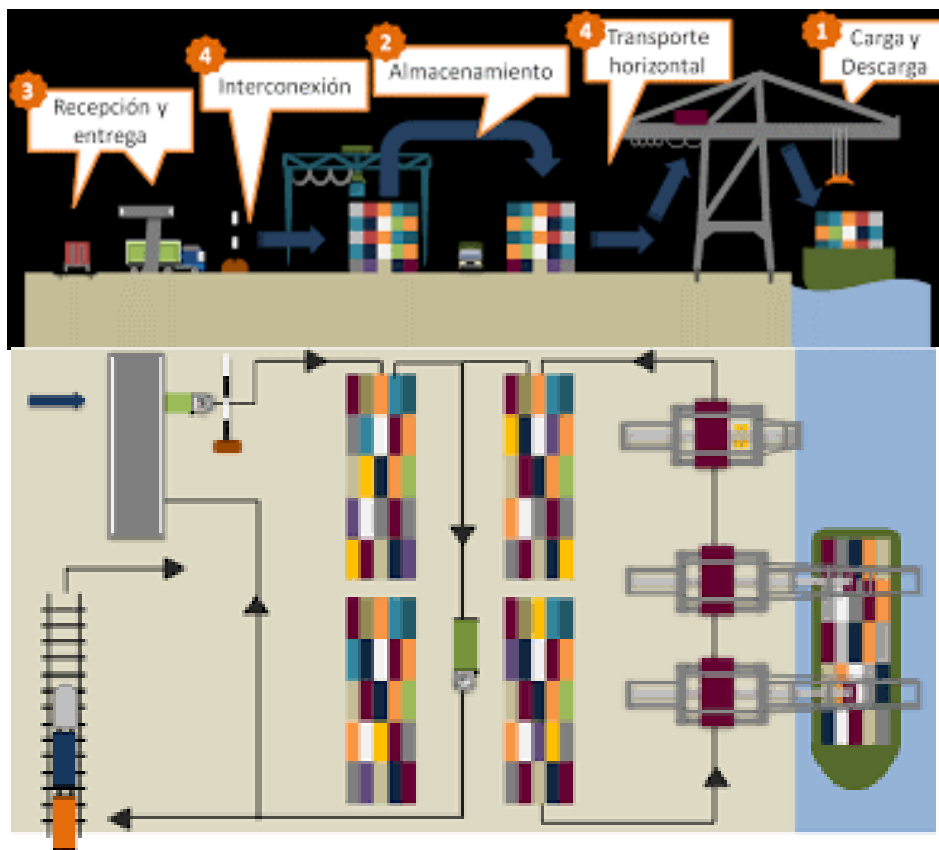
Las terminales marítimas de contenedores se tratan de una infraestructura física cuya finalidad es servir como nodo de intercambio modal de mercancías contenedorizadas entre diferentes modos de transporte, son sistemas muy complejos y dinámicos que, alimentados por la gran demanda actual y futura, obligan a los puertos a optimizar todos los procesos que intervienen en ellas, siendo infraestructuras en constante actualización y un campo muy importante de investigación e innovación.

El objetivo esencial de una TMC (terminal marítima de contenedores) es proporcionar los medios y la organización necesaria para que el intercambio de contenedores entre los modos de transporte terrestre y marítimo se produzca en las mejores condiciones de rapidez, eficiencia, seguridad, respeto al medio ambiente y economía.

En apartado actual se trata de definir todos los subsistemas que intervienen en una terminal marítima de contenedores, con el fin de comprender mejor la complejidad de su gestión y los factores que afectan a su capacidad.

Las terminales de contenedores se diferencian en 4 subsistemas, los cuales deben funcionar como un sistema integrado, con conexión física y de información entre ellos.

Ilustración 1: Subsistemas de una terminal portuaria de contenedores.



Fuente: Monfort et al. (2011)



Subsistema de carga-descarga de contenedores o de línea de atraque

Este subsistema es el encargado de solucionar la interfaz marítima, con la ayuda de las infraestructuras y equipamiento que ello conlleva, es decir muelles, grúas pórtico, ... Todos los elementos de este subsistema dependen directamente del buque, y debido al continuo crecimiento de los buques este subsistema debe estar en continuo crecimiento también con el fin de no perder rendimientos y reducir las estancias de los buques. Además, en este subsistema también entran en juego agentes singulares como los armadores y navieros.

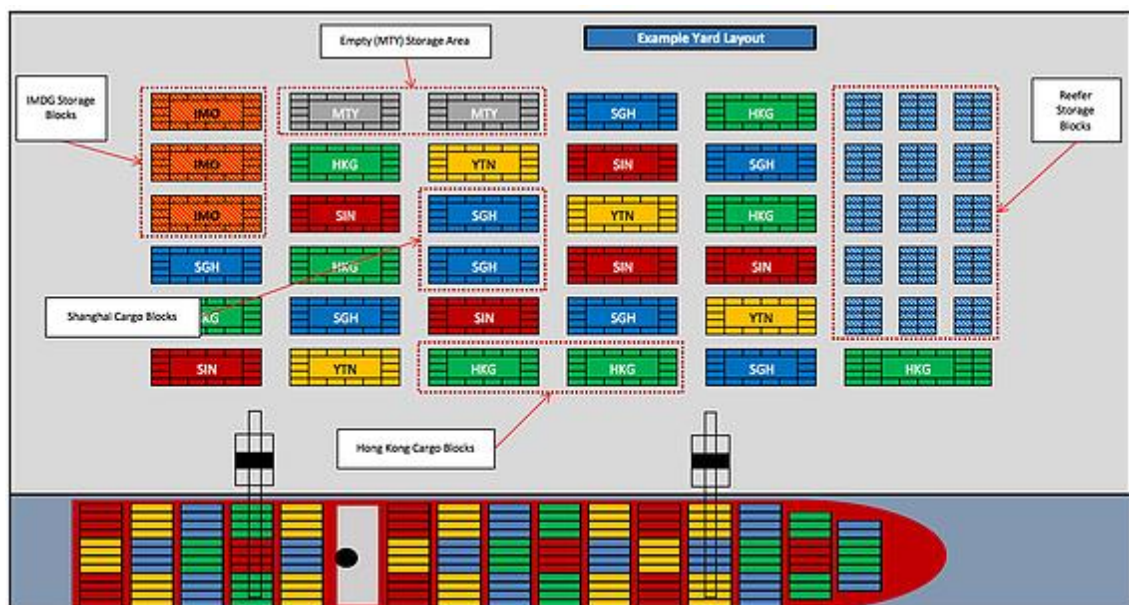
Subsistema de almacenamiento de contenedores

El subsistema de almacenamiento está ubicado en la parte central de la terminal, punto intermedio entre la línea de atraque y la recepción y entrega terrestre, además ocupa la mayor parte de la superficie de la terminal. Su dimensiones y disposición están directamente relacionados con el equipo de patio elegido y con el tráfico que soportará la terminal.

La gestión de este subsistema es muy importante para el correcto funcionamiento de la terminal, su principal objetivo es atender los diferentes ritmos que existen entre la carga y descarga de buques y la recepción y entrega de las mercancías. Para ello hay que intentar disminuir las remociones de contenedores y tener una muy buena planificación de las recogidas y entregas de los contenedores, con el fin de no tener que hacer demasiados movimientos de contenedores en balde.

Además, en esta zona hay que dejar ciertas superficies para: contenedores refrigerados, contenedores con mercancías peligrosas, inspecciones de contenedores, ...

Ilustración 2: Ejemplo de la distribución de contenedores en zona de almacenamiento.



Fuente: <http://joresimao.blogspot.com/2017/11/o-futuro.html>



Subsistema de recepción y entrega terrestre o puertas de entrada/salida

El subsistema de recepción y entrega terrestre está formado por las entradas, instalaciones y equipos necesarios para controlar y manipular las cargas que entran y salen de la terminal por vía terrestre, tanto en camión como en ferrocarril.

Este subsistema se encarga de atender al transporte terrestres, ya sea por ferrocarril o carretera. El transporte por carretera puede complicar mucho la gestión de este subsistema puesto que hay mucha desigualdad de servicios entre horas punta y valle. En cuanto al ferrocarril permite concentrar la actividad en las horas punta deseadas, obteniendo rendimientos muy elevados, pero el uso de este modo de transporte suele ser muy bajo.

Por lo tanto, el objetivo de este subsistema es al igual que en la mayoría, es realizar su tarea, entrega o recepción de mercancías, de forma más rápida, pero siempre en condiciones de seguridad, pero debido al gran número de documentos necesarios muchas veces esto no es tan rápido.

Los elementos que más afectan a este subsistema son: el tipo de tráfico del puerto (si es un puerto Hub o gateway), número de puertas para acceder a la terminal, sistema de obtención e intercambio de información en las puertas y las inspecciones físicas y controles de recinto del contenedor.

Ilustración 3: Puertas de acceso Terminal CSP Iberian del Puerto de Valencia.



Fuente: Diario el mercantil

Subsistema de conexión interna

El subsistema de conexión interna se encarga de asegurar el transporte “horizontal” de contenedores entre los subsistemas anteriores, su principal objetivo es hacer esta tarea con la mayor seguridad y eficacia posible.

Este subsistema a veces puede desaparecer, si el equipo de patio utilizado en la zona de almacenamiento son carretillas elevadoras, carretillas pórtico, ... Por otro lado, cuando el



equipo de patio para la zona de almacenamiento son RTG o RMG en este subsistema se suelen utilizar camiones como medio de transporte.

2.1. Tipos de terminales de contenedores portuarias según su conectividad

Con la búsqueda de la optimización de costes y el crecimiento de los buques portacontenedores, se han diferenciado dos tipos de puertos:

Puerto hub

El puerto Hub o puerto de transbordo, es aquel en el que la mayor parte de movimientos que se realizan son de transbordo de buques, se trata de un tipo de puerto que se ha formado con la invención del contenedor, puesto que anteriormente no se solían hacer tantos transbordos, ya que se perdía mucho tiempo. Estos puertos tienen concentrado su mercado fuera de su hinterland, y su función es ejercer de nodo de transbordo.

Estos puertos son utilizados sobre todo por las grandes líneas oceánicas de transporte de contenedores, las cuales intentan hacer el mínimo número de paradas con buques portacontenedores muy grandes. A su vez la mercancía descargada en los puertos suele ser redistribuida en buques más pequeños a puertos cercanos al puerto hub. Estos puertos suelen tener situaciones geográficas estratégicas.

En estos casos, el subsistema de entrega y recepción sería el menos problemático, siendo imprescindibles la línea de atraque y el almacenamiento, así como una buena gestión de la zona de almacenamiento con el fin de evitar demasiadas remociones.

Puerto Gateway

Los puertos Gateway son aquellos puertos que se encuentran cerca de zonas industriales, es decir que disponen de un hinterland importante, esto no significa que no exista transbordo. Los ejemplos más claros son los puertos de Rotterdam (Holanda) y los puertos ubicados en China, ya que los países asiáticos tienen unas industrias muy potentes y el transporte marítimo en contenedor es el principal medio de transporte entre Asia y Europa.

En estos casos, el subsistema de entrega/recepción también tiene mucha importancia al igual que el resto, puesto que las mercancías sí que salen del puerto.

2.2. Tipos de contenedores

El contenedor fue uno de los principales impulsores del desarrollo portuario, fue un gran avance en muchos temas, desde la seguridad, donde se consiguió que las mercancías fueran protegidas y precintadas desde la salida del envío hasta la entrega, esto además reduce tiempos de inspecciones, hasta la capacidad portuaria, donde el contenedor consiguió unificar embalajes y ello facilitó que se creara maquinaria específica para ello y se redujeran tiempos de manipulación.

La norma que regula los tamaños y tipos de contenedores es la **UNE 49750**, la cual define al contenedor así:

“Se entiende por contenedor, un instrumento de transporte que reúne las siguientes características:

- Carácter permanente o suficiente resistente para permitir su uso repetido.



-Especialmente concebido para facilitar el transporte de mercancías sin rotura de carga, por uno o varios modos de transporte.

-Provisto de dispositivos que permitan su manipulación, principalmente al tiempo de su transbordo de un medio de transporte a otro.

-Ideado de manera que resulte fácil su carga y descarga.

-Su volumen interior es de un metro cubico como mínimo”

En general, en el ámbito portuario se suelen utilizar 2 tamaños de contenedores, el contenedor de 20 pulgadas (de unos 6 metros de largo) y el de 40 pulgadas (unos 12 metros de largo).

Los tipos de contenedores manejados y aceptados a nivel mundial son los siguientes:

-Estándar: Estos contenedores se encuentran cerrados herméticamente y no tienen ni refrigeración ni ventilación.

-Open Top u Open side, son contenedores con las dimensiones del estándar pero que tienen la parte superior (Open Top) o alguno de los lados (Open side) al descubierto o removible. Estos suelen utilizarse para cargas que tienen alguna dimensión mucho mayor que el resto y no caben en un contenedor estándar.

-Refrigerado o Reefer, se trata de contenedores que cuentan con sistemas de conservación de calor o frío y con termostato. Estos contenedores deben ir conectados tanto en el buque como en la terminal mientras permanezcan almacenados, es por esto por lo que se debe delimitar un lugar para este tipo de contenedores en todas las terminales.

-Aislante, se trata de contenedores preparadas para el transporte de carga que requiera temperaturas constantes, pero en este caso no tiene equipo de generador de frío.

-Tanques, estos son contenedores para transportar líquido a granel. Están formados por un esqueleto de vigas en forma de paralelepípedo con las mismas dimensiones que el contenedor estándar.

-Flat tracks, con base y paneles frontales, estos se utilizan para cargas con bordes irregulares o dimensiones que superen a las medidas internas de los contenedores. Son similares a los Open Top y Open side.



Ilustración 4: Los tipos más utilizados de contenedores marítimos.



Los contenedores marítimos más utilizados



DRY VAN



REEFER



TANK o CISTERNA



OPEN SIDE



OPEN TOP



FLAT RACK

Fuente: Xarxaeuropea.com

2.3. Equipos de manipulación y transporte de contenedores

Los equipos de manipulación son los encargados de realizar los cambios de modo de transporte en las terminales. Los equipos de manipulación son parte clave para la productividad de una terminal, por ello son equipos en constante investigación e innovación. Esta se podría decir que es el principal punto de investigación en las terminales, con la nueva tendencia a la automatización de terminales.

En los siguientes subapartados se hablará de la maquinaria que se utiliza hoy en día en las terminales de contenedores, desde las más pequeñas hasta las más grandes y modernas.

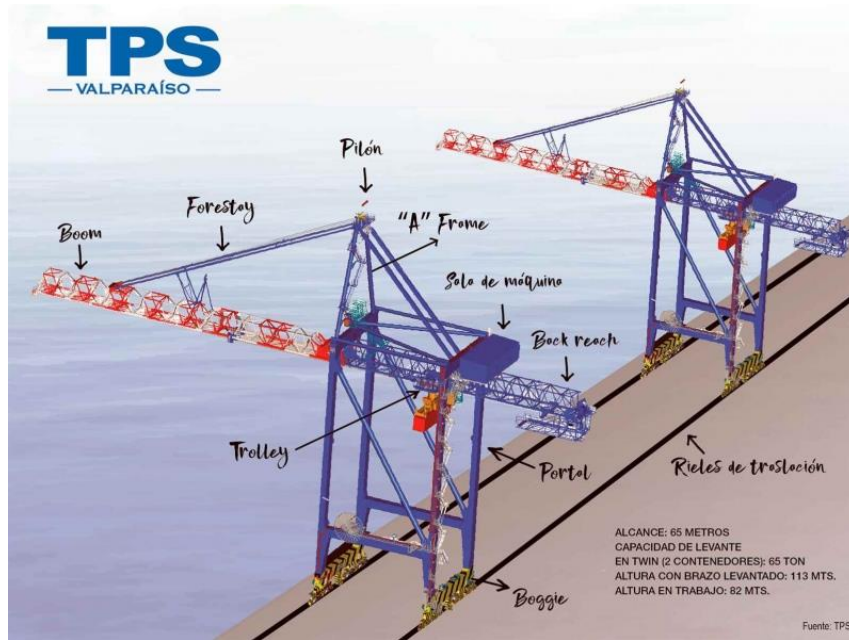
2.3.1. Grúas pórtico de muelle

Para las terminales portuarias especializadas en contenedores, las grúas pórtico de muelle son el principal elemento de carga y descarga de contenedores para el subsistema de línea de atraque. Son elementos muy importantes para la productividad de los puertos, puesto que son los únicos elementos que pueden realizar estas acciones y por tanto de ellos depende toda la mercancía que puede entrar y salir del puerto por vía marítima.

Estas suelen ser móviles a lo largo de la línea de atraque, por medio de ruedas o raíles, como se observa en la siguiente ilustración.



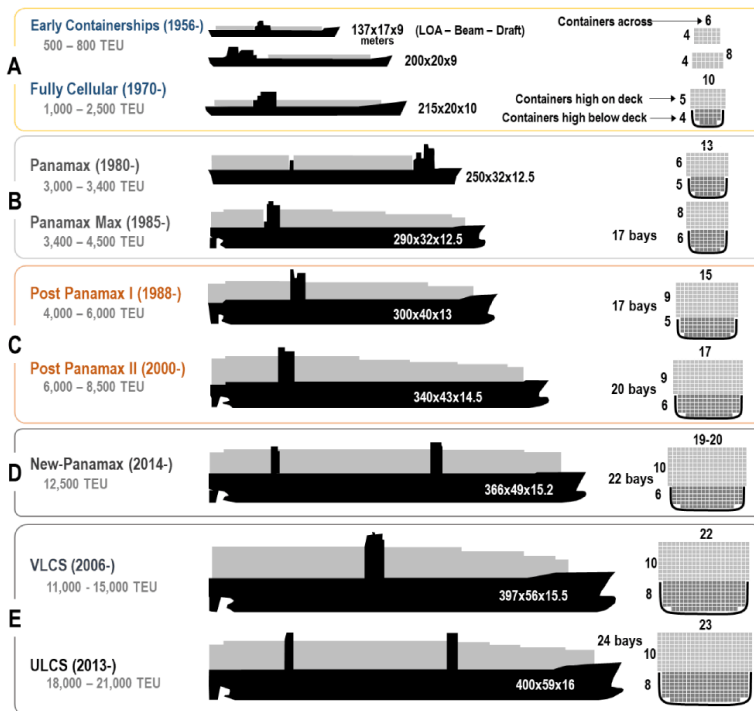
Ilustración 5: Grúas pórtico de muelle



Fuente: TPS.com

Estas grúas se han visto obligadas a crecer de forma muy rápida en los últimos años, con el crecimiento tan elevado que están teniendo los buques portacontenedores, los cuales en los años 90 el buque Post Panamax era el más grande y tenía unas dimensiones de 13 contenedores de ancho y una eslora de 285 metros, mientras que ahora, los buques portacontenedores Triple E ya tienen esloras de 400 metros y anchos de hasta 23 contenedores.

Ilustración 6: Evolución de los Buques portacontenedores.



Fuente: Jean Paul Rodrigue



2.3.2. Grúas pórtico de almacenamiento

Este tipo de elementos son los más utilizados para terminales de contenedores con grandes volúmenes de mercancías, y básicamente están separados en dos tipos de grúas, cuya principal diferencia en la forma de movimiento.

RTG (Rubber Tired Gantry Crane), se trata de grúas autopropulsadas mediante ruedas neumáticas, que se desplazan de forma rectilínea sobre las pilas de contenedores que ellas mismas dejan entre sus patas, su función es el movimiento de estos contenedores entre la zona de almacenaje y los elementos móviles de intercambio, normalmente camiones o plataformas con cabezas tractoras.

Ilustración 7: Grúa RTG en una terminal portuaria.



Fuente: Kalmar global

Normalmente estas grúas permiten apilar entre 3 y 5 alturas de contenedores, mientras que el ancho de la zona de almacenaje suele ser de unos 6 contenedores con un carril adicional para la circulación de los elementos móviles de intercambio (normalmente camiones), los cuales suelen esperar en este carril a ser cargados con el contenedor que debe transportar. En Asia se han llegado a conseguir tamaños mucho mayores de estas grúas con alturas de 7 contenedores y anchos de hasta 14.

En el patio de una terminal con grúas pórtico de neumáticos, las pilas de contenedores se suelen colocar de forma paralela al muelle, y con separaciones lo suficiente grandes como para que puedan circular los equipos de interconexión entre ellas. Esta forma es la más habitual porque, aunque las distancias son mayores que en una disposición perpendicular se reducen las probabilidades de accidentes, y este tipo de terminales suelen tener mucho tráfico de camiones o cabezas tractoras. Para reducir las distancias se suelen disponer carriles de circulación cada cierta distancia entre los bloques de contenedores que permiten el tráfico perpendicular entre las pilas de contenedores.



Ilustración 8: Ejemplo Distribución Grúas pórtico de almacenamiento paralelas a línea de atraque y con pasillos perpendiculares.



Fuente: Google Earth

RMG (Rubber Mounted Gantry Crane), se trata de una grúa pórtico de forma similar al RTG pero esta se desplaza sobre raíles. El funcionamiento es el mismo que las Grúas pórtico sobre neumáticos, pero con este tipo de grúas se pueden conseguir dimensiones mayores, con lo que se consiguen mayores densidades de patio.

En este caso, los equipos de interconexión suelen ser atendidos por la parte externa de la pata, por lo que estas grúas cuentan con voladizos para dar servicios a los camiones.

Las dimensiones permitidas por estas grúas son similares a las que se consiguen con los RTG en Asia, anchos de hasta 12 contenedores, y alturas de unos 5 o 6 contenedores.



Ilustración 9: Grúa pórtico RMG



Fuente: www.Aicrane.com

Estas grúas suelen ser las preferidas para las terminales que pretenden ser automatizadas, puesto que al circular sobre raíles tienen menos grados de libertad y son más sencillas de automatizar. Además, se utilizan cuando los espacios son reducidos para el tráfico existente (puesto que dotan al patio de mayor densidad). Otra ventaja de funcionar sobre raíles es que la velocidad de desplazamiento es prácticamente el doble de la velocidad de desplazamiento de las grúas con neumáticos.

Como desventaja cabe destacar, que la densidad elevada es un problema para las remociones, puesto que si no hay una buena planificación el número de remociones a la hora de mover un contenedor puede ser muy elevado. Además, cuando hay varias grúas en una misma zona, estas no pueden cruzarse porque circulan por la misma vía, esto se ha resuelto con la creación de una segunda grúa más pequeña con su vía independiente, pero esto tiene unos costes muy elevados y al ser más baja la segunda grúa limita aún más la altura de apilado.

2.3.3. Carretilla pórtico

Las carretillas pórtico, o *Straddle carriers* (SC) son máquinas muy versátiles, que realizan las funciones de elemento de intercambio, la función de almacenamiento y la de recepción y entrega a camiones externos.



Ilustración 10: Modelo de Carretilla pórtico, o Straddle Carrier (SC).



Fuente: www.konecrane.com

En general, estas grúas pórtico pueden llegar hasta una altura de apilado de 3 contenedores, aunque suele trabajar con alturas de 1-2 porque con alturas de más contenedores ya se suelen utilizar las RTG o RMG. En cuanto al ancho, siempre debe ser de 1 contenedor dejando pasillos entre los contenedores de metro y medio para la circulación de las patas del pórtico.

La disposición normal para este elemento suele ser con las líneas de contenedores perpendiculares al muelle, esto otorga mayor riesgo de colisiones, pero a la vez se obtienen productividades y aprovechamientos muchos mayores.

Este sistema es muy utilizado para terminales con tráfico de hasta 400.000 contenedores año, puesto que no requieren un uso intensivo del territorio.

Las principales ventajas son su gran flexibilidad operativa y velocidad (hasta 30km/h), además de que se realizan muy pocas remociones puesto que la altura de apilado es muy baja, por el contrario, tienen un gran coste de mantenimiento.



Existe un vehículo similar al Straddle Carrier denominado Shuttle carrier el cual es más ligero y maniobrable, no sirve para almacenamiento, pero es muy útil como vehículo de interconexión entre muelle y patio por su maniobrabilidad y que además puede alcanzar hasta 30 km/h.

2.3.4. Grúas polivalentes

Estas grúas como su propio nombre indica permiten la descarga de muchos tipos de mercancías, pero puesto que no son especializadas en contenedores presentan rendimientos muy bajos para sus descargas. Por lo tanto, estas grúas ya no se utilizan en los puertos, exceptuando los puertos de países en desarrollo que no pueden hacer frente a la inversión de maquinaria más especializada, por su elevado coste.

Ilustración 11: Ejemplo Grúa polivalente en Puerto Sevilla.



Fuente: Autoridad Portuaria de Sevilla.

2.3.5. Carretillas

Estos equipos son similares a las *Straddle carriers*, son máquinas menos versátiles, y realizan las funciones de elemento de intercambio, la función de almacenamiento y la de recepción y entrega a camiones externos.

Depende de cómo sujeten los contenedores, las carretillas pueden ser de carga frontal, elevadoras o de tipo horquilla.

Ilustración 12: Resumen de tipología de carretillas.

ELEVADORA CON SPREADER	FORKLIFT	FRONTAL DE ENGANCHE LATERAL Y SEMISPREADER	FRONTAL CON ENGANCHE FRONTAL	SIDELoader	REACHSTACKER
Fuente: Svetruck AB	Fuente: Konecranes Ausio SL	Fuente: Fundación Valenciaport	Fuente: Fundación Valenciaport	Fuente: Fantuzzi Noell Iberia SLU	Fuente: Fundación Valenciaport

Fuente: Monfort et al. (2011)



Algunas carretillas presentan problemas con los contenedores pesados, porque les produce inestabilidad o porque se puede dañar el sistema de enganche del contenedor, por ello se suelen utilizar para el movimiento de contenedores vacíos.

Las carretillas de carga frontal se utilizan en zonas de almacenamiento de 2 contenedores de ancho, aunque por regla general las carretillas, en el caso de contenedores llenos, suelen utilizarse en zonas de almacenamiento de 2 contenedores de ancho máximo puesto que si son mayores puede generar inestabilidad, aunque si se trata de zona de almacenamiento de contenedores vacíos puede ser mucho mayor y con alturas de 5-7 contenedores.

El *Reachstacker* se trata de una carretilla con brazo telescópico, además recientemente se han inventado las carretillas con brazos telescópicos curvos que consiguen mejorar la accesibilidad a los contenedores de segundas y terceras filas. Con este tipo de carretilla se puede llegar a anchos de apilados de hasta 4 contenedores de ancho.

Por norma general, las carretillas suelen ser utilizadas en terminales pequeñas para las zonas de almacenamiento, mientras que para la recepción y entrega por vía terrestre son utilizados en todo tipo de terminales sin importar el tamaño.

2.3.6. Cabezas tractoras con plataformas

Este equipo te da una gran velocidad para el transporte horizontal de los contenedores, pero luego es necesario algún equipo que pueda realizar las labores de levantado de contenedores y apilado puesto que en el caso de que no exista ese equipo complementario, este solo se podría utilizar en puertos con zonas de almacenamiento muy grandes y poco tráfico, puesto que si no se apilan los contenedores la terminal sería un simple parking de contenedores donde para conseguir el mismo almacenamiento que una terminal que permitan apilar 5 contenedores, necesitaría más de 5 veces su superficie.

Este es uno de los equipos más utilizados como complemento de las grúas pórtico, las cuales tienen un carril anexo a las zonas de apilado dedicado a la circulación de camiones, del que ellos cogen sus contenedores para su apilado. Conectando estos dos equipos se puede conseguir mayor velocidad en el movimiento horizontal, y mayor altura de apilado.

Ilustración 13: Nuevas cabezas tractoras de la terminal de Algeciras.



Fuente: Diario Hora Sur



2.3.7. Remolque portacontenedor autocarga

Estos remolques pueden ejercer las funciones del equipo de intercambio, sin necesitar ningún otro equipo para colocar el contenedor en su plataforma, ya que poseen los elementos de enganche del contenedor y pueden incluso apilar los contenedores en 2 alturas.

Ilustración 14: Remolque portacontenedor autocarga.



Fuente: Nauticexpo.com

2.3.8. Multitrailer system

El Multitrailer system (MTS) no es más que la interconexión de varias plataformas, hasta 5, tiradas por una maquina tractora. Este equipo tiene como principal ventaja que se reducen la reducción de personal conductores y la disminución de tráfico en la terminal.

También existen MTS que llevan 2 alturas de contenedores, pero como máximo 4 contenedores, por lo tanto, con esto no ganan en capacidad, pero sí que se consigue mayor maniobrabilidad.

Ilustración 15: Multitrailer system.



Fuente: Houkon-group.com



2.3.9. Vehículos autoguiados

Este tipo de vehículos han sido introducidos recientemente, pero cuentan con mucha presencia en el sistema portuario, sobre todo en las terminales de contenedores más importantes del mundo. Estos vehículos siguen trayectos marcados en el suelo de la terminal y son controlados mediante control remoto desde una estación central.

Existen principalmente dos tipos de vehículos autoguiados:

- Los **Vehículos Guiados Automatizados** (*Automated Guided Vehicles, AGV*) son vehículos que se mueven de forma autónoma con el fin de realizar las funciones de equipo de intercambio. Recientemente, se han desarrollado equipos de este tipo que además son capaces de levantar y bajar los contenedores. Estos últimos se han desarrollado para no tener que esperar a las grúas, si no que cuando llegan al destino dejan los contenedores en los bastidores de transferencia, de donde posteriormente los recogen los RTG, o viceversa. Con este último desarrollo se ha conseguido desacoplar la dependencia tan directa entre los equipos de interconexión y las grúas de patio.

Ilustración 16: Terminal con Vehículos Guiados automatizados.



Fuente: Konecranes.com

- Los **Vehículos Elevadores Automatizados** (*Automated Lift Vehicles, ALV*) se mueven por la terminal de la misma forma que los anteriores, los AGV, pero estos, además puedes manipular los contenedores de forma autónoma con lo que se consigue independizar del todo los subsistemas de interconexión y carga y descarga, puesto que la misma máquina realiza las dos funciones. Es decir, son como los remolques de autocarga o carretillas pòrtico, pero de autónomas.



Ilustración 17: Vehículo Elevador Automatizado



Fuente: Kalmar industries

2.4. Buques Portacontenedores

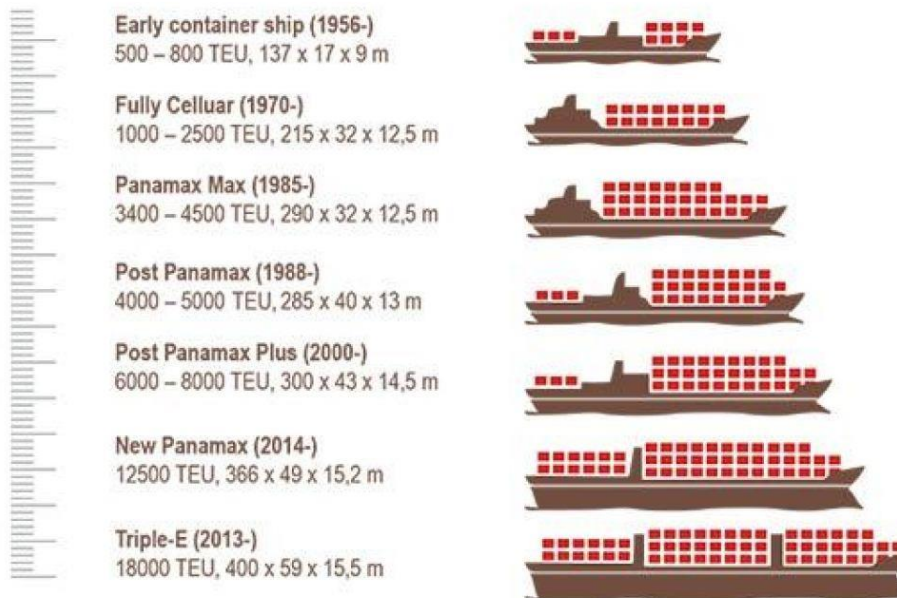
Los buques son uno de los principales protagonistas de la evolución de los puertos, puesto que, tras la invención del contenedor en los años 50, se decidió adaptar buques especializados en el transporte de contenedores (buques portacontenedores), y esto fue una gran revolución para el transporte marítimo. Desde los años 70 que es cuando de verdad se empezaron a utilizar los contenedores no han parado de crecer el tamaño de estos buques y con ellos todos los equipos portuarios, sobre todo las grúas de muelle puesto que cada vez el ancho es mayor y se necesitan voladizos más largos para dar servicio a estos buques. Aunque de la evolución de los buques contenedores se hablará en el punto 3 “Evolución del transporte marítimo y tráfico portuario en contenedor y de su gestión”, se ha puesto la siguiente imagen para que se pueda ver el enorme crecimiento de estos buques en la corta vida que tienen.



Ilustración 18: Evolución del tamaño de los buques.

The evolution of container ships

TEU: twenty-foot equivalent units, length x width x depth below water in metres
Source: The Geography of Transport Systems, Jean-Paul Rodrigue



Fuente: Jones Lang LaSalle

En cuanto al futuro parece que el tamaño no sea la principal línea de evolución de los buques portacontenedores, puesto que los actuales Malaccamax ya constan con mangas de hasta 400 metros y anchos de 24 contenedores, esto ya son tamaños más que considerables, y están limitado por el estrecho de Malacca y por lo tanto se trata de una limitación muy importante a cumplir para los contenedores de las rutas ASIA-EUROPA y viceversa.

Las principales líneas de evolución e investigación en los buques portacontenedores están relacionadas con los problemas medioambientales y el ahorro de combustible. La Naviera sueca Maersk en 2013 ya creó los buques porta contenedores triples e, cuyas tres e son:

- *Economy of scale*: Aseguran que cuanto más grandes son los buques el transporte de mercancías se vuelve más eficiente y abarata los costes de sus productos.
- *Energy efficient*: Estos buques circulan a velocidades más bajas con el fin de reducir los consumos de combustible, para un mismo trayecto, como se observa en la siguiente imagen se puede llegar reduce casi un 40% del consumo de CO₂, gracias al ahorro de combustible con tan solo reducir la velocidad en 5 nudos.



Ilustración 19: Ahorro de CO2 según velocidad del buque.

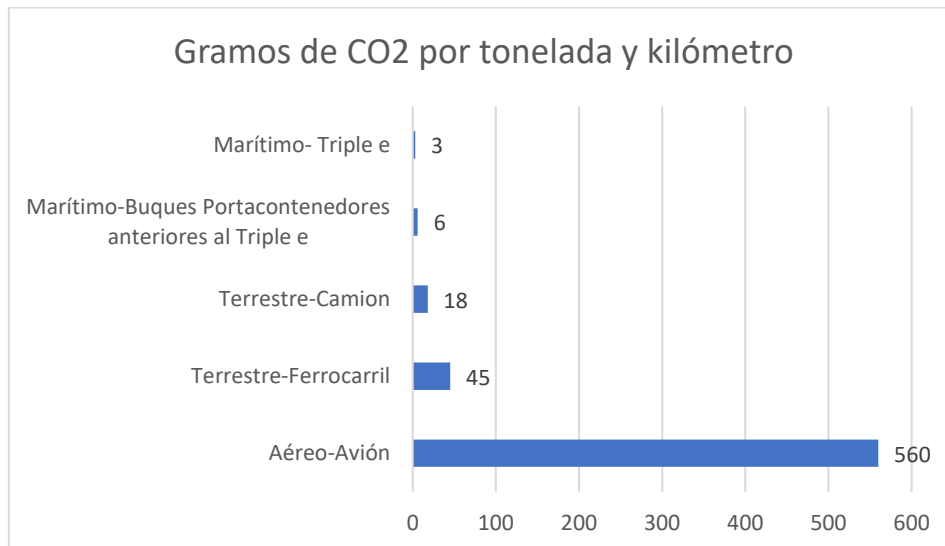


Fuente: Maersk Line.

- *Environmentally improved:* Estos buques reducen hasta un 50% el consumo de CO₂ que la media de los buques que cubren la ruta comercial entre Asia y Europa.

En el gráfico siguiente se representan los gramos de CO₂ generado con el uso de cada uno de los siguientes transportes por cada tonelada de mercancía y kilómetro. En ella se observa como el transporte de contenedores por vía marítima es mejor desde el punto de vista medioambiental, puesto que se generan muchos menos gramos de CO₂ por mercancía y distancia.

Gráfica 1: Representa los gramos de CO₂ generados según el tipo de transporte por el desplazamiento de una tonelada un kilómetro.



Fuente: Elaboración propia

Como evidencia de la clara apuesta del sector por el crecimiento del tamaño de los buques en busca de conseguir un incremento de la economía de escala, se observa cómo entre los años 2012 y 2015, mientras que tan solo se aumentó un 1% el número de barcos de la flota mundial se aumentó hasta un 20% la capacidad de estos, pasando de un tamaño medio del buque de 2.755 TEUs a 3.282 TEUs.



2.5. Automatización de terminales

Se entiende por automatización, el uso de elementos o sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos, eléctricos y computarizados para controlar máquinas y procesos, reduciendo así la intervención humana en el desarrollo de la actividad. Esto se puede realizar siempre y cuando los procesos sean repetitivos y sistemáticos, y que respondan a unas reglas, y así puedan ser programables.

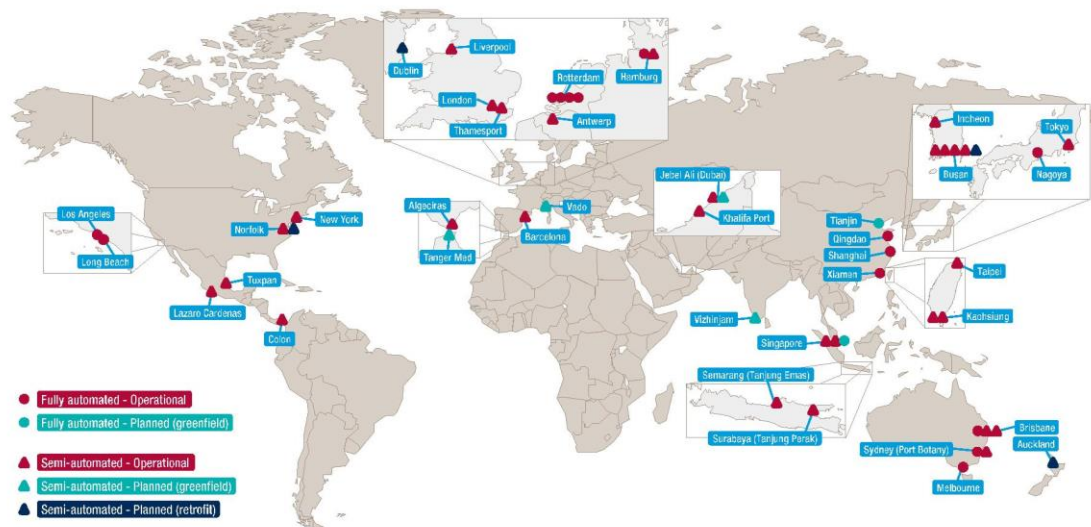
El número de terminales de contenedores automatizadas está creciendo continuamente en los últimos años, aunque estas necesiten de grandes inversiones para su instalación, ya se está observando cómo están superando en muchos aspectos a las terminales de contenedores tradicionales.

Las características principales que diferencian estas terminales de las terminales tradicionales son:

- Reducción de personal operativo.
- Altos rendimientos de máquinas especializadas
- Fiabilidad, el rendimiento de la terminal es más predecible y constante, por lo tanto, las operaciones se ejecutan al nivel prometido.
- Alta productividad, pues con la automatización se puede realizar una planificación óptima para cada instante y se pueden evitar las creaciones de cuellos de botella dentro de las terminales, además permiten operar con mayores densidades de carga.
- Eficiencia, este punto está muy relacionado con el anterior, puesto que la planificación también se puede utilizar para reducir la energía consumida y el impacto ambiental, optimizando los recursos disponibles.

Ilustración 20: Ubicación de los puertos automatizados del mundo.

Existing and planned automated container terminals



Container Terminal Automation Conference
Automated Intelligence & AI March 14 – 15, 2018 - London, UK



Fuente: Port Technology.



Productividad, nivel de servicio y capacidad en terminales de contenedores.
El caso de la futura terminal Norte del Puerto de Valencia.



Como se observa en la ilustración anterior, además de las terminales automatizadas, también existen las terminales semiautomatizadas, que son aquellas que se ha realizado una automatización o semiautomatización de alguno de los movimientos principales.

En ocasiones, cuando no se ha amortizado totalmente la maquinaria de una terminal, lo que se puede realizar es la implementación de automatizaciones menores necesarias mediante un proceso de *retrofitting*, este proceso no es más que la adición de nuevas tecnologías a los sistemas más antiguos.



3. Evolución del transporte marítimo y tráfico portuario en contenedor y de su gestión.

Para poder hablar de la evolución del transporte marítimo hay que conocer el pasado del transporte marítimo. La navegación ha tenido un papel importante en la historia de la humanidad, y habría que remontarse hasta tiempos de los egipcios, donde ya se utilizaban barcas con el fin de transportar materiales de construcción, desde entonces hasta la actualidad se llevan utilizando diferentes tipos de embarcaciones para moverse y transportar materiales a través del agua.

Ilustración 21: Inicios de la navegación.



Fuente: www.barcelonaworldrace.com

En el caso del puerto de Valencia que es el que más conocemos y en el que se centrará además el caso práctico final del trabajo constan antecedentes actividades marítimas desde el siglo VI a.C., mientras que no fue hasta el siglo XV cuando se establece por primera vez un antecedente de explotación portuaria propiamente dicha. No se conocen datos del tráfico por aquellos años, lo que si se conoce del puerto de Valencia son los diferentes proyectos que se llevaron a cabo por la necesidad de ampliar su oferta.

No es hasta a partir del siglo XIX cuando empiezan a aparecer datos del puerto de Valencia donde se exponen como prueba de la necesidad de ampliación de las infraestructuras. En el bienio 1859-60 se obtuvo un tonelaje de 68.694 Tm. En los 70 se empezó a ver como el tráfico estaba subiendo de forma muy elevada y era necesaria una gran actuación en el puerto y entonces fue cuando el Ingeniero Alejandro Cerdá redactó la “Memoria descriptiva del proyecto de distribución de la dársena del puerto” (1878), entonces ya se citaba que su tráfico era de unas 250.000 toneladas y preveían un crecimiento anual de 50.000 toneladas, además daban ya también datos de rendimientos de grúas y se manejaban unos rendimientos máximos de unas 400 toneladas metro de muelle.



En el año 1896 el que fuese director de la Junta de Obras del Puerto de Valencia, Manuel Maese, redactó otra memoria de ampliación (“Memoria del proyecto de los diques exteriores para el ensanche y mejora del puerto”) donde exponía valores del tráfico anual de 753.000 Toneladas y resaltaba que si se seguía con el crecimiento obtenido entre los años 1877 y el 1891 (38.000 toneladas por año) esperaba que se excediesen las 2 millones de toneladas en 30 años salvo crisis económica. En este caso el Ingeniero Manuel Maese se quedaba del lado de la seguridad y hablaba de valores de rendimiento de 300 toneladas por metro de muelle.

Por otro lado, el Ingeniero Profesor Pedro Pérez de la Sala en su obra “Puertos y Faros” de 1889, ya nos aseguraba que “cuando el puerto está bien surtido de aparatos para el embarque y desembarque, no se peca de exagerado señalando 400 toneladas a cada metro lineal”, apoyándose de referencias de puertos internacionales. Además, este profesor también añadía que “no es sólo la línea de muellaje y el calado lo que debemos tener en cuenta para juzgar la bondad de un puerto; su extensión es también otro dato no menos importante.”

A principios del siglo XX, en el puerto de Valencia ya se habían superado el millón de toneladas, y en 1909 se llegó a conseguir un rendimiento por metro de muelle de 537 toneladas, algo que parecía una locura pocos años antes el problema que tenía el puerto de Valencia es que logró conseguir estos rendimientos a base de tener el doble de personal, ya que los buques fondeaban en la dársena de punta y el desembarque se producía a través de barcazas y luego al muelle, por lo tanto los costes de desembarco subieron.

Ilustración 22: Descarga buques mediante barcazas en puerto de Valencia.



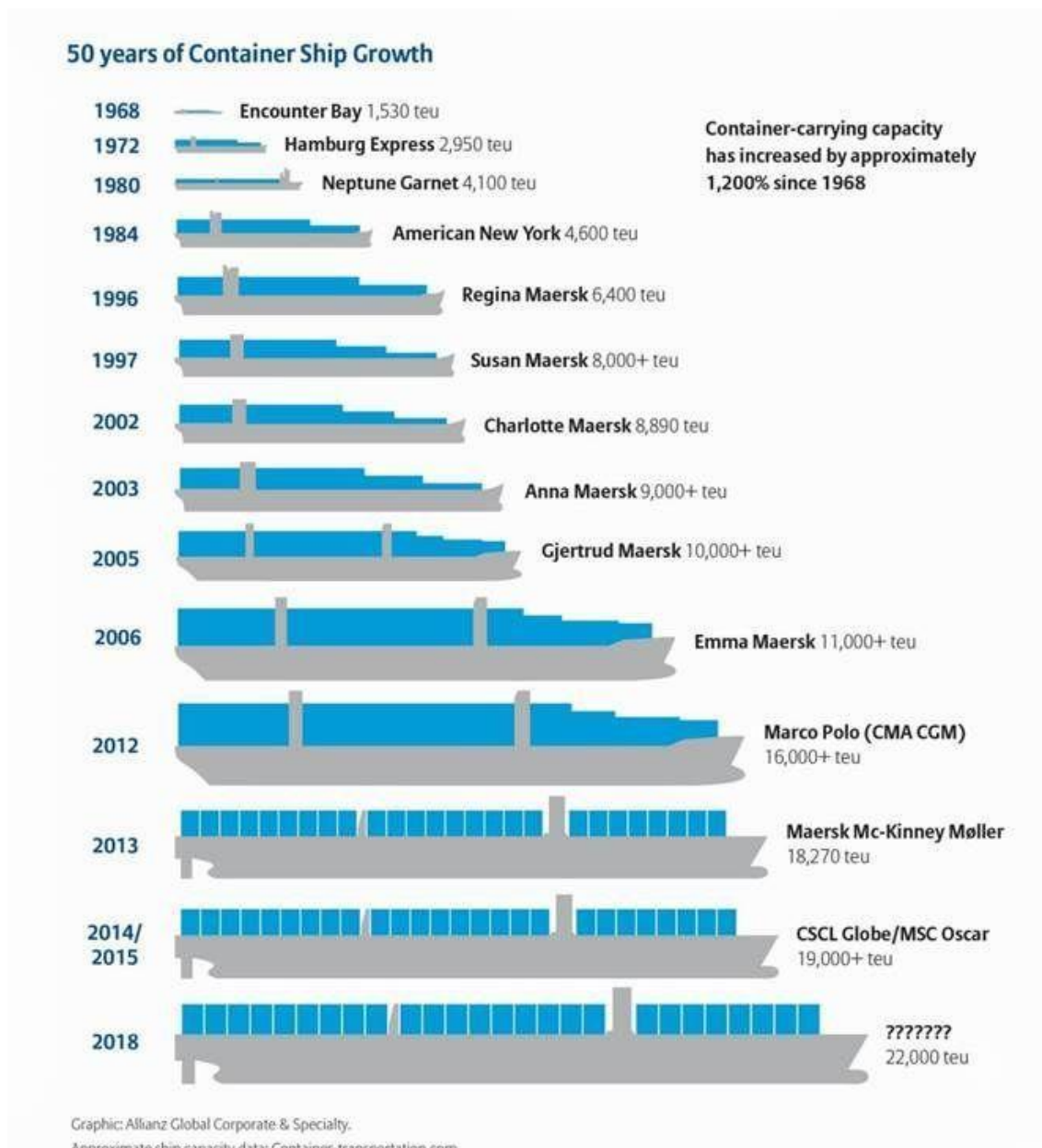
Fuente: www.todocoleccion.net

Más tarde, en 1931 se finalizaron las obras de atraque del Ingeniero Maese, que permitieron superar los 2 millones de Toneladas, pero tras estos años boyantes llegó la guerra Civil española y el tráfico portuario al igual que el resto decreció vertiginosamente, y no fue hasta 1958 que volvió a superar los 2 millones de Toneladas, esta vez con rendimientos similares a los de 1900, de unas 500 toneladas por metro lineal de muelle.



Fue en los 70 cuando se estalló el tráfico portuario, con el invento de la década de los 50 de Malcon McLean, el contenedor, este inventó marcó un antes y un después en el ámbito portuario, con él se conseguía aumentar la productividad por línea de atraque, reducir las estancias de los buques en el puerto y rápidamente generó que los buques portacontenedores aumentaran su tamaño al igual que las grúas necesarias para servir a estos, este efecto aún se está viviendo con el constante crecimiento de los buques portacontenedores.

Ilustración 23: Evolución de los buques portacontenedores en los últimos 50 años.



Fuente: Allianz Global Corporate & Speciality

El crecimiento era tan grande que la Junta del Puerto de Valencia en 1972 escribió “hasta mediados del año, el tráfico de contenedores se venía realizando en unas condiciones que sólo la capacidad de improvisación podía superar. Este año se ha puesto en servicio una estación terminal privada, como consecuencia de un concurso para el contrato de gestión de los servicios públicos de carga y descarga de contenedores. Pues bien, a los seis meses de la



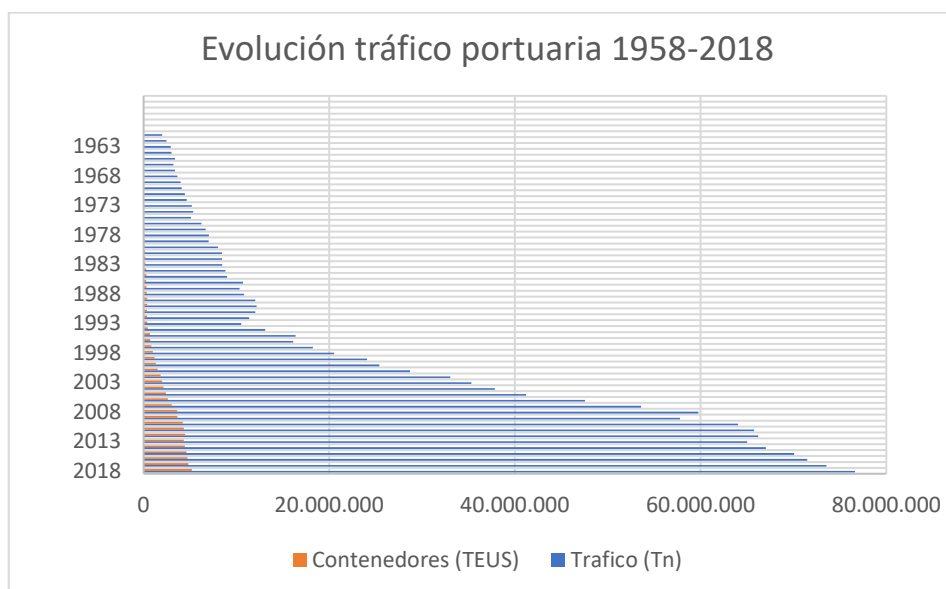
instalación se ha podido comprobar la superación de todos los órdenes de las previsiones del contrato, en cuanto al mínimo de unidades manipuladas”.

Con la llegada del Contenedor, pronto se deja de lado la vieja medición de toneladas y pasa a ser medida la productividad mediante TEUs (Twenty-foot equivalent units), cuya traducción significa “Unidad Equivalente de 20 pies”, esto es el tamaño de los contenedores, que pasado a las unidades de medida internacionales son unos 6,09 metros. Estas unidades de medición “falsean” un poco las mediciones de rendimientos, capacidades, eficiencias y niveles de servicios, puesto que no siempre los contenedores van llenos, a veces van vacíos o parcialmente cargados.

Con el fin de intentar unificar las antiguas mediciones de tráfico y las nuevas se ha tomado una media de 10 Toneladas por TEUS, puesto que el máximo peso permitido para un contenedor de 1 TEU son de 20 Toneladas, este valor es un razonable para unificar ambas mediciones y es el que se va a tomar para el resto del Trabajo.

En las siguientes gráficas se observa la evolución del tráfico a lo largo de la historia.

Gráfica 2: Evolución del transporte de mercancía en contenedor, desde 1958 hasta 2018



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Puertos del Estado.

En la gráfica superior se ve como el principal impulsador del crecimiento del tráfico portuario fue el contenedor, hasta entonces el crecimiento era lineal, y se conseguía a través de aumentar las superficies portuarias o mejorar ligeramente la productividad, pero a partir de principios de los 90 se vio un crecimiento exponencial ocasionado por la consolidación del contenedor, la fabricación de buques que podían transportar casi 5000 TEUs y además gran parte de los puertos principales ya contaban con elementos para la descarga de contenedores y con experiencia en su manipulación y gestión.

Como se ha visto, la década de los 90, finales de los 80, fue el punto de referencia a partir del cual el crecimiento de tráfico marítimo creció de forma más rápida, prácticamente todos los tráficos se incrementaron un 20%, mientras que el contenedor, principal motor de crecimiento del tráfico portuario, ha crecido hasta un 600%, lo que señala aún más la importancia de este invento para el crecimiento de la actividad portuaria.



A lo largo de la historia se han intentado crear de diferentes medidas, pero eso era no era productivo, finalmente en 1965 la *International Standard Organization* (ISO) creó unas normas para la estandarización de los contenedores para poder trabajar en todos los lugares del mundo y todos los terminalistas con las mismas medidas y así poder optimizar procesos. En cuanto a las dimensiones de los contenedores, cabe destacar que han sido 3 las que realmente se han impuesto sobre el resto, que son las reconocidas por AENOR y la ISO: 20', 40' y High Cube. Los beneficios más importantes del uso del contenedor son:

- Reducción de los tiempos de carga y descarga
- Reducción de los controles e inspecciones al ir precintados.
- Reducción de las primas del seguro.
- Reducción de costes al optimizar tiempos en ciertos procesos.
- Mejora del seguimiento de la mercancía por ordenador.

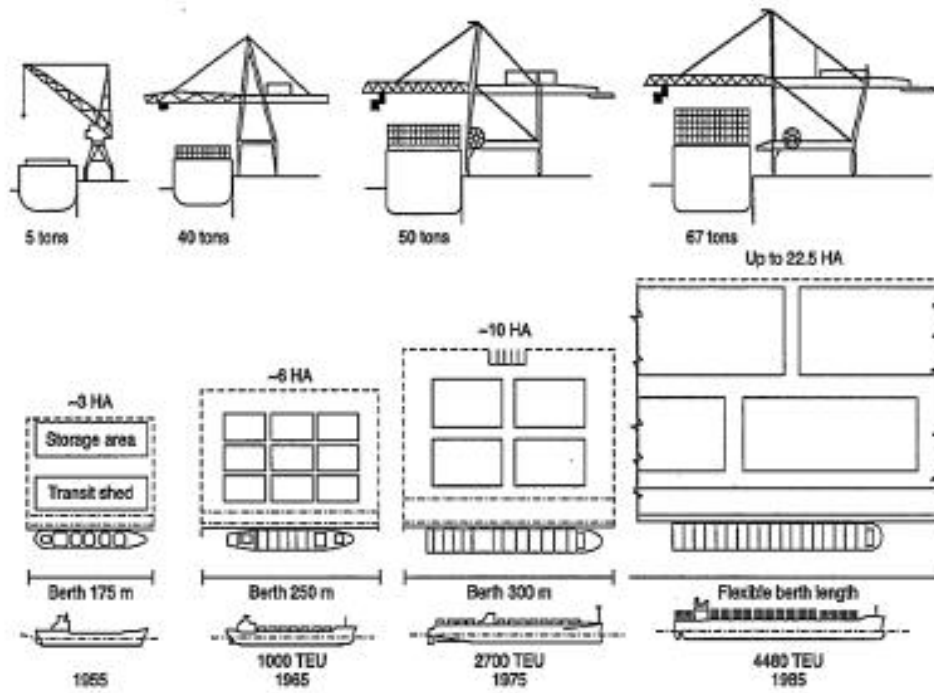
Debido a los desbalances import/export, tanto de volumen como en la tipología de contenedor y de la estrategia de cada compañía naviera, el tráfico comercial ha crecido de forma muy pronunciada desde los años 90 y una de las principales causas a las que se le achaca es al movimiento de contenedores vacíos y al transbordo de contenedores, puesto que al ser más manejables simplifica el transbordo y cada vez en una opción más viable.

Evolución del equipamiento de muelle

Con el nacimiento del contenedor y su evolución, el equipamiento del muelle se vio obligado a evolucionar también. Durante los primeros años los contenedores se descargaban en muelles polivalentes, el problema es que este tipo de grúas, aunque puedes manejar diferentes tipos de cargas, ofrecen rendimientos muy bajos en comparación con los equipos especializados. La compañía naviera Matson fue la primera en poner grúas en la línea de atraque y como equipo de patio se decantó por straddle carriers. Muestra de la mejora de la productividad obtenida con estas nuevas herramientas, se observó que las superficies de almacenamiento tuvieron crecimientos enormes pasando de ser zonas de unas 3 HA hasta más de 22,5 HA en 1985.



Ilustración 24: Evolución del layout de las terminales de contenedores 1965-1985.



Fuente: Thoresen C.A. (2010)



4. Conceptos de productividad, nivel de servicio y capacidad en terminales portuarias.

La correcta gestión de un terminal conlleva la planificación y explotación de un sistema de medición integrado e integral, el cual sea capaz de mostrar el funcionamiento del conjunto de la instalación e individualmente de cada uno de los recursos y instalaciones. Por esto, es necesario elaborar un sistema de indicadores que facilite el seguimiento y permita la comparación con otras terminales y a la vez permita informar a los stakeholder relacionados con el puerto sobre el estado del puerto.

Tras el estudio de diversos artículos desde la década de los 70 hasta la actualidad, se ha decidido que tres de los indicadores más importantes son: Productividad, nivel de servicio y capacidad. Por todo ello se ha decidido describir sus conceptos en el presente trabajo.

4.1. Concepto de productividad

La productividad está relacionada con el ritmo de trabajo de los diferentes recursos existentes en la terminal y se expresa como el volumen de mercancías manipulado por unidad de recurso y por unidad de tiempo.

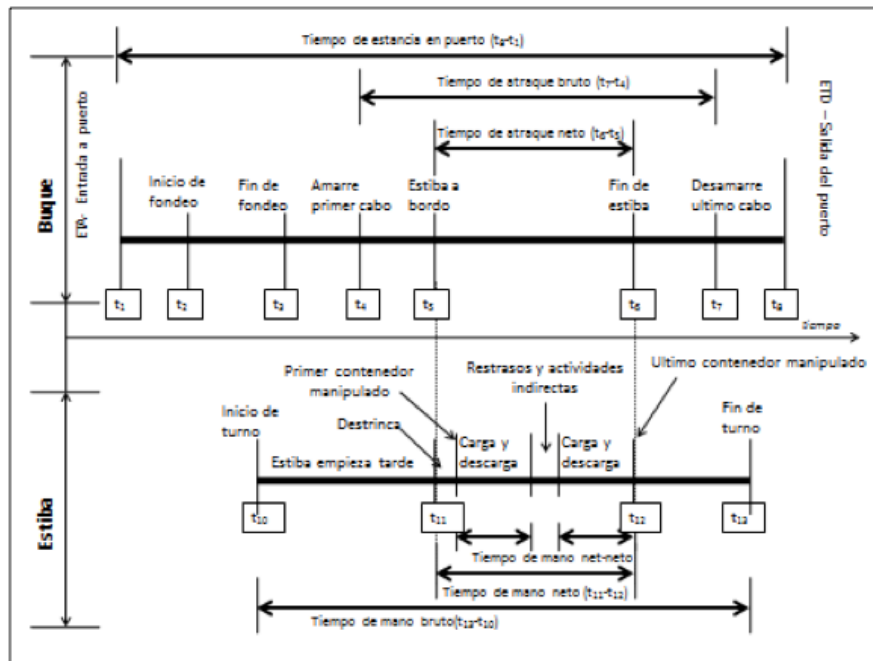
$$P = \frac{Q}{T_S} \quad (1)$$

En el espacio portuario hay muchos recursos que se pueden medir con este indicador, desde los recursos de las infraestructuras, superestructura y recursos humanos, hasta los medios de transporte como el ferrocarril o el camión.

Dentro de cada actividad se realizan diferentes divisiones de tiempos en su interior como se observa en **Ilustración 25** y según la división que se utilice se obtiene un indicador u otro, cada indicador tiene finalidades diferentes, como mejorar el control, la programación o la productividad.



Ilustración 25: Definiciones de tiempos en el subsistema carga/descarga.



Fuente: Ashar (1997)

En la **Tabla 1** se exponen algunas de los indicadores utilizados en las terminales portuarias

Tabla 1: Rendimiento operacional: Indicadores tipo y unidades.

Categoría	Indicador tipo	Unidades
Producción	Tráfico anual	t/año, TEUs/año
Productividad	Productividad de línea de atraque	t/m atraque y año
	Productividad buque en puerto	t/h en puerto
	Productividad de grúa	t/h, movimientos/h
Utilización	Utilización de línea de atraque	% de ocupación

Fuente: Elaboración propia a partir de Arturo Monfort et al. (2000)

Uno de los indicadores de productividad más calculados es la productividad de buque atracado (P), entre otras cosas este indicador se utiliza también para obtener la capacidad por línea de atraque de una terminal. Este indicador se puede definir como el cociente entre el volumen de mercancías manipulado y el tiempo bruto o total de atraque para una escala, no lo es cuando el cálculo se refiere a un conjunto de buques por lo que se debe diferenciar entre:

- Productividad media.
- productividad media ponderada por el volumen de mercancías manipulado en cada escala en el conjunto, indicador empleado en el CTQI
- productividad media ponderada por el tiempo de cada escala en el conjunto que equivale al cociente entre la suma de las mercancías manipuladas y la suma de los tiempos brutos de atraque. Esta, en el caso de un cálculo anual, es la productividad anual media de buque atracado (P) definida como el cociente entre el volumen anual de mercancías manipuladas y la suma de los tiempos brutos de atraque, empleada en la fórmula de la capacidad por línea de atraque.



La última de las comentadas es la utilizada para el estudio de la capacidad de terminales.

La productividad por buque atracado ha sido uno de los indicadores que más ha crecido desde el inicio de los contenedores, se conocen datos publicados por el Bureau of Transport Economics de Australia en 1984 y 1985, donde se daban valores de 7,8 contenedores/hora o lo que es lo mismo 9,4 TEUs/hora a finales de los 70, pero unos pocos años después, en 1983 en un puerto de similares características se daban valores de 14,9 y 16,2.

En los países menos desarrollados el incremento de la eficiencia en los puertos desde el año 2000 hasta el 2011 fue de más de un 50%. Según una publicación del *Journal of Commerce* de julio de 2013, donde muestra a través de la **Ilustración 26** que los valores de productividad por buque atracados medios por región ya estaban por 70 en los puertos del Norte de Asia donde la productividad había crecido muy rápidamente en la última década, y del orden de 40 en el mediterráneo y el norte de Europa (ligeramente superior en el segundo).

Ilustración 26: Ranking de productividad portuaria por zonas en los años 2011-12.



Fuente: *Journal of Commerce*

En septiembre de 2015, la misma revista de publicaciones, *Journal of Commerce*, muestra en la **Tabla 2** el ranking de productividad por buque atracado en 2014 y la comparativa con los dos años anteriores, donde se ven crecimientos de casi el 50% en los 6 primeros entre los años 2012 y 2013, y crecimientos mucho más modestos el siguiente año, al rededor del 10% los primeros, llegando a ser negativo en algunos casos.



Tabla 2: Ranking de productividad por buque atracado de 2014 y comparativa con los años anteriores.

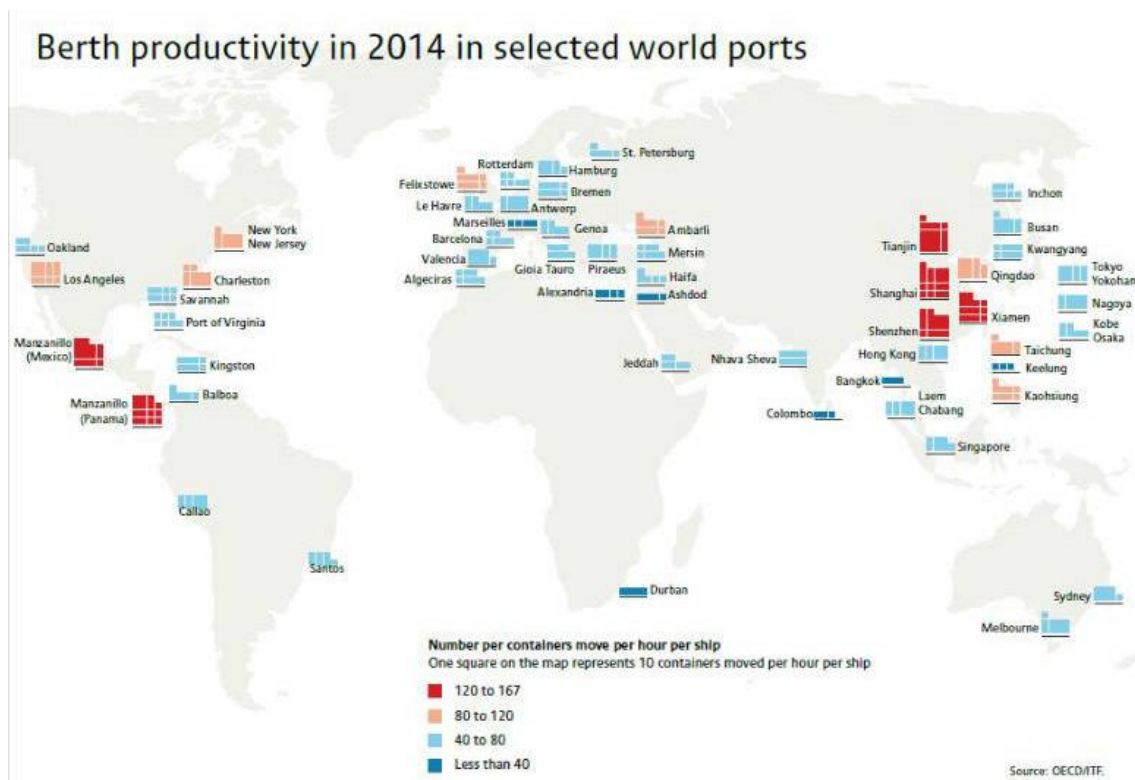
Port	Country	2012 berth productivity	2013 berth productivity	2014 berth productivity	Percentage increase 2013/2012	Percentage increase 2014/2013
Jebel Ali	United Arab Emirates	81	119	138	47%	16%
Tianjin	China	86	130	125	51%	-4%
Qingdao	China	96	126	125	31%	-1%
Nansha	China	73	104	119	42%	14%
Yantian	China	78	106	117	36%	10%
Khor al Fakkan	United Arab Emirates	74	119	108	61%	-9%
Ningbo	China	88	120	107	36%	-11%
Yokohama	Japan	85	108	105	27%	-3%
Busan	Republic of Korea	80	105	102	31%	-3%
Xiamen	China	76	106	90	39%	-15%

Source: UNCTAD secretariat and JOC Port Productivity Database 2015.

Fuente: Journal of Commerce 2015

Como se observa en la Ilustración 27: Productividad por buque atracado en los principales puertos en 2014. **Ilustración 27** en el Este el camino por la productividad en buque se lidera por Panamá y México, aunque el Puerto de Los Ángeles también cuenta con gran productividad. Por otro lado, en la zona Oeste la productividad por buque atracado se centra en China, en los puertos de Shanghai y Shenzhen. Mientras que, por el centro, en Europa, los principales puertos en cuanto a productividad de buque atracado son Bremerhaven (Alemania) y Rotterdam (Holanda), las cuales se encontrarían entre las 15 primeras a nivel mundial.

Ilustración 27: Productividad por buque atracado en los principales puertos en 2014.



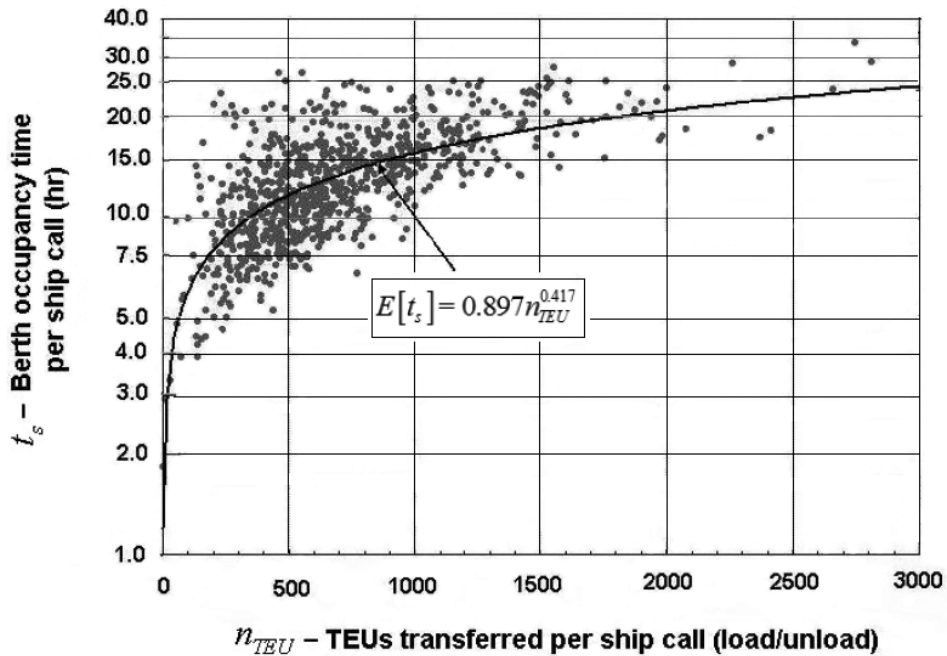
Fuente: OECD/ITF

Como se puede ver en las **Gráfica 3** y **Gráfica 4**, uno de los factores más influyentes en la productividad de buque atracado es el tamaño del buque y la cantidad de movimientos realizados por escala, también llamado tamaño de escala. Cuanto mayor sea la escala y el



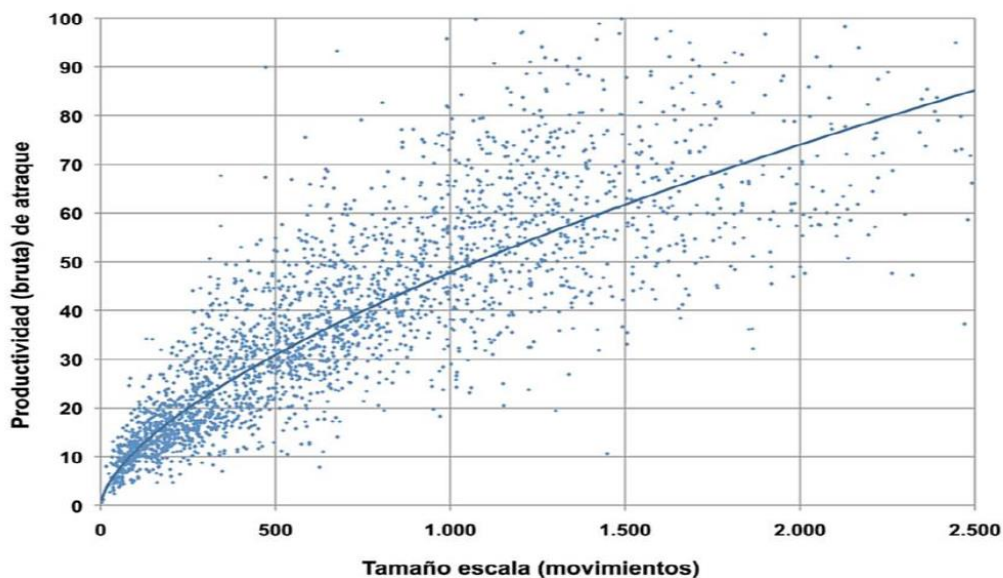
buque, más grúas pondrán atenderlo y menos tiempo, en porcentaje del total, se perderá en el cambio de bodegas. Por otro lado, también cabe destacar que aumentar el número de grúas también dificulta la planificación del subsistema de interconexión puesto que se necesitarán más equipos para el transporte entre subsistemas.

Gráfica 3: Relación entre el tiempo medio de atraque de un barco y el número de movimientos en TEUs.



Fuente: Long-Term planning of a container terminal under demand uncertainty and economies of scale, Bernd Scholz-Reiter et al. 2012

Gráfica 4: Relación entre el número de movimientos y la productividad (bruta) de atraque de los buques. (muestra del Puerto de Valencia, año 2010)



Fuente: Fundación Valenciaport a partir de datos de la APV



4.2. Concepto de nivel de servicio

La definición del concepto de Nivel de Servicio está afectada por muchos factores diferentes, a grandes rasgos los tres principales son la capacidad de las puertas terrestres, la capacidad de la infraestructura y la capacidad del espacio marítimo; la capacidad de la infraestructura internamente depende a su vez de la capacidad de sus 4 subsistemas internos (línea de atraque, almacenamiento, puerta de entrada e intercambio).

El concepto de Nivel de Servicio es el más moderno de los aquí definidas, antes se utilizaban otros conceptos como podrían ser la eficiencia o el rendimiento, pero finalmente se llegaban a conclusiones similares, hasta que recientemente se denominó a así a este concepto cuando empezó a preocupar además de la velocidad del servicio también la calidad de este, y la satisfacción del cliente.

Tras todas estas introducciones pasamos a definir el Nivel de Servicio como, un concepto desarrollado para proporcionar una medida de calidad percibida por los clientes y usuarios del sistema. Por otro lado, facilita la introducción de un escenario de condiciones límites que conlleva el cálculo de capacidad portuaria, por lo tanto, se utiliza como una meta a la que llegar para observa la capacidad necesaria.

En este caso, los clientes y usuarios de los que habla la definición propuesta de Nivel de Servicio son las compañías Navieras, los transportistas terrestres y los cargadores.

El principal cliente de una terminal portuaria, son las navieras y estas perciben la calidad del servicio en el coste y en el tiempo de empleo, en este caso se busca disminuir ambos valores y con ellos los clientes estarán más satisfechos con el servicio y el Nivel de Servicio será mayor.

Pese a que los conceptos de capacidad y productividad tienen bastante literatura, el concepto de nivel de Servicio, se trata de un concepto reciente y del que se puede encontrar escasa literatura.

Uno de los indicadores de nivel de servicio más utilizados es el ratio:

$$\frac{T_P}{Q}$$

Donde:

- T_P : Es el tiempo de estancia del buque en el puerto, es decir, la duración de la escala.
- Q : Es la Cuantía de mercancía a mover en dicha escala.

El Tiempo de estancia del buque en el puerto, T_P , está diferenciado en varias componentes:

$$T_P = T_e + T_m + T_s \quad (2)$$

- T_e : Tiempo de espera (fondeo), que por motivos de congestión portuaria debe esperar el buque para ser atendido.
- T_m : Tiempo de maniobra desde la entrada al puerto hasta atraque.
- T_s : Tiempo de servicio, o tiempo de atraque bruto, es decir, el tiempo en el que el buque está atracado.



Para proceder a la explicación los diversos tipos de niveles de servicio que existen, es necesario explicar antes los conceptos de espera relativa y llegada de buques.

El concepto de **espera relativa** es el tiempo que una naviera debe esperar respecto al del servicio, esto es un parámetro muy importante para el Nivel de servicio puesto que el tiempo de espera cuesta dinero a las navieras y buscan esperas relativas bajas para reducir costes. La fórmula para obtener la espera relativa (ϵ) es la siguiente:

$$\epsilon = \frac{T_e}{T_s} \quad (3)$$

Se puede observar a través de las formulaciones expuestas lo siguiente:

Partiendo de la búsqueda del ratio T_p/Q , se ha cogido la ecuación 2, y prescindiendo del tiempo de maniobra, el cual es muy difícil de reducir a no ser que sea mediante grandes obras, y además es similar para todos los buques, y finalmente partiendo todos los valores entre la cuantía de mercancías a mover, nos queda lo siguiente:

$$\frac{T_p}{Q} = \frac{T_s}{Q} \left(1 + \frac{T_e}{T_s}\right) \quad (4)$$

Además, si se modificamos T_s/Q por $1/P$ siguiendo la ecuación 1, y T_e/T_s por ϵ , siguiendo la fórmula 3, se nos quedaría así:

$$\frac{T_p}{Q} = \frac{1}{P} (1 + \epsilon) \quad (5)$$

Con la fórmula anterior, se demuestra que la productividad y la espera relativa son dos valores fundamentales para el nivel de servicio de una terminal.

Otro concepto importante para el nivel de servicio son las **distribuciones de las llegadas** de los buques, de este concepto dependerá mucho el tiempo de espera de los buques, y será muy importante a la hora de la planificación.

Para los sistemas de distribución de llegadas de buques se utiliza una nomenclatura similar a la siguiente;

$$(f_1/f_2/n)$$

Donde los valores de f_1 vienen definidos por la función de distribución de probabilidades de llegada de buques, los f_2 vienen definidos por la función de distribución de probabilidades de tiempo de servicio y la letra n sería el número de atraques disponibles. Las funciones de distribución de probabilidades pueden ser Exponenciales (M), Erlang de orden K (E_k), constantes (D), hiperexponenciales (H), u otra cualquiera (G).

A falta de no conocer cuáles son las distribuciones de probabilidades para la terminal objeto de estudio, se propone:

- Para terminales de contenedores públicas, se utilice una $M/E_k/n$, es decir, una terminal con distribución de llegadas de buques aleatorias, con tiempos de servicio según distribución Erlang de orden k y con n números de atraque. En cuanto al orden de la distribución Erlang, según diversos estudios se recomienda el uso de orden 4 o superior.



- Para terminales con escalas muy programadas se propone el uso de $E_k/E_k/n$, es decir, distribuciones de tiempo de servicio y de llegadas de buque según Erlang de orden k para n puestos de atraque. Algunos autores identifican las terminales dedicadas con llegadas aleatorias, pero otros autores las identifican como terminales mucho más regulares y dan valores de Erlang del orden 2.

Como **propuesta de niveles de servicio** para el subsistema de línea de atraque se podría realizar una tabla como la **Tabla 3**, donde según la calidad percibida por la naviera en términos de espera relativa (T_e/T_s) y de productividad anual media de buque atracado (P), se obtendría una tabla como esta, que más tarde personalizaremos.

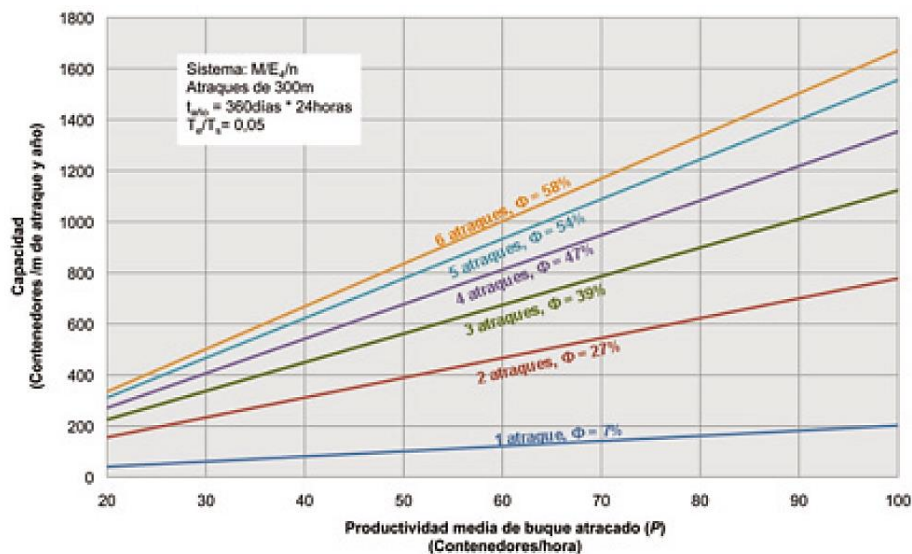
Tabla 3: Propuesta de niveles de servicio para el subsistema de carga y descarga de buques o de línea de atraque.

Nivel de servicio	Espera relativa	NIVELES DE SERVICIO			
D	> 0,20	-	-	-	-
C	0,10 - 0,20	-	CC	BC	AC
B	0,05 - 0,10	-	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			

Fuente: Fundación Valenciaport

Esta propuesta produce 9 niveles de servicio (AA, AB, AC, BA, BB, BC, CA, CB y CC), además consigue relacionar esta **Tabla 3** con los valores de productividad por línea de atraque, a través de la **Gráfica 5** que expresan la relación entre la productividad anual media de buque atracado según los distintos niveles de espera relativa.

Gráfica 5: Capacidad anual por línea de atraque, con un tráfico $M/E_4/n$ y espera relativa 0.05 para 300m de atraque



Fuente: Fundación Valenciaport



A partir de la **Gráfica 5** superior se han creado las **Tabla 4** y **Tabla 5** para líneas de atraque de 300 con los rangos de valores que marcarían los niveles de servicio según las esperas relativas y la productividad media, la única diferencia entre las tablas siguientes es que la primera está en unidades de contenedores por metro y la segunda está en TEUs por metro, se ha utilizado como factor de conversión 1,5 TEUS por contenedor.

Tabla 4: Límites para niveles de servicio para sistema M/E4/2 y atraque de 300 m, en cont./h.

Nivel de servicio	Espera relativa	NIVELES DE SERVICIO (Sistema M/E4/2) Atraque de 300 m			
		Productividad por línea de atraque (cont./m)			
D	> 0,2	-	-	-	-
C	0,2	-	494-706	706-917	> 917
B	0,1	-	363-518	518-674	> 674
A	0,05	-	272-389	389-505	> 505
		< 35	35-50	50-65	> 65
Productividad anual media de buque atracado (P) (cont./h)					
		D	C	B	A
Nivel de servicio					

Fuente: Fundación Valenciaport

Tabla 5: Límites para niveles de servicio para sistema M/E4/2 y atraque de 300 m, en TEUs/m.

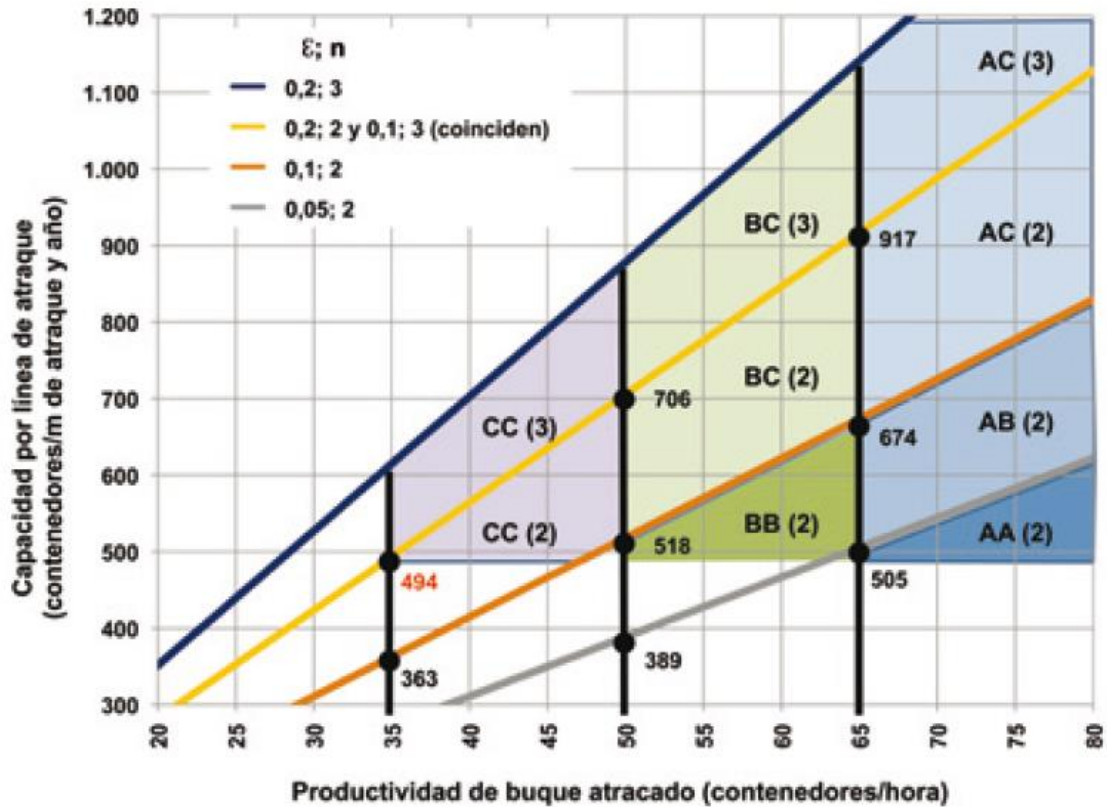
Nivel de servicio	Espera relativa	NIVELES DE SERVICIO (Sistema M/E4/2) Atraque de 300 m			
		Productividad por línea de atraque (TEUs/m)			
D	> 0,2	-	-	-	-
C	0,2	-	741-1.058	1.058-1.376	> 1.376
B	0,1	-	544-778	778-1.011	> 1.011
A	0,05	-	408-583	583-758	> 758
	1 cont. = 1,5 TEUs	< 35	35-50	50-65	> 65
Productividad anual media de buque atracado (P) (cont./h)					
		D	C	B	A
Nivel de servicio					

Fuente: Fundación Valenciaport

En la **Gráfica 6** se observa para el ejemplo anterior, una terminal con línea de atraque de 300 metros como afectaría el cambio de números de atraques y tiempos de espera relativos.



Gráfica 6: Niveles de servicio para el caso M/E4/n para n=2 y n=3 con atraques de 300 m.



Fuente: Fundación Valenciaport

4.3. Concepto de capacidad en terminales portuarias.

Más allá del uso de indicadores empíricos de productividad de los elementos de muelle y almacenamiento, el concepto de las capacidades en el ámbito portuario no toma suficiente protagonismo hasta bien entrado el siglo XX, donde ya se empiezan a escribir monografías más complejas sobre como medir la capacidad.

Cabe destacar que la definición del concepto de capacidad no está fijada, sino que son muchos los autores que han escrito sobre este y muy variopintas sus definiciones.

En los años 70 se definía la capacidad fijando el rendimiento admisible por metro lineal de muelle, pero poco años más tarde Fernando Rodríguez en su monografía "Capacidades de puertos" de 1977, ya empezaba a afinar más estos datos y decía que la definición anterior era "excesivamente simplista porque el rendimiento depende de la naturaleza de las mercancías, es decir de la composición del tráfico, de la dotación de grúas, etc. Es cierto que ello podría mitigarse, en parte, mediante una escala más detallada que tuviese en cuenta las indicadas circunstancias, pero, aun así, este método es inadecuado porque no tiene en cuenta el aumento de capacidad unitaria que se produce al aumentar el número de atraques, como la teoría demuestra y la experiencia confirma, y este incremento no puede salvarse aplicando coeficientes correctores, puesto que estos habrían de ser distintos para cada intensidad de tráfico". Como se observa, Fernando Rodríguez ya dejaba claro que con una simple



aproximación de rendimientos de la grúa de muelle no era suficiente, sino que se tenían que empezar para tener en cuenta más factores.

Más tarde los autores empezaron a poner hincapié en las zonas donde la capacidad puede ser más desfavorable, este es el caso de Maldonado, J. L. que en 1999 anotaba como lugares más desfavorables del puerto: el sistema muelle-buque, capacidad del almacenamiento, capacidad del movimiento interior y la capacidad de los accesos terrestres, es decir ya hablan de los 4 subsistemas a los que nos hemos referido anteriormente.

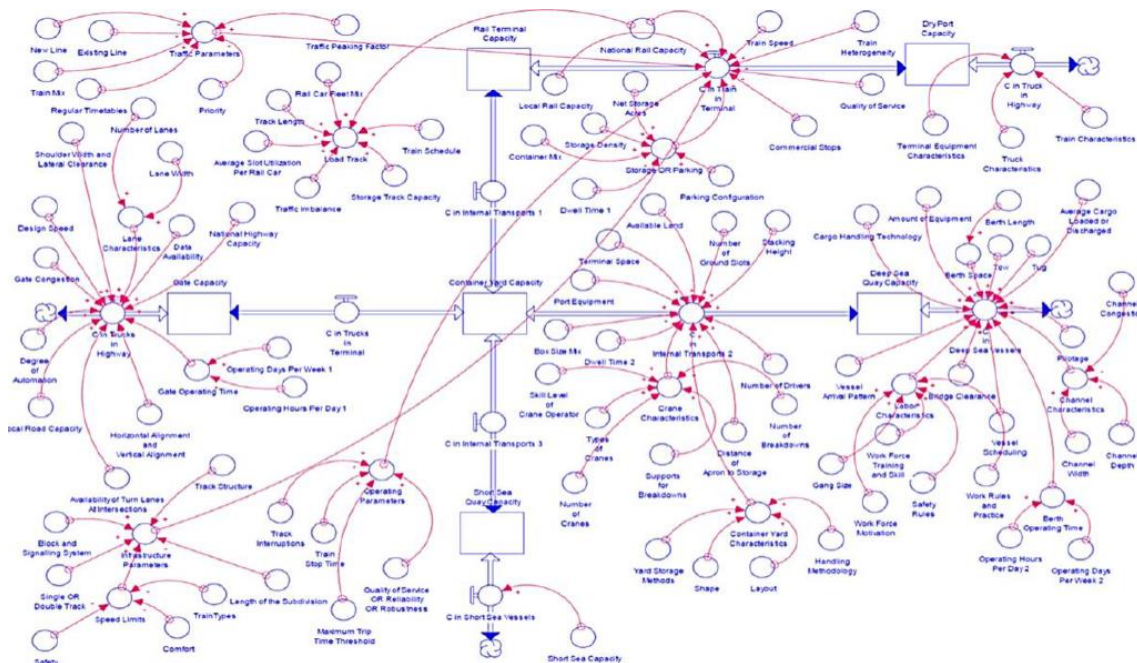
No obstante, en el año 2000 Patrick Fourgeraud, afirmaba que la capacidad máxima se encontraba cuando el tiempo medio de espera del barco y el porcentaje de ocupación de los muelles estaban en equilibrio. Además, en su libro demuestra que no hay una única forma de explotar correctamente un puerto, sino que muchas formas son correctas y se pueden conseguir buenas capacidades de distintas formas.

En 2001, la empresa *TranSystem Corporation* introdujo dos nuevos conceptos de capacidad. En primer lugar, la MPC (Maximum practical Capacity) que es aquel valor realista al que puede llegar la terminal en una situación concreta pico, peor que realmente se opera con valores menores. En segundo lugar, SPC (sustainable Practical Capacity) que puede estar entorno al 80% del MPC y es un valor realista de la capacidad media de una terminal.

Tras todas estas definiciones, se observa que la capacidad es el máximo tráfico al que puede dar servicio en un escenario definido, pero puesto que los escenarios son ilimitados se trata de un concepto muy variable y por lo tanto muy complicado de obtener para situaciones genéricas.

Los autores Islam y Olsen ya ilustraron muy bien la complejidad del concepto de capacidad en las infraestructuras portuaria, en el año 2011 con el siguiente **Ilustración 28**: Esquema de los factores que afectan a la capacidad portuaria..

Ilustración 28: Esquema de los factores que afectan a la capacidad portuaria.



Fuente: Islam y Olsen 2011



En cualquier caso, sería para el cálculo de la capacidad sería apropiado realizar un modelo (más o menos simplificado) del funcionamiento de la terminal, proponer unas condiciones y con todo esto obtener un indicador relacionado de tráfico para el escenario propuesto.

Por lo tanto, estudiando la sistemática interna de las terminales portuarias, se puede tomar como hipótesis que la capacidad de la terminal va a ser la menor de las capacidades de sus subsistemas. Con el fin de intentar simplificar el problema de las capacidades de las terminales, que como se ha visto en el esquema anterior es un problema muy complejo, se ha propuesto tomar una serie de hipótesis que permitan aislar cada subsistema y poder tomar como capacidad de la terminal, la menor de las capacidades de los subsistemas.

Además, como ya se ha visto en los primeros capítulos de este trabajo, desde el punto de vista de la planificación los subsistemas de interconexión y recepción y entrega no se suponen limitantes puesto que se presupone que están dotados con equipamiento suficiente.

En el caso del subsistema de interconexión tan solo es necesario que no retrasen a los equipos que están realizando sus labores, es decir que siempre tengan estos equipos algún equipo de interconexión esperando, esto se consigue aumentando el número de equipos de interconexión y puesto que son equipos con costes relativamente bajos no se contempla como un limitante para la capacidad de la terminal.

En el caso del subsistema de recepción y entrega, hay que distinguir entre ferrocarriles y camiones. Para los camiones externos, el flujo depende del número de puertas terrestres, del horario de estas y el tiempo requerido para realizar la acción de entrada o salida, por todo esto, el operador de la terminal debe dimensionar correctamente el número de puertas en función del número de camiones, variable a lo largo del día, y bajo ningún concepto la entrada a la terminal debe ser el factor limitante de la capacidad del subsistema. Para los ferrocarriles, se debe dimensionar por parte del operador el número de vías suficientes para albergar el tráfico de entrada y salida por este medio. Por otra parte, sí que podría ser limitante este subsistema por el número de equipos, pero vamos a desestimar esta parte para poder simplificar el problema de la capacidad, y así centrarnos en los dos subsistemas verdaderamente más importantes.

4.3.1. En línea de Atraque

Ilustración 29: Sistema de línea de atraque en puerto de shanghái



Fuente: <http://chinapuertos.blogspot.com/>



Los principales factores que intervienen en la capacidad de este subsistema son:

- Las previsiones de volúmenes de mercancías a manipular.
- La distribución estadística de las llegadas de buques y sus características
- Las características de las alineaciones de atraque.
- La distribución estadística del tiempo de servicio.
- La productividad de los equipos de muelle y el número de estos.
- El nivel de calidad de servicio asociado a la espera relativa admisible.
- El tiempo operativo de la terminal al año.

Entre estos factores hay muchos que esta

Como resultado de tener en cuenta todos los factores descritos se obtiene la siguiente formulación de la capacidad anual de la línea de atraque:

$$C_{LA} = n * \emptyset * t_{año} * P$$

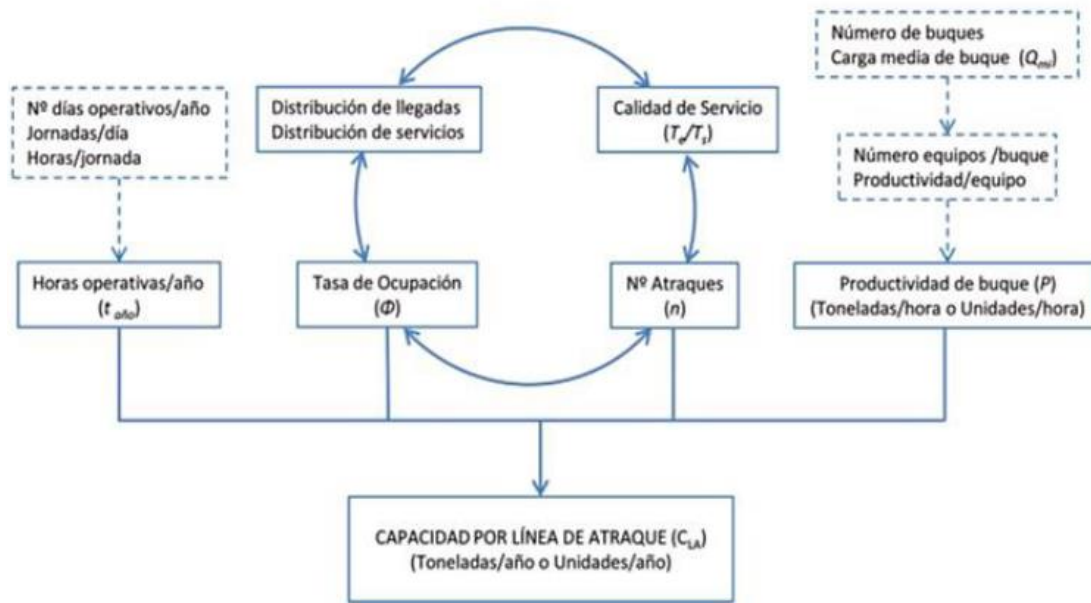
Donde:

- C_{LA} : Es la Capacidad anual de la línea de atraque (toneladas, contenedores o TEUs, unidades por año)
- n : Número de puestos de atraque.
- \emptyset : Tasa de ocupación admisible. Este concepto se explicará más tarde, pero tiene relación con el número de puestos de atraque, la calidad de servicio asociada a la espera relativa y a la caracterización de las llegadas y los tiempos de servicio.
- $t_{año}$: Horas operativas de la terminal al año. Depende de las condiciones climáticas, los días laborables al año y el horario de los trabajadores de dicha terminal.
- P : Productividad anual media de buque atracado. Dicho concepto se ha explicado anteriormente en el concepto de productividad.

En la **Ilustración 30** se observa un esquema de los elementos más importantes para el cálculo de la capacidad por línea de atraque, además se observa las interrelaciones existentes entre ellos.



Ilustración 30: Factores que influyen en la capacidad por línea de atraque de las terminales portuarias.



Fuente: Fundación Valenciaport

En cuanto a la formulación de capacidad en el subsistema de línea de atraque, se ha observado que uno de los puntos importantes es el número de atraques simultáneos a lo largo de esta y para calcularlo se pueden utilizar dos métodos, la forma discreta o la forma continua.

La manera continua trata a la línea de atraque como el número de metros que tenga esta y por lo tanto podrán atracar a la vez tantos buques como quepan, es un modelo más similar a la realidad puesto que optimiza el espacio de la línea de atraque, pero es más complejo a la hora de sus cálculos.

La forma discreta, propone una medida de eslora “media”, como la eslora del buque tipo, y a partir de ella y de un resguardo de seguridad se obtiene la cantidad de buques atracados a la vez, el número de atraques se suele redondear al número entero inferior en el caso de que la división entre la eslora del buque tipo (amplificada con el resguardo de seguridad) y la longitud de la línea de atraque no de un número entero. Este modelo no es tan representativo de la realidad, para el caso de las grandes terminales de contenedores.

La eslora “media” a proponer del buque tipo, no está definida en ningún lado, existen desde los autores que proponen el uso de la eslora media de todos los buques, otros dicen que se debe ponderar según el tiempo de servicio de cada buque, y otros dicen que se debe utilizar como eslora media la eslora que tan solo es superada por un 15% de los buques (González-Herrero et al. 2006). En el caso de estar planificando una terminal nueva o de la cual no tienes datos, se debe proponer la eslora de los buques a los que piensas dar servicio, según la situación geográfica, calado, ... En la **Tabla 6** se pueden ver algunos de los buques que se podrían elegir buque tipo para una terminal de contenedores grande.



Tabla 6: Características buques de reciente construcción.

	Año construcción	Eslora metros	Manga metros	contenedores	Puntal metros	contenedores	Capacidad (TEUs)
MSC GULSŪN	2019	400	61	24	16	18	23500
ULCS	2013	400	59	23	16	18	18000-21000
VLCS	2006	397	56	22	15,5	18	11000-15000
New-Panamax	2014	366	49	19-20	15,2	16	12500
Post Panamax II	2000	340	43	17	14,5	15	6000-8500

Fuente: Elaboración propia a partir de diversas fuentes.

Para el desarrollo de la formulación de la capacidad se ha propuesto que el subsistema de la línea de atraque se estudie como forma discreta por lo que esta se compone de un número determinado de buques, aunque en la realidad en las terminales contenedorizadas la eslora de los buques es muy variable y no siempre hay el mismo número de buques atracados a la vez.


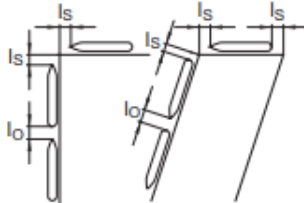
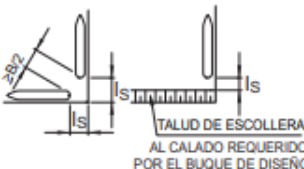
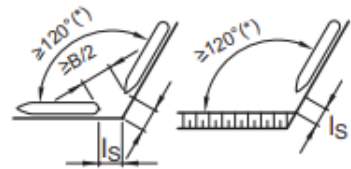
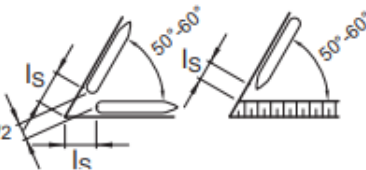
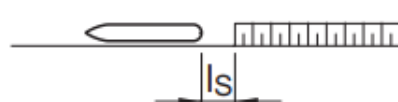
En primer lugar, para el estudio de la línea de atraque se ha de definir el concepto de buque tipo, el cual se ha inventado para el dimensionamiento de terminales portuarias, y es aquel buque al que se piensa que la futura terminal debe dar servicio, aunque no exista aún, y por lo tanto se utiliza para el dimensionamiento de la línea de atraque y sus equipos.

Otro concepto importante, es el resguardo de seguridad, este ya se ha comentado a lo largo de definiciones de los conceptos anteriores, puesto que es necesario a la hora de calcular la tasa de ocupación en la metodología continua o el número de atraques en la metodología discreta.

Este concepto viene definido por la necesidad dejar un espacio entre los buques, para evitar colisiones entre ellos y facilitar las maniobras de los buques para acceder al puesto de atraque. Para el siguiente concepto hay diversas propuestas, no existe un consenso entre los expertos, algunos autores aconsejan dejar un 10% de la eslora como resguardo, aunque la ROM 2.0-11 también propone una tabla (**Tabla 7**) donde acota las separaciones en metros según la distribución de los puestos de atraque y la eslora del buque.



Tabla 7: Propuesta de la ROM 2.1 para el cálculo de los resguardos en planta para línea de atraque

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).

Fuente: González-Herrero et al. (2006)

La tasa de ocupación admisible, \emptyset , se trata de un concepto complejo resultado de considerar, por un lado, la distribución de llegadas de los buques, la distribución de los tiempos de servicio en el muelle y el número de atraques, mientras que, por otro lado, se da una gran importancia también a la calidad de servicio ofertada vinculada a la espera relativa.

Además, si seguimos el estudio discreto se entiende que siempre que exista cola, la línea de atraque estará ocupada al 100%, por lo tanto, las tasas de ocupación con este modelo serán mayores a las que daría si el estudio fuera con el modelo continuo, más similar a la realidad, por lo tanto, según el modo de estudio escogido se utilizarán formulas diferentes con lo que no se deberían realizar comparaciones entre factores estudiados con diferentes metodologías.



En el caso de los muelles estudiados de manera continua, se considera solamente el espacio ocupado como aquel que es ocupado por el buque más una zona de resguardo, que se obtiene a través del coeficiente de separación entre buques ($K_{Separación}$), que se explicará posteriormente.

$$\emptyset_C = \sum_{j=1}^B \frac{K_{Separación} * L_{Vj} * t_{sj}}{L_{LA} * t_{año}}$$

Donde:

- \emptyset_C : tasa de ocupación calculada de manera discreta.
- j : contador de los buques que hacen escala en la terminal durante el tiempo considerado.
- $t_{año}$: horas operativas del muelle al año.
- L_{LA} : longitud de la línea de atraque.
- L_{Vj} : eslora del buque j .
- t_{sj} : horas de servicio del buque j .
- $K_{Separación}$: coeficiente que aplicado a la eslora del buque proporciona la distancia de seguridad entre buques.

En el caso del estudio como muelle discreto, la suposición escogida para el estudio del caso práctico, entonces escogeríamos la siguiente formulación:

$$\emptyset = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{t_{oi}}{t_{añoi}}}{n}$$

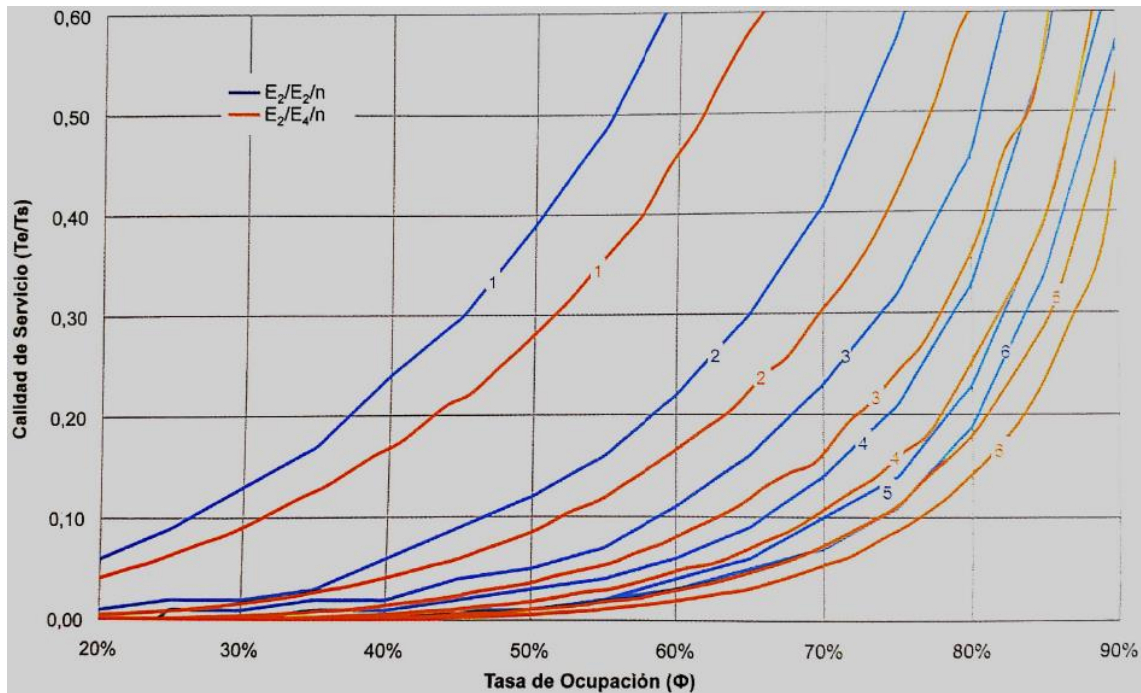
Donde:

- \emptyset : tasa de ocupación calculada de manera discreta
- i : contador de atraques.
- $t_{añoi}$: horas operativas del atraque i al año
- t_{oi} : horas que el atraque i está ocupado
- n : número de atraques.

Según el número de atraques, la distribución de probabilidades de tiempo de servicio (en la siguiente gráfica solo se ha propuesto para Erlang de orden 2 y 4) y la calidad del servicio (medida en T_e/T_s) se observa en la siguiente **Gráfica 7** valores de la tasa de ocupación.



Gráfica 7: Correspondencia de las tasas de ocupación y la espera relativa de los sistemas $E_2/E_2/n$ y $E_2/E_4/n$ de 1 a 6 atraques.



Fuente: Fundación Valenciaport a partir de datos de UNCTAD (1984), Agerchou (2004) y Aguilar y Obrer-Marco (2008).

En la **Tabla 8** se ha sacado los valores de recomendaciones de la gráfica anterior para las terminales de contenedores con valores del ratio T_e/T_s de 0.05, 0.1 y 0.2.

Tabla 8: Recomendaciones para la tasa de ocupación admisible en función del número de atraque y del sistema para terminales de contenedores ($T_e/T_s = 0.05$; $T_e/T_s = 0.1$ y $T_e/T_s = 0.2$)

Nº de atraques (n)	Tasa de ocupación admisible Φ (%)								
	$T_e/T_s = 0,05$			$T_e/T_s = 0,10$			$T_e/T_s = 0,20$		
	$M/E_2/n$	$M/E_4/n$	$E_2/E_4/n$	$M/E_2/n$	$M/E_4/n$	$E_2/E_4/n$	$M/E_2/n$	$M/E_4/n$	$E_2/E_4/n$
1	< 5	7	22	12	14	31	21	24	43
2	25	27	43	33	36	53	47	49	63
3	38	39	53	49	49	63	60	61	72
4	47	47	61	56	57	70	66	68	78
5	53	54	66	62	63	73	71	73	81
6 o más	57	58	69	66	67	77	74	76	84

Fuente: Fundación Valenciaport a partir de datos de UNCTAD (1984) Agerchou (2004) y Obrer-Marco (2008)

Tras la descripción de todos los componentes de la formulación de la capacidad por línea de atraque, y siguiendo las consideraciones realizadas, en la **Tabla 9** se proponen valores medios de las terminales de contenedores en función del tamaño de la terminal y de la caracterización del tráfico.



Tabla 9: Capacidad de terminales de contenedores por línea de atraque en función del tamaño de la terminal y de la caracterización del tráfico.

CAPACIDAD (TEU por metro de línea de atraque y por año)			
Escalas muy programadas. Terminal dedicada. Traslado >50%.	1.300	1.600	1.700
Terminal pública. O/D terrestre > 67%. Alta tasa de ocupación de muelle.	1.000	1.200	1.500
Terminal pública. O/D terrestre > 67%. Mucha competencia.	800	1.000	1.200
Caracterización del tráfico	TAMAÑO DE LA TERMINAL		
	Pequeña > 250 m < 500 m	Mediana > 500 m < 1.000 m	Grande > 1.000 m

Fuente: Drewry (2002 y 2010)

Por último, en la **Tabla 10** se observa de manera más compleja, los rangos para un ejemplo de una terminal de 300 m de línea de atraque, con tiempo de espera de 5%, 10% y 20% del tiempo de servicio.



Productividad, nivel de servicio y capacidad en terminales de contenedores.
El caso de la futura terminal Norte del Puerto de Valencia.



Tabla 10: Capacidad anual por metro de línea de atraque en función del tipo de tráfico, de la productividad de buque atracado y del número de atraque, para atraques de 300 metros.

Sistema y Caracterización del tráfico		CAPACIDAD POR LÍNEA DE ATRAQUE - TERMINAL CONTENEDORES (Contenedores / metro línea de atraque y año) Longitud de cada de atraque = 300 m; $t_{ano} = 8.640$ h Espera relativa: $T_e/T_s = 0,05 - 0,10 - 0,20$						
E _p /E _h /h Escalas muy programadas	Productividad anual media buque atracado (P) (cont./h)							
		1	2	3	4	5	6	
M/E _h /h Llegadas aleatorias	80	505 - 710 - 990	990 - 1.220 - 1.450	1.220 - 1.450 - 1.655	1.405 - 1.610 - 1.795	1.520 - 1.680 - 1.865	1.590 - 1.770 - 1.930	
	70	440 - 625 - 865	865 - 1.065 - 1.270	1.065 - 1.270 - 1.450	1.230 - 1.440 - 1.570	1.330 - 1.470 - 1.630	1.390 - 1.550 - 1.690	
		60	380 - 535 - 740	740 - 915 - 1.085	915 - 1.085 - 1.240	1.050 - 1.210 - 1.345	1.140 - 1.260 - 1.400	1.190 - 1.330 - 1.450
			50	315 - 445 - 615	615 - 760 - 905	760 - 905 - 1.035	875 - 1.005 - 1.120	950 - 1.050 - 1.165
	70	140 - 280 - 480	540 - 725 - 985	785 - 985 - 1.230	945 - 1.145 - 1.370	1.085 - 1.270 - 1.470	1.165 - 1.350 - 1.530	
		60	120 - 240 - 415	465 - 620 - 845	670 - 845 - 1.050	810 - 985 - 1.175	930 - 1.085 - 1.260	1.000 - 1.155 - 1.310
			50	100 - 200 - 345	385 - 515 - 705	560 - 705 - 875	675 - 820 - 975	775 - 905 - 1.050
	40	80 - 160 - 275	310 - 415 - 560	445 - 560 - 700	540 - 655 - 780	620 - 725 - 840	665 - 770 - 875	
		1	2	3	4	5	6	

Fuente: Fundación Valenciaport



4.3.2. Capacidad en el subsistema de almacenamiento

Ilustración 31: Subsistema de almacenamiento de la terminal de contenedores Mariel.



Fuente: Opciones.cu

En cuanto al subsistema de almacenamiento cabe destacar que es un subsistema muy complejo ya que depende de:

- El espacio dedicado al almacenamiento.
- La altura operativa media de apilado.
- El tiempo de estancia de las mercancías.
- La estacionalidad del tráfico
- La gestión del patio.

Para las terminales de contenedores la formulación de la capacidad de almacenamiento sería la siguiente:

$$C_p = N^{\circ} \text{ de huella por TEU} \times h \times \frac{365}{T_a}$$

Donde,

- C_p : Capacidad anual de almacenamiento de la terminal (TEUs anuales).
- h : Altura operativa media de apilado.
- T_a : Tiempo de estancia medio de los contenedores en el área de almacenamiento.
- $365/T_a$: Número medio de rotaciones anuales

Además, la altura operativa media se obtiene con la siguiente función:

$$h = H \times K$$

Donde,

- H : Altura máxima de apilado o altura nominal del equipo
- K : Factor operacional que minorra la altura máxima, lo necesario para poder trabajar en condiciones operativas y evitar realizar excesivas remociones. Los autores Wieschemann y Rijsenbrij, 2004, recomiendan valores de 0.55 hasta 0.7 según el equipo de patio.



Dependen mucho de la tipología de tráfico los valores típicos de altura de apilado o tiempo de escala, por ejemplo, los contenedores vacíos se pueden apilar a mayor altura y los tiempos de escala suelen ser mucho mayores, o los tiempos de estancia varían si los contenedores son de importación o exportación. Por todo esto, la fórmula de capacidad se puede personalizar para cada terminal según la tipología de contenedores, en este caso se expone una formulación en la que se diferencian contenedores llenos y vacíos.

$$C_P = N^{\circ} \text{ de huella por TEU} \times 365 \times \left(\% \text{ llenos} \times \frac{H_{Ll} \times K_{Ll}}{T_{Ll}} + \% \text{ vacíos} \times \frac{H_V \times K_V}{T_V} \right)$$

Donde,

- H_{Ll} : Altura nominal de apilado de los contenedores llenos.
- K_{Ll} : Factor operacional para contenedores llenos.
- T_{Ll} : Tiempo de estancia medio de los contenedores llenos.
- H_V : Altura nominal de apilado de los contenedores vacíos.
- K_V : Factor operacional para contenedores vacíos.
- T_V : Tiempo de estancia medio de los contenedores vacíos.

Para poder comparar esta capacidad con la capacidad por línea de atraque, se debería aplicar un coeficiente, puesto que en esta segunda los contenedores de transbordo se cuentan doble, mientras que en la capacidad de almacenamiento no. Este coeficiente se obtendría de la siguiente forma:

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

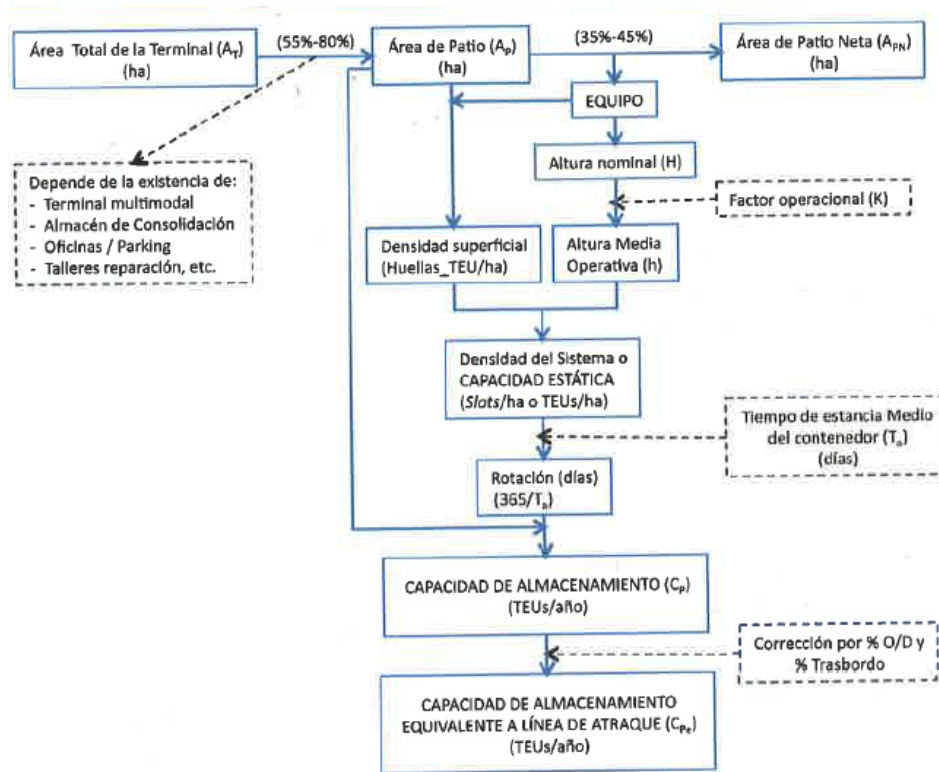
Donde,

- K_{PTB} : Coeficiente de transformación de contenedores de patio en contenedores equivalentes de línea de atraque.
- $\%TB$: Porcentaje de tráfico de transbordo sobre el tráfico total.
- $\%O/D$: Porcentaje de tráfico de origen/destino terrestre sobre el tráfico de la terminal.

En la **Ilustración 32** se observan las relaciones de entre los distintos elementos determinantes en los cálculos de la capacidad de almacenamiento para terminales de contenedores.



Ilustración 32: capacidad de almacenamiento de las terminales de contenedores.



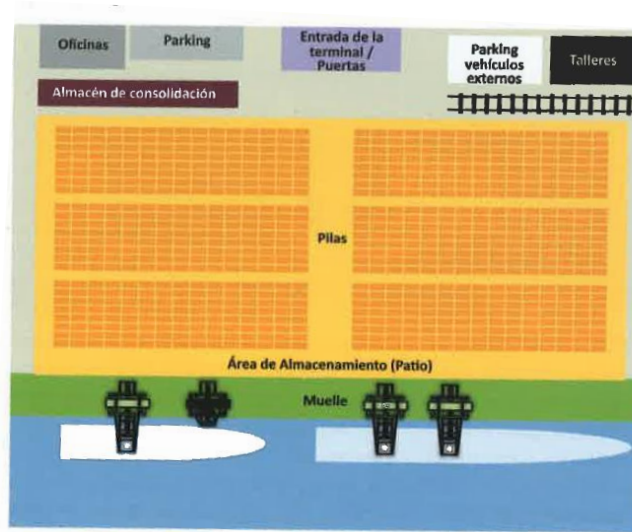
Fuente: Fundación Valenciaport.

La densidad superficial, es uno de los principales factores para el cálculo de la capacidad de almacenamiento, este concepto en la formulación se escribe como “Número de Huellas_TEU” y su definición sería la cantidad de TEU (considerando un TEU como 15 m²) que se pueden distribuir a nivel del suelo según el sistema de almacenamiento.

En primer lugar, para hablar de la densidad superficial del área de almacenamiento de la terminal, se debe conocer dentro del área total de la terminal, que parte está destinada al almacenamiento, a operaciones de muelle, a oficinas, ... En la **Ilustración 33** se observa un ejemplo de las distribuciones de las áreas en una terminal, en naranja claro se observa la zona de almacenamiento, que es la que estamos buscando para obtener la densidad de apilado, esta zona además incluye los viales y los pasillos entre bloques para la circulación del equipo de patio.



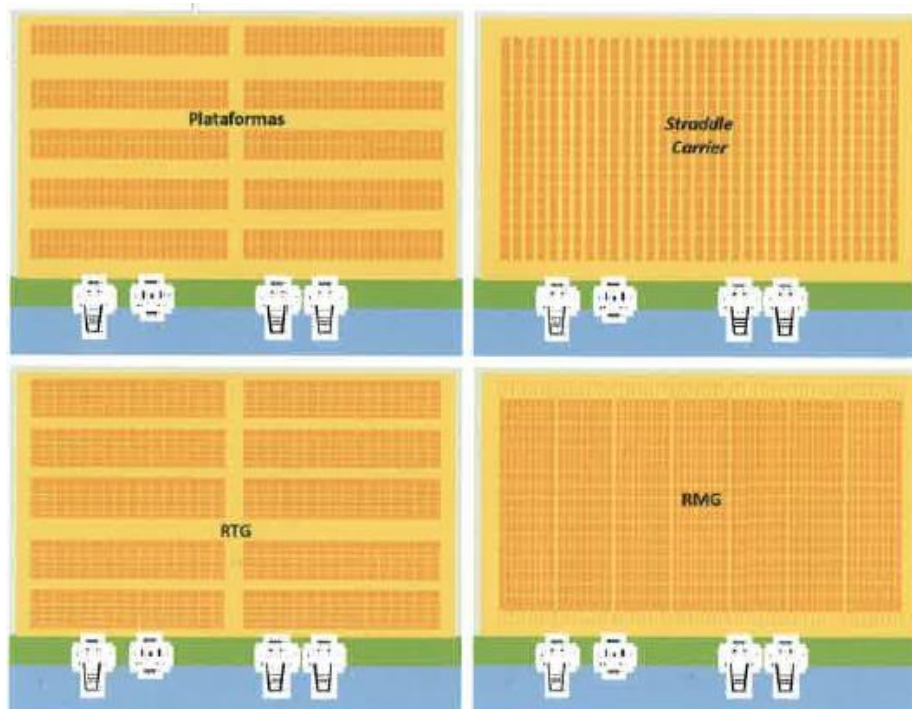
Ilustración 33: Ejemplo de layout de una terminal de contenedores



Fuente: Fundación Valenciaport.

Una vez detectada la zona de almacenamiento será necesario conocer el número de huellas, puesto que la densidad superficial se obtendrá con el cociente de este número entre el área de almacenamiento total. El valor de la densidad superficial depende mucho del equipo de patio utilizado, puesto que según radios de giros y alcances de los equipos se necesitarán un número u otro de pasillos, y el ancho de estos también varía. En la **Ilustración 34** se observan distribuciones para plataformas, Straddle Carrier, RTG y RMG.

Ilustración 34: Distintas configuraciones del área de almacenamiento según el equipo de patio utilizado.



Fuente: Fundación Valenciaport



En la **Tabla 11** se observa valores estimados por diversos autores para las densidades superficiales de almacenamiento de las distintas tipologías de equipamiento de patio.

Tabla 11: Densidad superficial según autor y equipo de almacenamiento.

Autor	Densidad superficial (Huellas_TEU/hectárea de patio)				
	Carretilla	Reachstacker	SC	RTG	RMG
wieschmann (2004)	-	258	265	286	384
Kuznetsov (2008)	130	200	270		330
OPPE (2006)	238	-	278		385
Terminales Internacionales	-	201-276	283-291		261-372

Fuente: Fundación Valenciaport.

A modo de ejemplo, en la **Tabla 12** se muestran valores orientativos por Wieschemann y Rijsenbrij (2004), para cada uno de los equipos de almacenamiento.

Tabla 12: Valores de la capacidad estática de almacenamiento del patio de contenedores según el equipo.

	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	1.284	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

Fuente: Fundación Valenciaport adaptado de Wieschemann y Rijsenbrij (2004)

Otro concepto importante, es la altura operativa media de apilado, puesto que una vez se conocen la cantidad de TEUs que se pueden distribuir a nivel del suelo en el área de almacenamiento (Densidad superficial), se debe averiguar la altura media de apilado para así conocer la capacidad de la zona de almacenamiento.

Para conocer la altura operativa media de apilado, primero se debe conocer la altura máxima, la cual depende de cada equipo de almacenamiento, estos valores se encuentran en la **Tabla 12**. Por otro lado, una vez conocida la altura máxima, para convertirla en la altura operativa media se le aplica un coeficiente minorado, el cual varía según el equipo y ajusta la altura para eliminar remociones innecesarias. En la **Tabla 12** también se muestran valores de este coeficiente propuestos por Wieschemann y Rijsenbrij para cada equipo.



Por último, el tiempo de estancia es un factor dinámico que también influye en la formulación de la capacidad anual de almacenamiento, puesto que cuanto menor sea el tiempo de estancia más contenedores podrán realizar su estancia en la terminal, y la capacidad aumentará. Seguidamente se van a enumerar los días medios de estancia según la tipología de contenedor:

- Exportación llena: 5-9 días.
- Exportación vacía: 12-14 días.
- Importación llena: 8-10 días.
- Importación vacía: 15-20 días.
- Transbordo lleno: 4-7 días.
- Transbordo vacío: 20 días.

Tras todas estas indicaciones sobre los elementos importantes en el cálculo de la capacidad anual de almacenamiento de una terminal de contenedores, se va a exponer la **Tabla 13** y las Gráfica 8: Capacidad anual de almacenamiento (TEUs/ha año) en función de la densidad de almacenamiento y de los días de estancia. **Gráfica 8** y **Gráfica 9** donde se muestran recomendaciones sobre la capacidad de almacenamiento obtenidas de la Fundación Valenciaport.

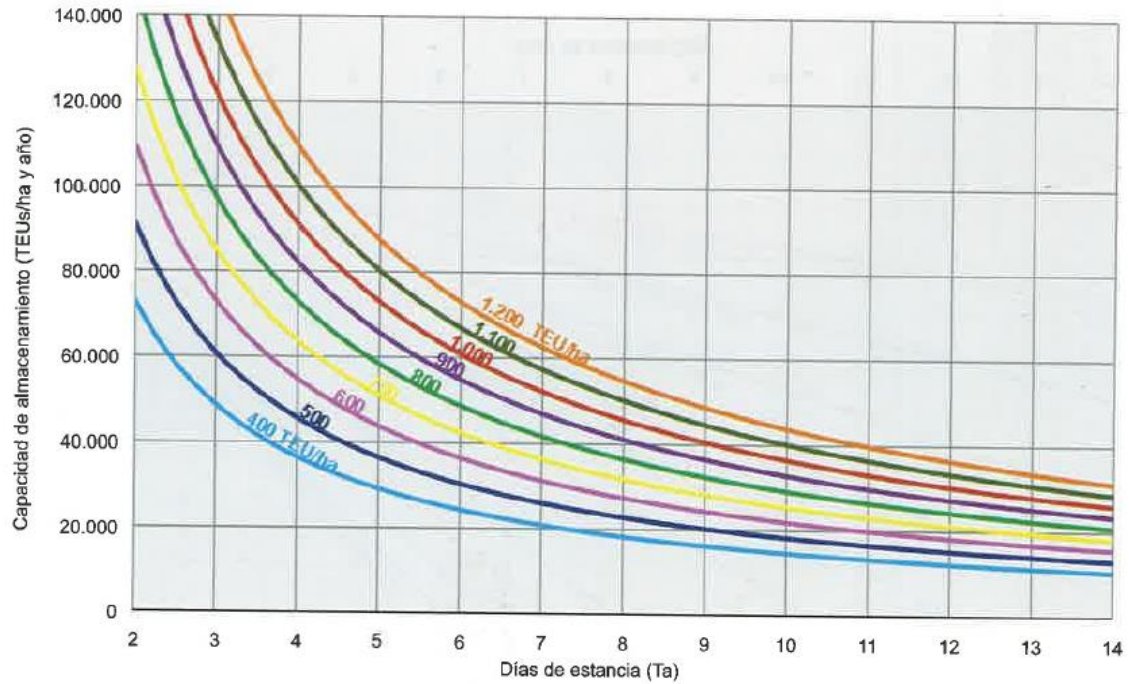
Tabla 13: Densidad superficial, altura operativa media de apilado y capacidad estática de las terminales de contenedores según el tipo de equipo de almacenamiento.

Equipo (anchura; apilado nominal de apilado)	Densidad Superficial (Huellas_TEU/ha)	Altura operativa media (h)	Densidad del sistema o capacidad Estática (TEUs/ha)
Plataforma/Chasis	150-250	1	150-250
Carretilla (-;3)	130-190	1,8	235-345
Reachstackerb(-;3)	200-260	1,8	360-470
SC (-; 3)	265-290	1,8	480-525
RTG (6; 4+1)	260-300	2,4	625-720
RTG (7; 5+1)	290-310	2,75	800-855
RTG (8; 5+1)	300-350	2,75	825-965
RTMG (9;4+1)	340-430	2,8	955-1205

Fuente: Fundación Valenciaport

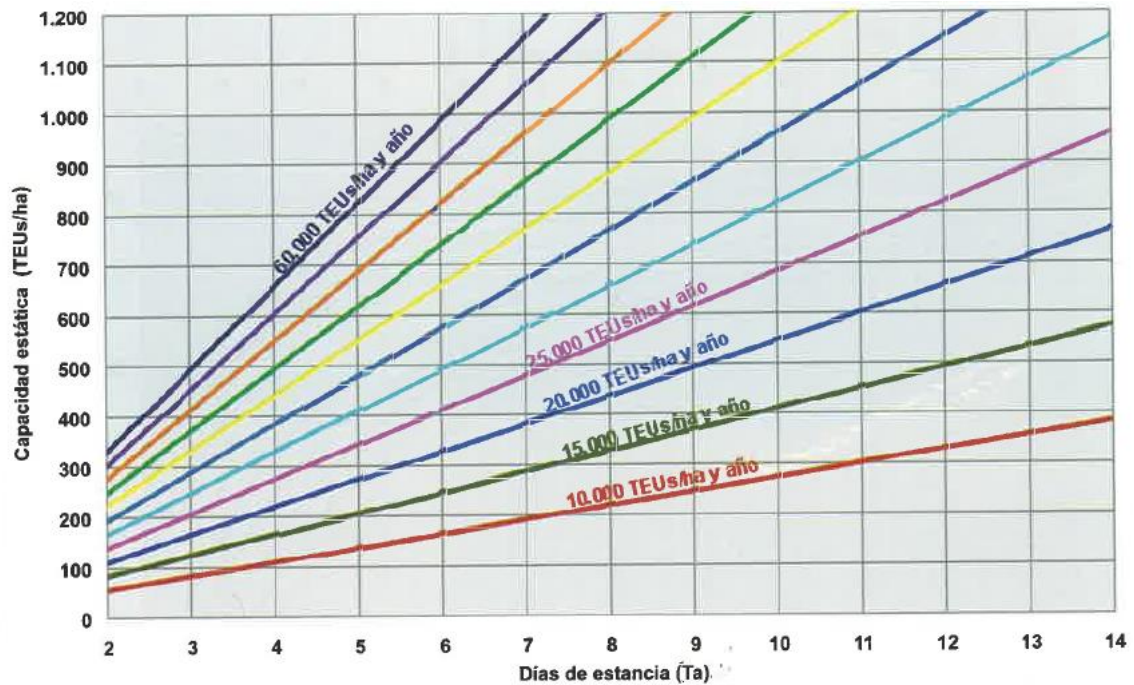


Gráfica 8: Capacidad anual de almacenamiento (TEUs/ha año) en función de la densidad de almacenamiento y de los días de estancia.



Fuente: Fundación Valenciaport.

Gráfica 9: Capacidad estática del equipo de patio como resultado de las necesidades de capacidad anual y de los días de estancia.



Fuente: Fundación Valenciaport

Estas recomendaciones pueden ser muy útiles para la planificación de terminales, puesto que a partir de una capacidad y una estancia media se puede obtener la intensidad superficial mínima requerida y con ella el equipo de almacenamiento requerido.



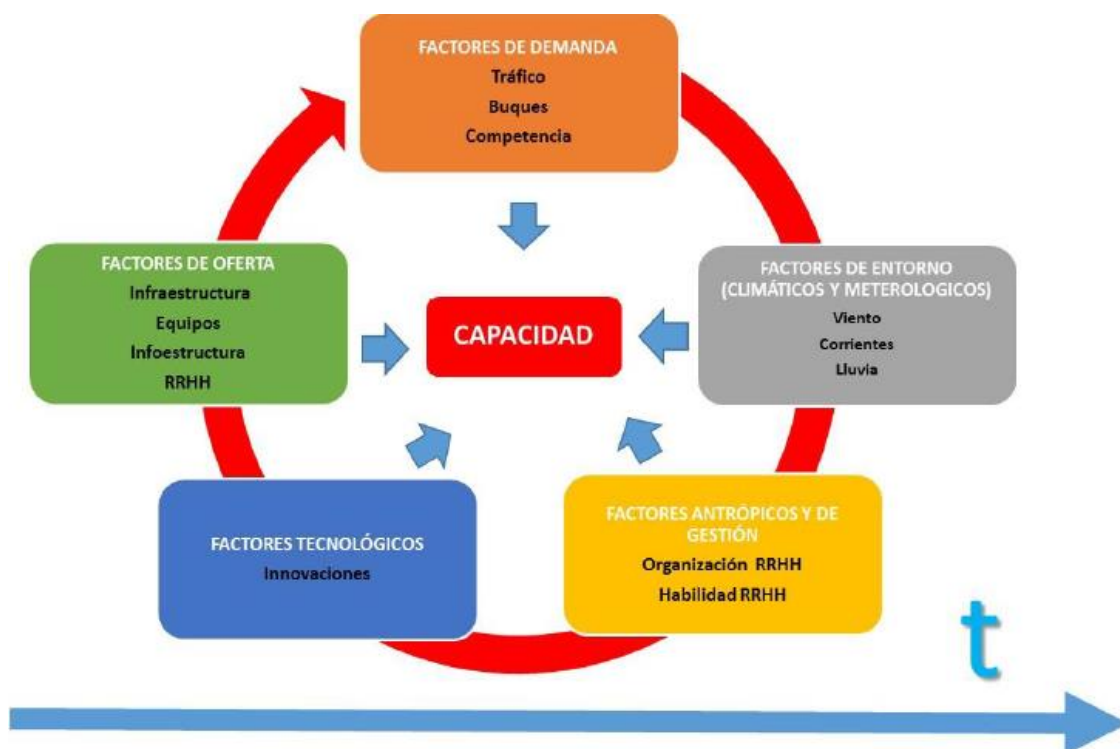
5. Análisis de los factores que afectan a la capacidad

En el apartado actual se van a determinar cuáles son los principales factores que pueden afectar a la capacidad de los dos principales subsistemas de las terminales portuarias de contenedores.

5.1. En línea de Atraque

Partiendo de la materia expuesta en el capítulo 4, se presentan en la **Ilustración 35** los 5 principales factores que pueden hacer variar la capacidad de este subsistema.

Ilustración 35: Clasificación de los factores que afectan a la capacidad por línea de atraque.



Fuente: Monfort, A. (2016)

Seguidamente pasaremos a describir cada uno de estos factores y explicaremos en que aspectos son relevantes cada uno.

Factores de la demanda

En cuanto a los factores derivados de la demanda, uno muy especial es el buque, puesto que como hemos hablado en el capítulo 2, la evolución de las dimensiones de los buques ha sido muy rápida con lo que no todas las terminales han podido ajustarse a este ritmo de crecimiento y por lo tanto no todas las terminales pueden atender a todos los buques.



Además, este crecimiento ha generado que cada buque mueva muchos más TEUs, puesto que en 50 años los buques tienen una capacidad más de 10 veces superior a la anterior y por lo tanto esto exige que la productividad del equipo del muelle, pero a su vez de toda la terminal se vea mejorada para hacer frente a tal demanda.

Por otro lado, otro factor muy importante y difícil de prever es el tráfico. Un dato muy interesante para conocer es la regularidad de las llegadas, ya que si esta es elevada se pueden tener mayores tasas de ocupación asegurando la misma calidad del servicio. También es importante el número medio de movimientos por escala, ya que cuanto mayor sea esto provoca mayores productividades por buque atracado, además esto también puede permitir al buque tener mayor número de grúas que dotan al subsistema de mayor productividad también.

Factores climatológicos y meteorológicos

Estos factores afectan a planificación, donde se tiene que intentar colocar la línea de atraque de forma que se minimicen los efectos del viento sobre los buques, pero sobre todo en la fase de explotación hay que tenerlo muy en cuenta, porque en concreto el viento es un factor que puede reducir las horas de operatividad a lo largo de un año, puesto que las grúas de carga y descarga a partir de cierta magnitud de viento deben cesar su trabajo puesto que puede correr riesgo la mercancía, los equipos de la terminal y los trabajadores portuarios. Estos factores en ciertas zonas pueden ser muy limitantes, sobre todo si no se ha planificado bien el puerto previamente.

Factores antrópicos y de gestión

Estos factores con la automatización de las terminales se van reduciendo cada vez más, son aquellos que tienen que ver con la influencia de las personas en el desarrollo de las operaciones. Dentro de este apartado entra la destreza de los trabajadores, hoy en día cada vez hay menos personas poco formadas en las terminales puesto que estas tareas son automatizadas y quedan las tareas más importantes donde las personas deben estar muy capacitadas, las cuales deben realizar decisiones con gran influencia para la capacidad, es decir este factor cada vez se presenta menos pero cuando entra en acción tiene mayor importancia y puede crear una mayor penalización en la capacidad de la terminal

Está claro que la gestión de una terminal es un factor importante para su propia capacidad. Unos de los ámbitos de la gestión más influyentes son las decisiones sobre el grado de automatización, el nivel de desarrollo del TOS y la gestión del flujo de información con los *stakeholders* que participen en la cadena logística-portuaria de la mercancía.

Factores tecnológicos

Los factores tecnológicos son claves en el desarrollo del modelo portuario, pues en concreto la innovación tecnológica permite hacer frente a nuevos retos exigentes de competitividad, productividad y sostenibilidad, que sin la innovación tecnológica no sería posible. Las mayores evoluciones en la productividad a lo largo de la historia portuaria han sido gracias a avances tecnológicos. Esto hace que se puedan asumir el crecimiento de los buques

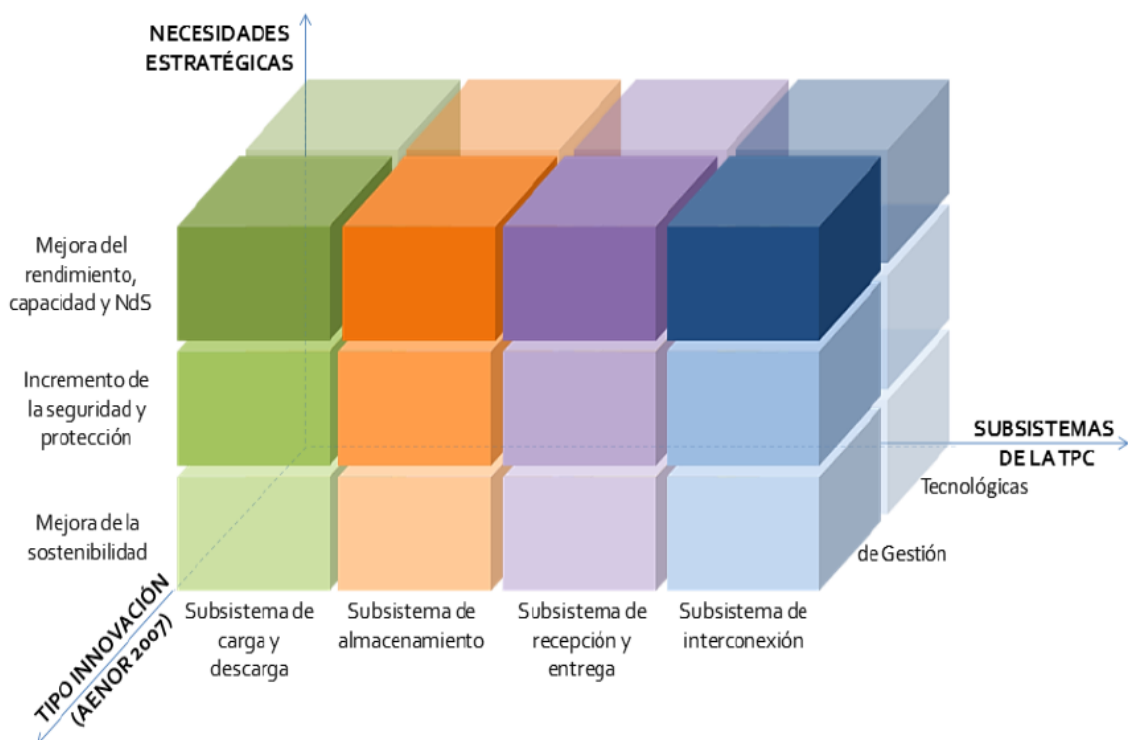


portacontenedores y la demanda constante sin necesidad de aumentar los recursos disponibles, con esto se consigue además minimizar los costes globales de transporte.

Siguiendo la **Ilustración 36** donde se expone el esquema propuesto con Monfort et al. (2012) sobre la clasificación de innovaciones en Terminales de Contenedores, se observa como las terminales pueden innovar en 3 dimensiones:

- Dimensión 1: Innovación en los diversos subsistemas de las terminales o en su totalidad.
- Dimensión 2: Innovación en las necesidades estratégicas.
- Dimensión 3: Innovaciones de gestión o tecnológicas.

Ilustración 36: Tipologías de innovación en TCS: Clasificación.



Fuente: Monfort et al. (2012)

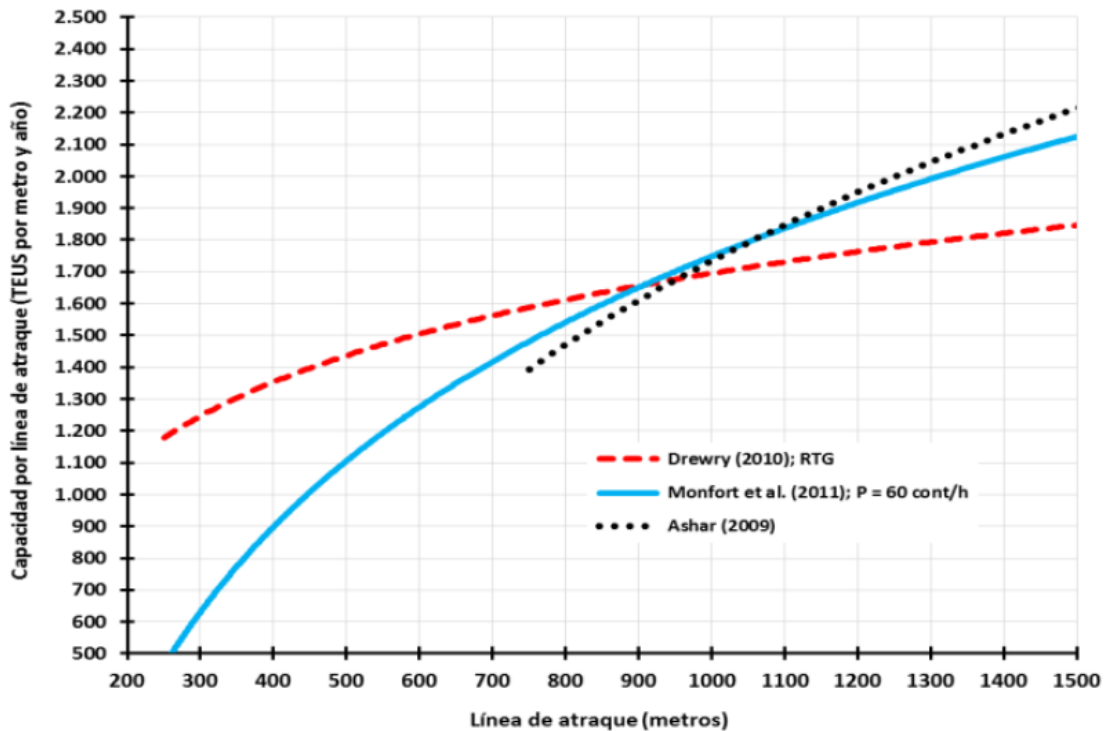
Factores de oferta

En cuando a los factores de oferta se deben tener en cuenta:

En primer lugar, la longitud de la línea de atraque, este es un factor para tener muy en cuenta porque de él dependen el número de puestos de atraque, la espera relativa, ... De hecho, en la **Gráfica 10** se puede ver representadas por regresión logarítmica las recomendaciones de autores, según la longitud de la línea de atraque y su valor de capacidad por metro de línea de atraque.



Gráfica 10: Capacidad anual por metro lineal: detalle de la comparación de los modelos de Ashar (2009), Drewry (2010, RTG) y Monfort et al. (2011, M/E4/n, e=0.1, P=60 cont/h)



Fuente: Monfort, A. (2016), datos: Ashar (2009), Drewry (2010) y Monfort et al (2011)

De la **Gráfica 10** se obtiene que la capacidad de atraque por metro lineal puede incrementar de forma muy sustantiva, en la **Tabla 14** se detallan alguno de los datos representados arriba para el caso del modelo Monfort et al. 2011.

Tabla 14: Valores de Capacidad obtenidos a partir de la gráfica anterior.

Capacidad TEUs	Línea de atraque metros	Capacidad de Atraque TEUs/m
195.000	300	650
780.000	600	1.300
1.485.000	900	1.650
2.340.000	1.200	1.950
3.150.000	1.500	2.100

Fuente: Elaboración propia datos a partir de Arturo Monfort et al 2011

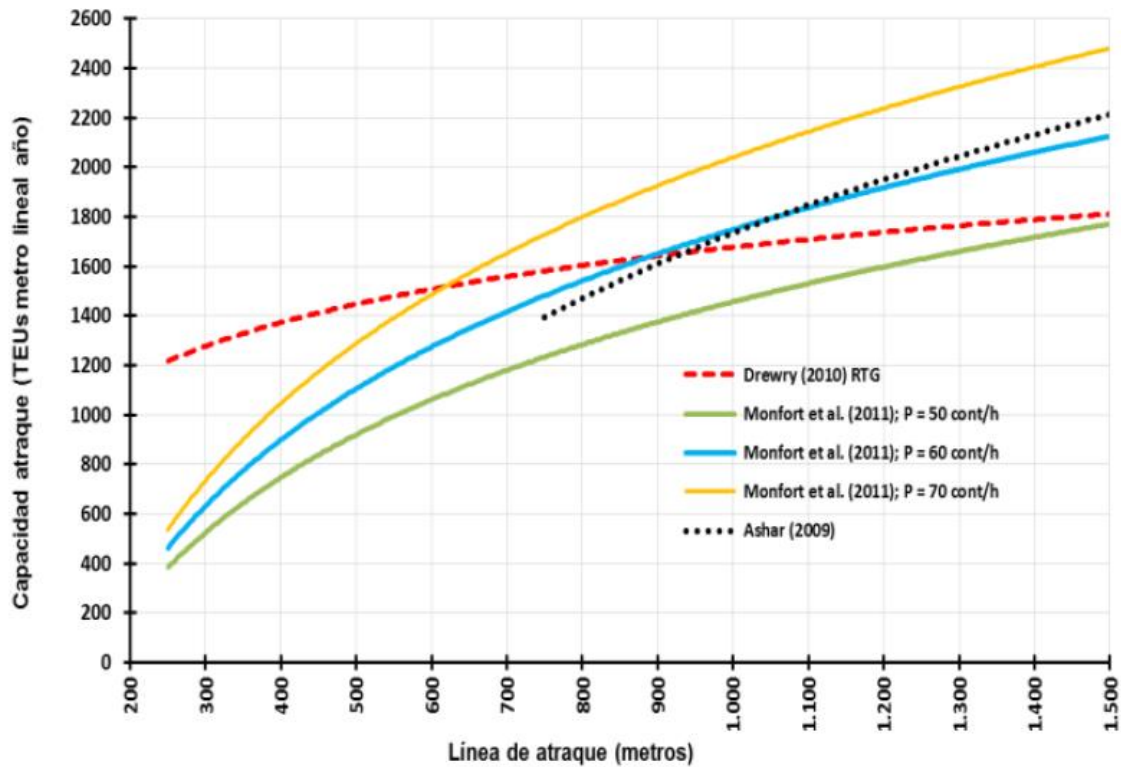
En segundo lugar, otro factor importante es el equipo de muelle, ya que la productividad en la línea de atraque depende del número de grúas que se tenga y de la productividad de cada una de ellas (siempre dando por hecho que el subsistema de interconexión no es el limitante).

En la **Gráfica 11** se ha representado los valores recomendados por diferentes autores según la longitud de la línea de atraque y su valor de capacidad por metro de línea de atraque (**Gráfica 10**) pero además se le ha añadido para el caso de Monfort et al. (2011) diferentes variación de la productividad, la **Gráfica 10** ya contaba con la productividad de 60 pero ahora



se han sumado además productividades de 50 y 70, para así poder observar la gran importancia de este factor en la capacidad por línea de atraque.

Gráfica 11: Capacidad anual por metro lineal de atraque: Modelo Ashar (2009), Drewry (2010, RTG) y Monfort et al. (2011, P=50, 60 y 70 cont/h)



Fuente: Monfort, A. (2016). Datos: Ashar (2009), Drewry (2010) y Monfort et al. (2011).

5.2. En almacenamiento

En cuanto a los factores que afectan a la capacidad de almacenamiento, cabe destacar el tiempo de estancia de los contenedores, los factores de oferta y los factores de innovación.

Factores de Tiempo de estancia

Sobre estos factores ya se ha hablado en el punto anterior, y se ha destacado la dificultad para su previsión. Pero sí que se conocen tiempos medios según la tipología del contenedor.

Si en la fase de planificación y proyecto no se han previsto correctamente estos factores, se puede corregir mediante la aplicación de nuevas tarifas, con estas se puede conseguir reducir el tiempo de estancia de los contenedores o en su defecto aumentarlo si se reducen los costes de almacenamiento. Estas políticas de revisión de costes no son bien vistas por las navieras y por ello se deben intentar evitar, intentando estudiar más afondo el mercado y prevenir mejor este factor.

Factores de oferta

En cuando a los factores de oferta se presentan dos posibles factores a tener en cuenta:



En primer lugar, el equipamiento de patio, este también ha sido descrito durante el punto anterior. En la **Gráfica 11** se recomienda el sistema de apilado según las productividades que requiera la terminal, estos factores son mucho más difíciles de modificar una vez adquiridos los equipos puesto que el coste de adquisición es muy elevado y se necesita plazos muy largos para la amortización del equipamiento.

En segundo lugar, la superficie de patio se trata de un factor constante según el modelo de Drewry (2010) donde indiferentemente de la superficie de patio, el valor de capacidad unitaria por medida de superficie, en este caso hectárea, siempre está en torno al mismo valor, siempre y cuando este bien dimensionada la terminal.

Tabla 15: Drewry: Capacidad unitaria por superficie obtenida con su modelo de capacidad teórica de terminales.

Capacidad TEUs	Superficie ha	Capacidad Superficial TEUs/ha
250000	3,3	75.758
500000	6,6	75.758
750000	9,9	75.758
1000000	13,2	75.758
1250000	16,5	75.758
1500000	19,8	75.758
1750000	23,1	75.758
2000000	26,4	75.758
2250000	29,7	75.758
2500000	33	75.758
2750000	36,3	75.758
3000000	39,6	75.758
3250000	42,9	75.758
3500000	46,2	75.758
3750000	49,5	75.758

Fuente: Monfort, A. (2016) a partir de datos de DREWRY (2010)

Factores de gestión

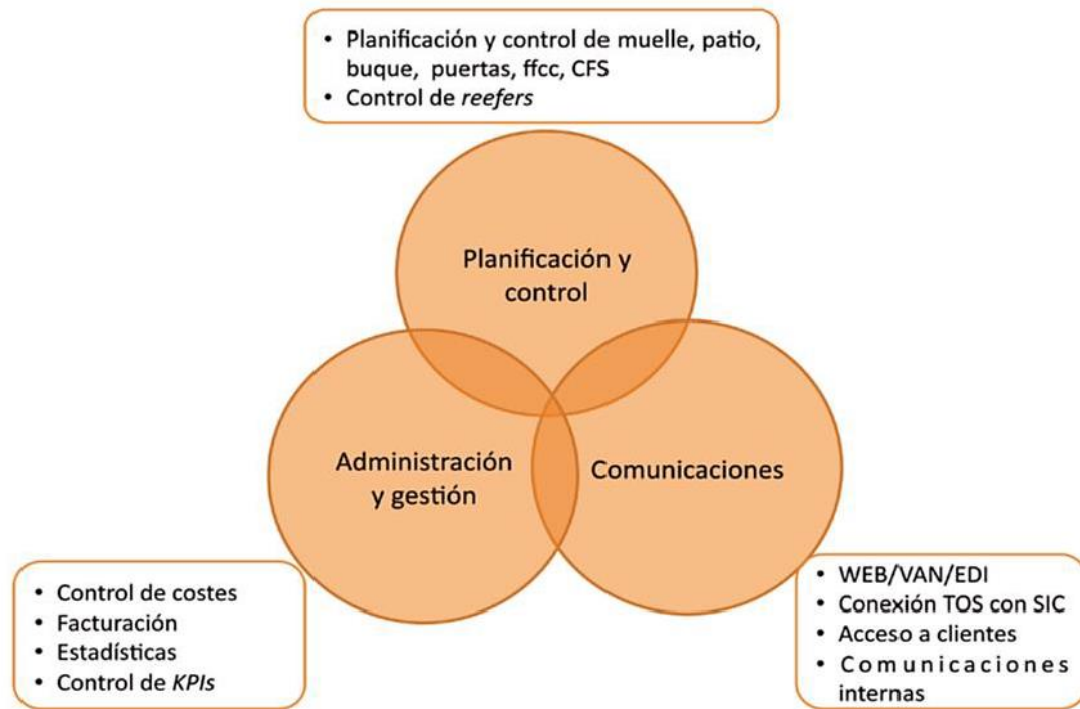
En cuanto a los factores de gestión se va a destacar el Sistema Operativo de la Terminal, puesto que se conoce como el corazón de la terminal, y tiene un papel vital en la capacidad de almacenamiento de la terminal.

El TOS (Terminal Operating System), que en castellano se conoce como SOT, Sistema Operativo de la Terminal, se define como una herramienta software que se emplea en la gestión de las terminales de contenedores, y que procesa, almacena, recupera, trata y utiliza la información, tanto externa como interna, para desarrollar las funciones que tiene implementadas.

Las principales funciones del sistema operativo de la terminal son: la planificación y control de las operaciones, la administración y gestión y la de comunicación. En la **Ilustración 37** se observa estas tres funciones y dentro de cada uno las tareas principales.



Ilustración 37: Funciones de una Sistema Operativo de la Terminal.



Fuente: Monfort et al. (2011A)

En todos estos campos existen funciones a optimizar que pueden hacer que la terminal aumente su capacidad de almacenamiento.

Con respecto al **ámbito de planificación y control**, se podría mejorar el plan de estiba (optimizando de la operación de carga y descarga del buque teniendo en cuenta el plan de escalas), el plan de carga de los ferrocarriles (son un muy buen recurso para sacar mercancía en las horas puntas), el control de gestión de las puertas terrestres (se puede agilizar los trámites de la entrada para así que el paso por la puerta de entrada sea más rápido) y por otro lado también se pueden utilizar algoritmos matemáticos más avanzados para optimizar el empleo de recursos (reducir remociones, optimizar espacio, personal,...).

Con respecto al ámbito de la administración y gestión desde TOS se analiza la productividad, control de costes, facturación, elaboración y análisis de estas... Por lo tanto, en este campo se podría mejorar con la emisión de informes en un menor tiempo, agilizando la toma de decisiones, además de facilitar la gestión de reservas de clientes y todas las relaciones con estos.

Por último, en el ámbito de las comunicaciones se da soporte a los requerimientos de información y a la gestión de órdenes de servicio online a tiempo real. Además, permite que los clientes puedan acceder a la información acerca de buques y contenedores.



6. Métodos para el cálculo de la capacidad y su dimensionamiento

Los métodos para la estimación de la capacidad de una terminal portuaria han ido evolucionando desde sus inicios, desde métodos empíricos basados en datos recogidos por la experiencia, hasta llegar a métodos analíticos más complejos, donde se tienen en cuenta temas como la teoría de colas, además recientemente los métodos analíticos se han ampliado llegando incluso a la simulación donde se pueden observar los comportamientos relacionados con el crecimiento del tráfico y los posibles escenarios futuros.

Los **métodos empíricos** son métodos basados en la experiencia donde se obtiene la capacidad de una terminal relacionándola con datos experimentales de terminal con características similares. Estos métodos son recursos muy utilizados para realizar “números rápidos” o para planificación de nuevas terminales donde no existen datos actuales.

Los **métodos analíticos** se basan en formulaciones matemáticas basadas en conceptos relacionados con cada subsistema, con la finalidad de obtener la capacidad de cada uno de los subsistemas teniendo en cuenta los factores que se crean importantes. Estos son muy utilizados para comprobar que resultados tendría la introducción de algún cambio en una terminal que ya se encuentra en funcionamiento, como por ejemplo el cambio de la tipología de grúas de muelle.

En cuanto a los **métodos de simulación**, concretamente en el ámbito de las terminales portuarias se suele utilizar la simulación estadística, debido a la complejidad que tiene el cálculo de capacidades. Por lo tanto, en estos métodos se tienen como objetivo reproducir el comportamiento de una terminal para diversos escenarios, mediante el uso de programas computacionales. Los métodos de simulación consideran un nivel más elevado de detalle que los modelos analíticos, con esto se consigue reducir el número de simplificaciones que se toman en los casos anteriores. Como inconveniente se puede presentar la gran cantidad de datos que es necesario recopilar, además cabe destacar que cuanto mayor sea la precisión y más detallada sea el modelo de simulación, más exigente se vuelve la capacidad computacional requerida.

6.1. Dimensionamiento de terminales portuarias con la formulación propuesta

Tras el extenso estudio sobre las terminales de contenedores, y todos los factores de estas que pueden afectar a los conceptos de capacidad, productividad y nivel de servicio, se van a describir seguidamente algunos casos prácticos estudiados por otros autores en diversos trabajos, en primer lugar comentaremos el caso de la terminal de Villa Verde el cual se ha estudiado en el libro *Manual de Capacidad de Terminales Portuarias* escrito por Arturo Monfort et al, en el año 2011, el cual ha sido un escrito muy importante para la inspiración del trabajo actual. En el caso de la Valencia no se entrará en el caso de la nueva terminal norte puesto ese será el caso práctico en el que se entrará en el punto 7, donde se aplicará todos los conceptos descritos a lo largo de este trabajo, con estudios similares a los que ahora se van a

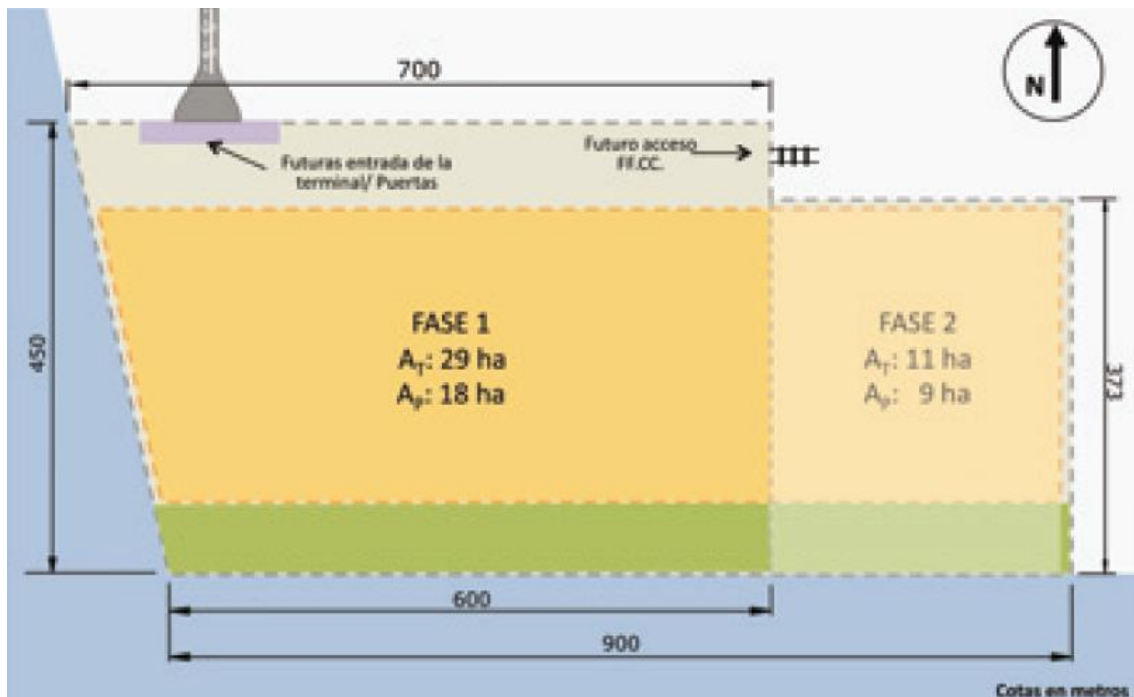


describir, además en el año de redacción del trabajo no se conocía el pliego de concesión y por lo tanto no existían tantos datos para poder hacer dicho estudio.

Puerto de Valle verde

El puerto objeto de estudio en el trabajo de Capacidad de Terminales portuarias va a realizar una inversión para realizar la obra civil de una terminal de contenedores en dicho puerto. La construcción de esta terminal se realizará en dos fases, en primer lugar, se construirá un muelle de 600 metros de longitud y 18 hectáreas de área de patio, posteriormente se realizará la segunda fase, donde se ampliará la línea de atraque en 300 metros y el patio en 9 hectáreas, quedando una terminal total con 900 metros de línea de atraque y 27 hectáreas de patio para el almacenamiento. Esta infraestructura, una vez completada la primera fase, se concesionará durante 20 años a través de un concurso internacional, para su explotación en régimen de explotación pública (TP). Simultáneamente, un importante grupo naviero se ha dirigido a la APVV solicitando una concesión, también de 20 años, para la explotación de una terminal dedicada (TD) de contenedores. Esta segunda terminal también ejecutada por el propio grupo naviero con las mismas características físicas y fases que la primera. Ambas terminales son compatibles, tanto desde la perspectiva estratégica como espacial. Sus respectivas segundas fases se activarán de acuerdo con el Nivel de Servicio a disponer.

Ilustración 38: Terminal de contenedores Tipo- Puerto Valle Verde



Fuente: Fundación Valenciaport

En la **Tabla 16** se muestran más datos necesarios para el cálculo de la capacidad de dicha terminal como, por ejemplo, la eslora del buque tipo escogido para el diseño, la carrera de marea o el calado de la terminal; pero también suponen valores medios como que los días de operatividad al año, las horas por día de operatividad, el tiempo de espera de los contenedores en el patio o la ratio TEUs/contenedor.



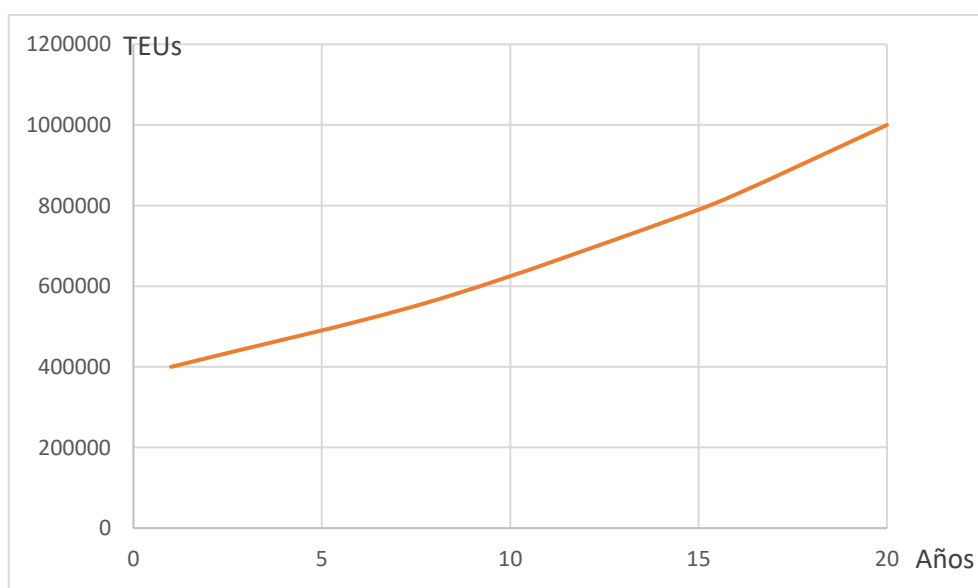
Tabla 16: Datos físicos y operativos de la Terminal de contenedores de la Dársena Sur del Puerto de Valle Verde.

	Fase 1	Fase 2
Longitud de muelle (m)	600	900
Superficie de la terminal (ha)	29	40
Superficie de almacenamiento (ha)	18	27
Eslora del buque tipo (m)	270	270
Días de operación del puerto/año (días)	360	
Horas operativas por días (h)	24	
Calado (m)	16	
Carrera de mareas (m)	0,3	
Ratio TEUs/Contenedor	1,5	
Tiempo de espera (días)	6	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Fundación Valenciaport

En el **Gráfica 12** además se observan la evolución del tráfico para la terminal, la cual parte de 400.000 TEUs en el año de puesta en servicio y tiene un incremento del 5% anual hasta el año 20. Para la TP se estima un transbordo del 15%, mientras que para la TD es del 75%.

Gráfica 12: Previsión del tráfico de las terminales tipo TP y TD Dársena Sur puerto de Valle Verde



Fuente: Fundación Valenciaport.

Para la TP, los niveles de servicio (NdS) mínimos exigidos por la APVV en el contrato de concesión referentes a la espera relativa de la línea de atraque y a la productividad de buque atracado (P) son:

- Nivel de Servicio asociado a la espera relativa
- Nivel de servicio asociado a la productividad del buque atracado
 - o Desde inicio de la concesión hasta los 10 años, la p mínima debe ser de 40 cont/hora.
 - o De 10 a 15 años, la P mínima debe ser el 10% mayor que la inicial.
 - o De 15 a 20 años, la P mínima debe ser el 20% mayor que la inicial.

Y en el caso de la TD el propio operador ha ofertado:



Productividad, nivel de servicio y capacidad en terminales de contenedores.
El caso de la futura terminal Norte del Puerto de Valencia.



- Nivel de servicio asociado a la espera relativa: B (T_e/T_s entre 0.05 y 0.1)
- Nivel de servicio asociado a la productividad del buque atracado (P): A(>65 cont/h)
 - o Desde inicio de la concesión hasta los 10 años, la P mínima debe ser de 65 cont/hora.
 - o De 10 a 15 años, la P mínima debe ser de 70 cont/hora
 - o De 15 a 20 años, la P mínima debe ser de 75 cont/hora

Tras todo el enunciado expuesto en el libro “Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores”, se plantea las siguientes preguntas para responderlas:

1. ¿Cuál es la capacidad por línea de atraque (NdS C) de la **Terminal Pública** a lo largo de toda la concesión, y en qué momento será necesaria la Fase 2, teniendo en cuenta las previsiones de tráfico dadas?
2. ¿Cuál es la capacidad por línea de atraque (NdS B) de la **Terminal Dedicada** a lo largo de toda la concesión, y en qué momento será necesaria la Fase 2, teniendo en cuenta las previsiones de tráfico dadas?
3. Si la estancia media prevista de los contenedores en la terminal es de 6 días, ¿Qué equipo de patio es más conveniente para cada terminal valorando estrictamente temas de capacidad, RTG o SC? ¿Cómo variaría la capacidad según el equipo de patio, en función de los días de estancia?
4. Teniendo en cuenta los resultados de las cuestiones anteriores, y sólo para el equipo de patio más conveniente en cada caso, ¿Cual sería la capacidad de cada Terminal de Contenedores y en qué momentos de la Fase 2 de la terminal debería ponerse en funcionamiento, tanto para la TP como para la TD?

Resolución de la primera cuestión:

1. *¿Cuál es la capacidad por línea de atraque (NdS C) de la **Terminal Pública** a lo largo de toda la concesión, y en qué momento será necesaria la Fase 2, teniendo en cuenta las previsiones de tráfico dadas?*

Como en todos los problemas en primer lugar se destacan los datos existentes y se obtienen a partir de ello los datos necesarios para llegar a la solución.

Los pasos seguidos para la resolución de este caso en el libro de “Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores”, son:

Obtención del número de atraques

En el enunciado daba el dato de la eslora del buque tipo y la longitud, además el autor utiliza la recomendación de algunos autores que aseguran que se puede tomar el 10% de la eslora como coeficiente de resguardo.



$$\text{Fase 1} \quad n = \frac{600}{270 * 1.1} \approx 2 \text{ atraques}$$

$$\text{Fase 2} \quad n = \frac{900}{270 * 1.1} \approx 3 \text{ atraques}$$

Obtención de la productividad de buque mínima

En el enunciado se da el dato de productividad para los primeros 10 años y el incremento de estos para los 10 siguientes:

Tabla 17: Evolución de la productividad a lo largo de la concesión.

PERIODO (AÑOS)	INCREMENTO	PRODUCTIVIDAD DE BUQUE MÍNIMA (P) (CONTENEDORES/HORA)
0-10	-	40
10-15	10%	44
15-20	20%	48

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Fundación Valenciaport.

Tipo de tráfico

Elige un tipo de tráfico M/E4/n, es decir, distribución de llegadas aleatorias, con tiempos de servicios según Erlang 4 y n puestos de atraque. Es elegido este tráfico porque es el que más se asemeja al tráfico de terminales de contenedores públicas.

Nivel de Servicio

El enunciado impone un Nivel de Servicio C, que si marchamos a la **Tabla 5** de este trabajo observamos que este Nivel de Servicio implica unos límites de calidad de servicio (Te/Ts) de entre 0.1 y 0.2, por lo tanto, el límite superior, 0.2, será el criterio que marque cuando será necesario que entre en servicio la terminal de la fase 2.

Capacidad por línea de atraque

La formulación que se ha seguido es la expuesta en el apartado **4.3.1. En línea de Atraque**

$$C_{LA} = n * \emptyset * t_{año} * P$$

Donde conocemos:

- El número de atraques, que varía según la fase.
- La productividad de buque mínima, que varía según periodo.
- Horas operativas al año (se supone 360días/año x 24h=8.640 horas).

Tan solo falta la tasa de ocupación admisible que se obtiene de la **Tabla 18** a partir del número de atraques y nivel de servicio.



Tabla 18: Recomendaciones para la tasa de ocupación admisible en función del número de atraques y del sistema para terminales de contenedores.

Nº de atraques (n)	Tasa de ocupación admisible Φ (%)								
	$T_e/T_s = 0,05$			$T_e/T_s = 0,10$			$T_e/T_s = 0,20$		
	M/E ₂ /n	M/E ₄ /n	E ₂ /E ₄ /n	M/E ₂ /n	M/E ₄ /n	E ₂ /E ₄ /n	M/E ₂ /n	M/E ₄ /n	E ₂ /E ₄ /n
1	< 5	7	22	12	14	31	21	24	43
2	25	27	43	33	36	53	47	49	63
3	38	39	53	49	49	63	60	61	72
4	47	47	61	56	57	70	66	68	78
5	53	54	66	62	63	73	71	73	81
6 o más	57	58	69	66	67	77	74	76	84

Fuente: Fundación Valenciaport a partir de datos de UNCTAD (1984), Agerschou (2004) y Aguilar y Obrer-Marco (2008)

Además, se aplica un factor de conversión de TEUs/contenedor de 1,5, por lo que las capacidades se quedarán como muestra en la **Tabla 19**.

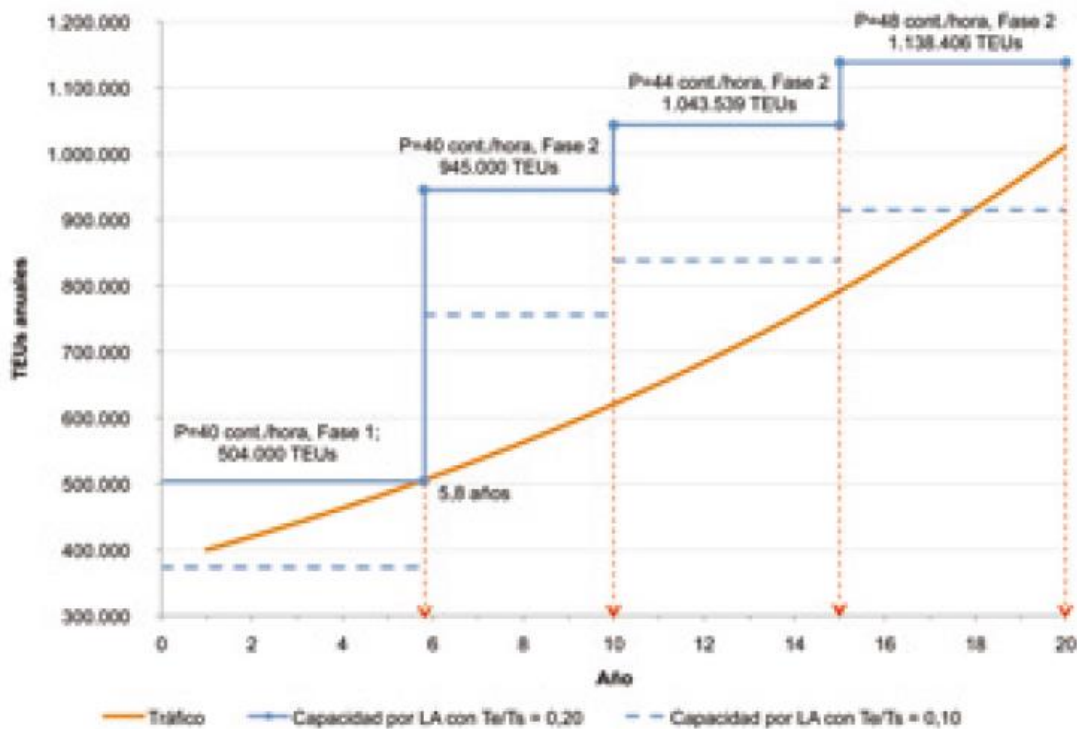
Tabla 19: Capacidades según las distintas productividades por buque atracado y por fases para el caso de la Terminal Sud del puerto de Valle Verde.

Periodo	Productividad	n atraques	Te/Ts=0,1		Te/Ts=0,2	
			Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
			Tasa ocupación	Tasa ocupación	Tasa ocupación	Tasa ocupación
0-10	40	2	0,36	0,49	0,49	0,61
		3	248832	508032	338688	632448
		CL (TEUs/año)	373248	762048	508032	948672
10.-15	44	2	273715,2	558835,2	372556,8	695692,8
		3	410572,8	838252,8	558835,2	1043539,2
		CL (TEUs/año)	298598,4	609638,4	406425,6	758937,6
15-20	48	2	447897,6	914457,6	609638,4	1138406,4
		3				
		CL (TEUs/año)				

En el **Gráfica 13** se representa la capacidad por línea de atraque en azul y la evolución de tráfico supuesta.



Gráfica 13: Comparación de la capacidad por línea de atraque de la TP con la previsión de tráfico.



Fuente: Fundación Valenciaport.

Tras estudiar la **Gráfica 13**, se observa como a partir de 5.8 años la relación Te/Ts para la fase 1 empieza a ser superior a 0.2 que es el límite impuesto por el Nivel de Servicio C, y por lo tanto es necesario la ampliación de la terminal para este año.

En cuanto al resto de la vida, cabe destacar que una vez puesta en marcha la segunda fase el nivel de servicio será muy bueno puesto que hasta el año 18 estará por bajo de 0.1 la relación Te/Ts , pero sin llegar al límite de 0.2 en todo el periodo de estudio.

Resolución de la segunda cuestión:

2. ¿Cuál es la capacidad por línea de atraque (Nds B) de la **Terminal Dedicada** a lo largo de toda la concesión, y en qué momento será necesaria la Fase 2, teniendo en cuenta las previsiones de tráfico dadas?

Para la resolución de la segunda cuestión en el libro de “Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores”, los autores han seguido el mismo procedimiento ya que lo único que cambia es el Nivel de Servicio que ahora es B y que la terminal es una Terminal Dedicada en este caso. Estas variaciones provocan los siguientes cambios:

- El cambio de nivel de servicio hace que los límites de calidad de servicio (Te/Ts) varía a 0.05 el menor y 0.1 el mayor.
- El cambio de ser Terminal pública a Terminal dedicada hace que varíe la llegada de los buques con lo que el tráfico antes seguía una distribución $M/E4/n$, mientras que ahora para las terminales dedicadas las llegadas pueden ser más programadas, en ese caso seguirían una distribución $E2/E4/n$, o más bien aleatorias que seguirían una distribución $M/E4/n$ como las terminales anteriores.



Puesto que el resto es igual que en el caso anterior no se va a profundizar más en este caso, puesto que está resuelto en el libro “Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores”.

Resolución de la tercera cuestión:

3. Si la estancia media prevista de los contenedores en la terminal es de 6 días, ¿Qué equipo de patio es más conveniente para cada terminal valorando estrictamente temas de capacidad, RTG o SC? ¿Cómo variaría la capacidad según el equipo de patio, en función de los días de estancia?

La tercera cuestión, es sobre la capacidad en el almacenamiento, en este apartado la terminal publica o dedicada se diferenciarán solamente por el porcentaje de transbordo, ya que las terminales dedicadas suelen tener porcentajes mucho más altos de transbordo.

El transbordo es relevante en este apartado puesto que en el subsistema de la línea de atraque los contenedores de transbordo se cuentan doble, pero para el subsistema de almacenamiento se cuentan como uno solo.

La formulación seguida en el manual para el cálculo de la capacidad de almacenamiento es la siguiente:

$$C_p = N^{\circ} \text{ de huella por TEU} \times h \times \frac{365}{T_a}$$

Pero como en la previsión de tráfico marítimo se cuentan los contenedores de transbordo como dos y en la línea de atraque también, se debe aplicar a la capacidad de almacenamiento un factor que depende del porcentaje de transbordos de la terminal, con esto se obtendrá la capacidad de patio equivalente por línea de atraque y esta será la que podremos comparar.

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

Donde K_{PTB} es:

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

**TP: 15% tráfico
Transbordo**

$$K_{PTB} = \frac{200}{2 \times 85 + 15} = 1,081$$

**TD: 75% tráfico
transbordo**

$$K_{PTB} = \frac{200}{2 \times 25 + 75} = 1,6$$

Siendo el Tiempo de estancia medio (T_a) 6 días, ya solo falta conocer la altura operativa de apilado y la densidad superficial, que ambas van ligadas con el equipo de patio. En el caso del problema mencionado pedía que se examinara para RTG y SC.

Para obtener los datos de altura operativa y densidad superficial, los autores han recurrido a la **Tabla 12** de Wieschemann y Rijsenbrij (2004), y han cogido directamente los



valores de Capacidad estática que es la multiplicación de ambos para los casos de SC y RTG 6 de ancho.

Con todos los datos se obtienen la **Tabla 20**: Capacidad de almacenamiento de las TP y TD., donde se exponen los valores de capacidad de almacenamiento para ambas terminales.

Tabla 20: Capacidad de almacenamiento de las TP y TD.

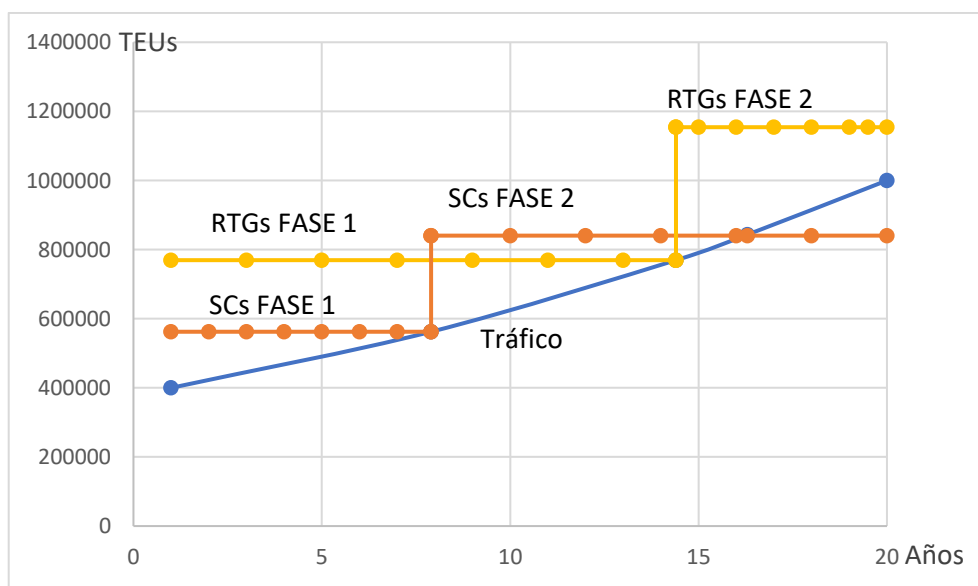
Equipo de Patio Capacidad Estática D _p	Terminal Pública (TP) K _{PTB} =1,081				Terminal Dedicada (TD) K _{PTB} =1,6			
	SC (3+1) 475		RTG (6;4+1) 650		SC (3+1) 475		RTG (6;4+1) 650	
	FASE 1	FASE 2	FASE 1	FASE 2	FASE 1	FASE 2	FASE 1	FASE 2
Área de Patio ha	18	27	18	27	18	27	18	27
Capacidad de patio (TEUs/año)	520125	780187,5	711750	1067625	520125	780187,5	711750	1067625
C _{peqLA} (TEUs/año)	562255,125	843382,688	769401,75	1154102,63	832200	1248300	1138800	1708200
Año ampliación	7,9		14,4		16,1		-	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Fundación Valenciaport.

En los **Gráfica 14** y **Gráfica 15** se muestran las capacidades de almacenamiento de SC y RTG junto con la previsión del tráfico para la terminal pública y dedicada respectivamente.

Para la **Gráfica 14**, el caso de la terminal pública se observa que si se cumple el tráfico previsto no se podría dar servicio los 5 últimos años con el nivel de calidad previsto si escogemos SC, por el contrario, si se escoge RTG se llegaría holgadamente al nivel de calidad impuesto.

Gráfica 14: Comparación capacidades de almacenamiento para RTGs y SCs en la TP con la previsión de tráfico.

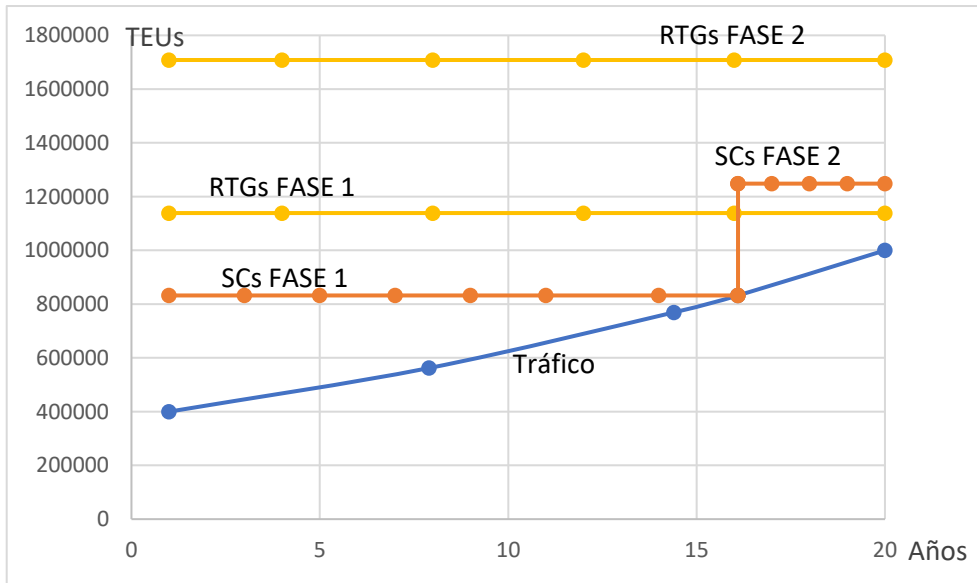


Fuente: Fundación Valenciaport.

Para el caso de las terminales dedicadas, se observa en la **Gráfica 15** que con cualquiera de los dos equipos propuestos sería suficiente, para el caso de las RTG no haría falta ni la ampliación a una segunda fase.



Gráfica 15: Comparación capacidades de almacenamiento para RTGs y SCs en la TD con la previsión de tráfico.



Fuente: Fundación Valenciaport.

A la vista de los resultados de la capacidad de almacenamiento, se propone que tanto la terminal pública como la dedicada, se dote con RTG como equipo de patio ya que para la terminal pública es la única que asegura el nivel de calidad de servicio exigido y para la terminal dedicada no sería necesario ampliar a la segunda fase. Aunque se debería observar si en el caso de la terminal dedicada la línea de atraque requiere la segunda fase y si fuera así haría falta un estudio desde un punto de vista económico-financiero, para poder decidir.

Por otro lado, los autores destacan que a la hora de la planificación cabe ponerse en los peores escenarios posibles, puesto que el tráfico podría crecer más rápido de lo esperado, la altura de apilado, el porcentaje de transbordo podría verse reducido, etc. Es por eso que se plantean que pasaría si el tiempo de estancia medio de los contenedores variara y realizan la **Tabla 21**: Capacidad de almacenamiento de la TP y TD de la Dársena Sur en función de los días de estancia. donde se estudia la capacidad anual para tiempos de estancia medios desde los dos días hasta los 10 puesto que este factor como se ha comentado en el punto 5, se trata de un factor variable y que se puede ver modificado con el paso del tiempo si fuera necesario con la subida o bajada de las tarifas de estancia, o el cambio de políticas de estancia.



Tabla 21: Capacidad de almacenamiento de la TP y TD de la Dársena Sur en función de los días de estancia.

Capacidad de almacenamiento de la Dársena Sur – Fase 2				
A _p : Área de patio = 27 ha				
D _p : Capacidad estática (TEUs/ha)		SC:	475	
		RTG:	650	
Tráfico previsto año 20 (TEUs)		1.010.780		
Días de estancia (T _a)	Capacidad anual (TEUs)			
	TP (K _{PTB} =1,081)		TD (K _{PTB} =1,600)	
	SC	RTG	SC	RTG
2	2.530.338	3.462.567	3.744.900	5.124.600
3	1.686.892	2.308.378	2.496.600	3.416.400
4	1.265.169	1.731.284	1.872.450	2.562.301
5	1.012.135	1.385.027	1.497.960	2.049.840
6	843.446	1.154.189	1.248.300	1.708.200
7	722.954	989.305	1.069.971	1.464.171
8	632.584	865.642	936.225	1.281.150
9	562.297	769.459	832.200	1.138.800
10	506.068	692.513	748.980	1.024.920

Fuente: Fundación Valenciaport

Con la previsión de tráfico actual se prevé tener 1.000.000 de TEUs por lo que si el tiempo medio de estancia bajar a 5 días, el equipo de patio SC podría ser una opción puesto que cumpliría el nivel de calidad de servicio impuesto. En otros casos se observa como el tiempo de estancia podría ser mayor y seguiría cumpliendo el nivel de calidad de servicio impuesto.

Resolución de la cuarta cuestión:

- Teniendo en cuenta los resultados de las cuestiones anteriores, y sólo para el equipo de patio más conveniente en cada caso, ¿Cuál sería la capacidad de cada Terminal de Contenedores y en qué momentos de la Fase 2 de la terminal debería ponerse en funcionamiento, tanto para la TP como para la TD?

En esta última cuestión los autores han hecho un refundido de las gráficas Gráfica 13, Gráfica 14 y Gráfica 15, y han obtenido la Gráfica 16 y Gráfica 17, donde se representan las capacidades por línea de atraque y capacidades de almacenamiento, y a partir de estas se busca el momento en el que se va a necesitar tener en funcionamiento la fase 2. Las capacidades de almacenamiento han sido calculadas para ambos sistemas, tanto para TD como para TP, con un RTG (6 ancho;4+1).

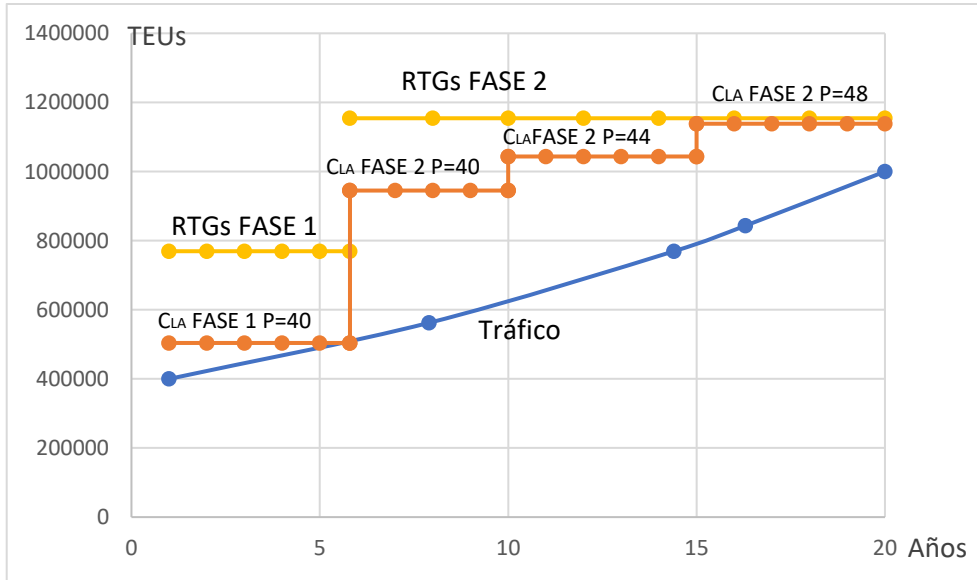
En las siguientes gráficas se decidirá el momento de la ampliación teniendo dos premisas, en primer lugar, que la capacidad de almacenamiento siempre tiene que ser mayor que la capacidad de la línea de atraque, y en segundo lugar que la capacidad por línea de atraque siempre tiene que ser mayor que el tráfico.

$$C_p > C_{LA} > \text{Tráfico}$$



En la **Gráfica 16** se representan las capacidades para la terminal pública con patio RTGs, con una calidad de servicio de 0.2 a lo largo de los 20 años de concesión. Como se puede observar esta terminal necesitaría tener la Fase 2 operativa a los 5,8 años del inicio de la concesión.

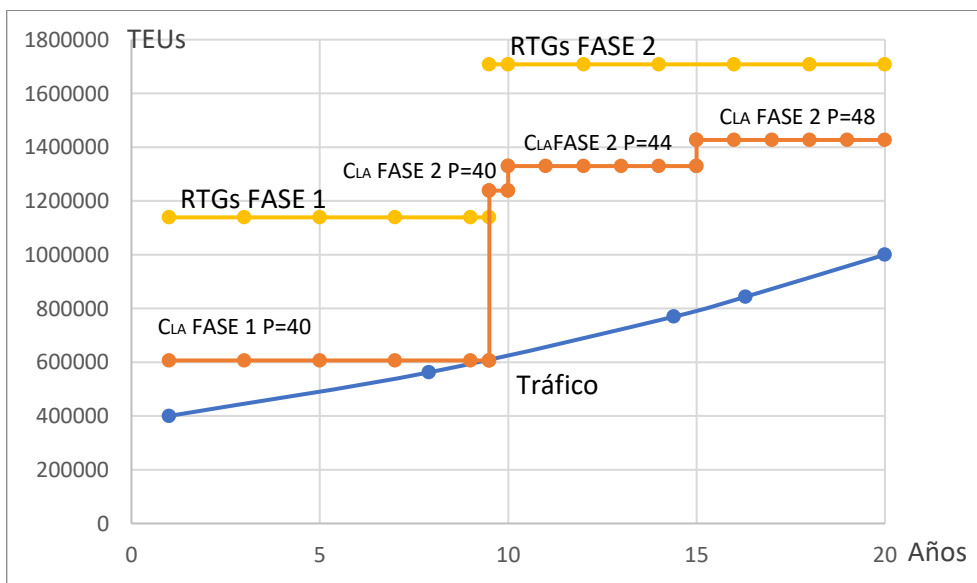
Gráfica 16: Capacidad limitante en la TP para $T_e/T_s=0.2$



Fuente: Fundación Valenciaport.

En la **Gráfica 17** se representan las capacidades para la terminal dedicada con patio RTGs, con una calidad de servicio de 0.1 a lo largo de los 20 años de concesión. Como se puede observar esta terminal necesitaría tener la Fase 2 operativa a los 9,5 años del inicio de la concesión.

Gráfica 17: Capacidad limitante en la TD para $T_e/T_s=0.1$



Fuente: Fundación Valenciaport



7. Aplicación al caso de nueva Terminal portuaria de Valencia

La Autoridad Portuaria de Valencia (APV) en su Plan Estratégico 2015, el cual fue elaborado en 2001-02, determinó dentro de una estrategia de especialización y complementariedad de sus puertos, que el Puerto de Valencia orientaría y potenciaría su actividad hacia el tráfico de contenedores interoceánicos, e identificó la necesidad de acometer la expansión de sus instalaciones para afrontar los crecimientos de tráfico esperados.

En el año 2009, a la vista de los cambios del entorno y a la evolución del tráfico y los buques se observaba que las previsiones del plan anterior se iban a conseguir antes de lo previsto por lo que se inició una revisión del plan estratégico de 2015 con un nuevo horizonte en el 2020. Como resultado de estos Planes estratégicos y con el apoyo del Plan Director de Infraestructuras que se elaboró en 2005 y se aprobó en 2006, se va a realizar la futura nueva terminal Norte de contenedores en el Puerto de Valencia, aunque con alguna revisión con respecto a los estudios anteriores puesto que la futura terminal cuenta con un horizonte temporal que se extiende más allá del 2050. Es por esto por lo que se han realizado algunos cambios con respecto al proyecto inicial, estos cambios se comentarán en el apartado 7.1 *“Pliego del concurso: Parámetros relacionados con el cálculo de la capacidad”*.

En el presente apartado se propone el estudio del caso práctico de la futura terminal Norte de Valencia, el cual es un tema de actualidad puesto que se ha resultado recientemente el concurso de concesión, pero puesto que muchos de los datos de dicha concesión pertenecen a la empresa adjudicataria y son privados, en el presente estudio se propone resolver el caso a partir de suposiciones, siempre que estas suposiciones cumplan las bases de los pliegos de la concesión.

Por lo tanto, se van a estudiar los pliegos de condiciones generales y particulares y de bases de la concesión de la nueva terminal de contenedores de la ampliación Norte del Puerto de Valencia en primer lugar, para conocer así las limitaciones de las que se parte en el estudio y poder hacer un estudio lo más real posible.

7.1. Pliego del concurso: Parámetros relacionados con el cálculo de la capacidad.

A lo largo del presente apartado se han estudiado las limitaciones marcadas por la APV a través de los diferentes pliegos de la concesión de la nueva terminal de contenedores de la ampliación Norte del Puerto de Valencia, que puedan afectar al cálculo de la productividad, capacidad o al nivel de servicio; pero cabe señalar que tan solo se han destacado todas aquellas limitaciones de carácter técnico, mientras que todo aquello relacionado con temas económicos se han dejado de lado, puesto que no se encuentra dentro del alcance del proyecto, pero para realizar un estudio de capacidad completo se deberían tener en cuenta también los factores económicos y las amortizaciones a lo largo del plazo de la concesión.

La Autoridad Portuaria de Valencia como entidad redactora de los pliegos de la concesión ha impuesto las características de la terminal objeto de nuestro estudio, la APV va a realizar una inversión para realizar la obra civil de una terminal de contenedores en el puerto de Valencia. La construcción de esta terminal depende de la empresa adjudicataria, puesto que



en el pliego se ha fijado un máximo y un mínimo de superficies entre las cuales las empresas podrán proponer la superficie que necesite cada una.

En el **ANEJO 2: PLANOS** se pueden observar los planos 3 “Propuesta 1: Dimensiones y superficie” y 5 “Propuesta 2: Dimensiones y superficie”, donde se representan el área mínima y máxima a las que se puede optar en la concesión.

En cuanto a las dimensiones máximas, se proyectó una terminal con un muelle de 1970 metros de línea de atraque y una anchura aproximada de unos 700 metros, que contará además con una playa de vías de ferrocarril de como mínimo 750 m.

Por otro lado, la concesión contempla la posibilidad de que se pueda desarrollar parcialmente o por fases, pero siempre con una longitud mínima de 800 metros de línea de muelle y con una anchura mínima de 600 metros.

El calado en esta línea de atraque será de 19,2 metros en ambos casos.

Además, anexa a esta zona de ampliación del puerto, existe una superficie del muelle ocupada parcialmente por terceros (pero las concesiones terminan recientemente). El destino final de esta superficie está condicionado a la ocupación de dichos espacios al acceso viario y ferroviario de la Ampliación Norte. Una vez se proyecten en dichos espacios los citados accesos viarios y ferroviarios, el licitador podrá proponer que sea incorporada la superficie anexa al ámbito de la concesión.

La nueva terminal según el Pliego de bases del concurso redactado por la Autoridad Portuaria deberá contar con los avances tecnológicos necesarios para proporcionar servicios de alto rendimiento, más sostenibles y competitivos para reforzar el papel del puerto de Valencia como un puerto mixto en el oeste del Mediterráneo. La APV en dicho proyecto compara la futura terminal Norte del Puerto de Valencia con las grandes terminales europeas automatizadas como Rotterdam o Hamburgo.

La terminal proyectada debe contemplar las siguientes características:

- Una capacidad para dar servicio a los buques más grandes en el futuro (ULCS > 24000 TEUs)
- Un desarrollo “*greenfield*”, adecuado para el concepto de una terminal semiautomatizada o automatizada, pero a su vez que pueda ser adaptada a las condiciones de mercado.
- Adoptará los estándares más avanzados en los ámbitos de la innovación, flexibilidad y sostenibilidad.
- Una excelente conectividad y competitividad para los mercados import/export y tránsito, posicionándose en el mercado de puerto mixtos.
- Explotación en régimen abierto al tráfico general de mercancías en contenedor (Terminal pública).

El plazo de la concesión será de 35 años prorrogable hasta un máximo de 50 años en el caso de que la terminal no tenga las dimensiones máximas, pero si por el contrario la concesión ha sido por el total de la superficie disponible se le otorgará un plazo de 50 años.

El licitar tendrá que proponer dentro de la superficie concesionada la distribución detallada de: Zona de maniobra, áreas de depósito, circulación de la Terminal puertas de acceso al recinto, terminal ferroviaria, zonas de espera, centro de atención documental, zonas



de inspección, disposición de edificios, instalaciones auxiliares, zona para el depósito de mercancías peligrosas, zonas de aparcamiento, zona de referees, zona de taller, reparación de maquinaria y mantenimiento preventivo, etc. De la misma manera, que para la puerta terrestre se deberán especificar el número de carriles y el sistema de control.

El licitador deberá proveer toda la maquinaria, equipamiento y medios para la explotación de la Terminal, como una terminal de última generación semiautomatizada o automatizada, eficiente y sostenible, debiendo cumplir tanto los requisitos del PCGP. Presentado así una descripción funcional de los equipos y maquinaria como un listado de los elementos más relevantes; el número, la descripción técnica, año de construcción/fabricación y el rendimiento máximo asignable. Además, el licitador debe de dar servicio en la terminal 7 días a la semana y 24 horas al día siguiendo con la condición 44ª del PCGP.

El licitador presentará el volumen de tráfico mínimo comprometido de contenedores llenos, para todo el período de duración de la concesión, incluido un período de crecimiento progresivo para los primeros 4 años. Este tráfico mínimo se debe distinguir entre:

- TEUs de import/export llenos.
- TEUs de tránsito llenos.

A partir del cuarto año, el volumen de tráfico mínimo comprometido de tránsito de contenedores llenos deberá ser superior al 20% de la capacidad de la terminal, y la suma de este y el volumen de tráfico mínimo comprometido de import/export de contenedores llenos deberá ser superior al 40% de la Terminal.

Se deberá justificar:

- El número máximo de grúas que se podrá instalar en el muelle a partir del cual no será de aplicación el ratio de rendimiento de TEU por equipo de muelle que conlleve la incorporación de nuevas unidades.
- Los niveles de servicio, productividad y capacidad anual de la terminal en base al tráfico previsto. La capacidad no puede ser inferior de 2100 TEUs/m de muelle al año.

En cuanto a los sistemas de información, desde el Pliego de Prescripciones Generales y Particulares de la concesión la APV exige que el concesionario debe utilizar un producto software de mercado para el Sistema Operativo de la Terminal (*TOS, Terminal Operating System*) que tenga un reconocido prestigio y con implantación internacional. Durante todo el periodo concesional el software del TOS en producción deberá ser una versión de mercado con una antigüedad máxima de 48 meses.

El concesionario deberá implementar todas las conexiones telemáticas con la comunidad portuaria que se acuerden en los foros de trabajo tutelados por la Autoridad Portuaria de Valencia (EDI, PCS, etc.). En este sentido, el concesionario deberá participar activamente en el "Valenciaportpcs", *Port Community System* desarrollado por la Autoridad Portuaria, comunicando en el momento en el que se produzcan las siguientes operativas: carga/descarga de contenedor en buque, carga/descarga de contenedor en tren y salida/entrada de camión en terminal (con o sin contenedor), con el fin de poder ofrecer al cliente un seguimiento integral de la cadena de transporte (incluso transporte terrestre) en tiempo real.

En el anexo IV del Pliego de bases del concurso se exigen como parámetros mínimos a parte de los ya comentados anteriormente, los siguientes:



- Operaciones de muelle: productividad de 100 movimientos por buque atracado por hora bruta de atraque (durante operaciones de más de 10.000 TEUs).
- Operaciones de puerta: 60 minutos de estancia de los camiones por operación.
- Operaciones ferroviarias: realizar un mínimo del 10% del volumen de import/export por esta vía a partir del quinto año de explotación.
- Número de conexiones Reefer: como mínimo 1000 conexiones.

7.2. Productividad, nivel de servicio y capacidad de la futura terminal de contenedores

En el presente estudio se quiere observar a través de los pliego de bases y condiciones del concurso para la construcción y explotación de la nueva terminal de contenedores de la ampliación Norte del Puerto de Valencia cuales son los objetivos a los que pretende llegar la Autoridad Portuaria de Valencia, a priori se trata de un pliego exigente puesto es una terminal con una superficie de almacenamiento grande y una gran línea de atraque, y en el pliego la compara con las terminales más punteras de Europa como Rotterdam o Hamburgo.

Para el estudio de la productividad, nivel de servicio y capacidad de la futura Terminal de contenedores en primer lugar se harán dos grandes propuestas relacionadas con la superficie a disponer en la concesión, ya que en el pliego se imponen unos límites de superficie y línea de atraque, esta será la principal diferencia entre las dos propuestas:

- Propuesta 1: Superficie mínima.
 - Línea de Atraque 800 metros
 - Anchura de la zona de almacenamiento 600 metros.
- Propuesta 2: Superficie máxima.
 - Línea de Atraque 1980 metros
 - Anchura de la zona de almacenamiento 700 metros.

Dentro de estas propuestas, se estudiarán todos los casos posibles que generarán un amplio abanico de posibilidades, puesto que hay muchos factores con gran variabilidad y deberán ser estudiados detenidamente.

Algunos de los factores que afectan a ambos casos son:

“Buque tipo”

Cabe destacar que la decisión del buque tipo es una decisión muy importante porque de ello dependen gran parte de los factores que afectan a la capacidad como son el número de atraques y la tasa de ocupación. Por lo tanto, este será un valor que tendremos que ajustar en el dimensionamiento de la terminal para poder cumplir con las exigencias de capacidad mediante valores de productividad por buque atracado razonables.

Cabe destacar que se va a intentar siempre dar servicio a los buques más grandes posibles puesto que en el pliego se explica que la principal causa por las que se modificó el proyecto anterior de la terminal y se decidió cambiar la ubicación del muelle de atraque es que el proyecto anterior estaba dimensionado para buques de hasta 11.000 TEUs pero debido a la



evolución de los buques portacontenedores la nueva terminal debería estar preparada para dar servicio a los nuevos Buques Ultra Grandes de Contenedores (ULCS>24000 TEUs). Como se observará en la siguiente propuesta dar servicio a estos buques con las dimensiones mínimas es algo muy complicado y por lo tanto, no hemos tomado estos buques como buques tipo en el primero de los casos, pero en el segundo si que se va a proponer.

NÚMERO DE ATRAQUES

Para obtener el número de atraque se ha decidido emplear la forma discreta, donde se propone una medida de eslora “media”, como la eslora del buque tipo, y a partir de ella y de un resguardo de seguridad se obtiene la cantidad de buques atracados a la vez, el número de atraques se suele redondear al número entero inferior en el caso de que la división entre la eslora del buque tipo (amplificada con el resguardo de seguridad) y la longitud de la línea de atraque no de un número entero. Este modelo no es tan representativo de la realidad, para el caso de las grandes terminales de contenedores, puesto que están abiertas a recoger mucha más variedad de barcos a la vez, para el caso de las terminales con líneas de atraque más pequeñas esto es más parecido a la realidad.

TRÁFICO PROPUESTO

Normalmente en las propuestas de tráfico se realizan tres suposiciones, una con la media de crecimiento estimada por el crecimiento del PIB mundial o del Hinterland, y otras dos con propuestas más optimistas y pesimistas respectivamente. Pero en este caso los pliegos son tan exigentes que tan solo las grandes empresas terminalistas pueden cumplirlo y por lo tanto en este aspecto seguiremos los mínimos marcados por los pliegos.

Además, pese a ser una terminal pública, el pliego impone un porcentaje muy alto de transbordo, por lo tanto

A lo largo del pliego se expone que al cuarto año de funcionamiento de la terminal esta debe estar al 40% de su capacidad, y tomando como base esta exigencia se han realizado dos gráficas dependiendo la longitud de la línea de atraque.

Para el caso de la terminal con menor línea de atraque posible, 800 metros, los valores de tráfico a cumplir serían los siguientes:

$$C_4 = 0.4 * 800 * 2100 = 672.000 TEUs$$

$$C_{50} = 800 * 2100 = 1.680.000 TEUs$$

Para el caso de la terminal con mayor línea de atraque posible, 1960 metros, los valores de tráfico a cumplir serían los siguientes:

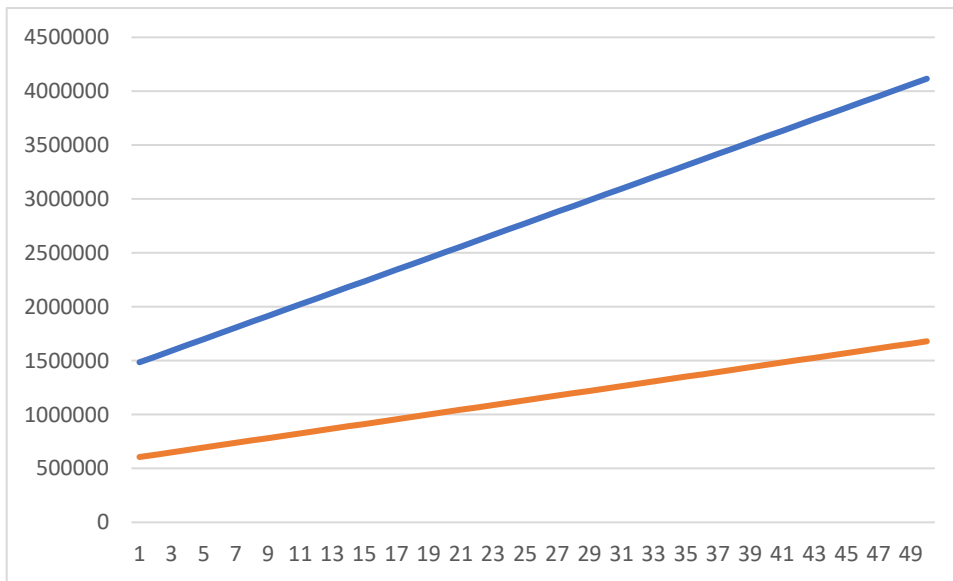
$$C_4 = 0.4 * 1960 * 2100 = 1.646.400 TEUs$$

$$C_{50} = 1960 * 2100 = 4.116.000 TEUs$$

En la **Gráfica 18** se puede ver la representación gráfica de la evolución de los tráficos a cumplir en ambas terminales.



Gráfica 18: Evolución tráfico exigido para la superficie máxima y mínima de la concesión.



Fuente: Elaboración propia.

INDICADORES DE CALIDAD

Según Agerschou (2004), algunos estudios de viabilidad económica indican que, en el caso de las terminales de contenedores, el tiempo de espera no debe ser mayor que el 10% del tiempo de servicio. Por lo tanto, se van a proponer para el correcto funcionamiento de la terminal que los ratios de T_e/T_s no sean superiores a 0,1 como límites, pero también se estudiará la posibilidad de limitarlo a 0,05, puesto que la espera relativa es un indicador de la calidad del servicio, y con esta nueva terminal se buscar alcanzar la excelencia en todos aquellos factores que se pueda.

TIEMPO DE SERVICIO

El tiempo de servicio también está bastante acotado, puesto que en el pliego se obliga a que la terminal deba estar operativa las 24 horas al día y 7 días a la semana, y la Ciudad de Valencia no se encuentra en una zona con grandes problemas climáticos es por ello que se ha supuesto que durante 5 días no se podrán realizar las operaciones previstas por algún problema meteorológico, lo más normal sería el viento. Por lo que el tiempo de servicio finalmente será:

$$T = 360 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 8640 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

DISTRIBUCIÓN CONTENEDORES EN LA ZONA DE ALMACENAMIENTO

En la distribución de contenedores para su acopio en la zona de almacenamiento hay un debate sobre si se deben colocar de forma paralela al cantil o perpendicular al cantil. Esto se trata de algo muy particular de cada terminal ya que la distribución va muy ligada a las dimensiones de las que disponga la terminal para su distribución, aunque si las dimensiones de la terminal no son restrictivas para el uso de ninguna de las dos como es el caso de nuestra terminal, también podemos decantar nuestra elección por otros criterios.

Para el caso de la futura terminal Norte del Puerto de Valencia hemos decidido disponer los bloques perpendiculares al cantil por los diversos factores:



- Los equipos de interconexión muelle-patio son equipos que pueden circular de manera automatizada y por lo tanto con esta disposición evitamos que los camiones externos interfieran en la operación de estos equipos.
- Se disminuyen las distancias de tránsito tanto de vehículos autoguiados como de los camiones externos.

También hemos encontrado alguna desventaja, como puede ser que para la terminal de mayores dimensiones la cual tendrá un mayor porcentaje de trasbordos, la grúa más cercana a la interfaz marítima tendrá mayor demanda y eso podrá descompensar el almacenamiento, pero puesto que se han dimensionado estas grúas de forma holgada, el problema es ínfimo y por lo tanto se ha decidido emplear esta distribución.

En el pliego se ha obligado la colocación de como mínimo 1000 puestos refeer, estos se colocarán en una fila central a lo largo de todo el patio, con la finalidad de que todos los puestos de atraque tengan alguna zona con puestos refeer cercana a ellos.

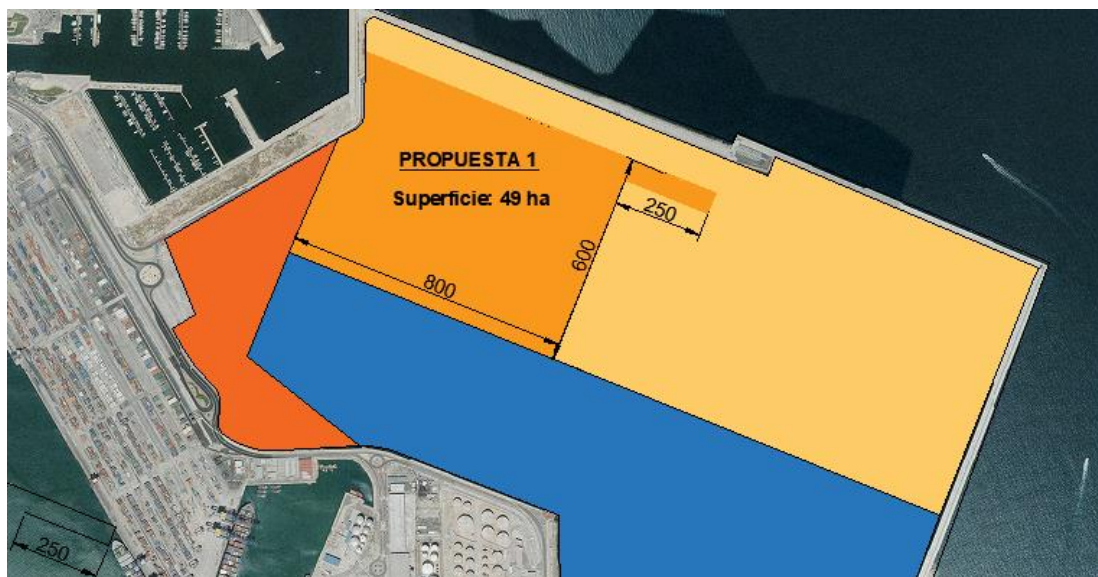
En cuanto a los contenedores de mercancías peligrosas y los contenedores “Flat tracks”, o contenedores con dimensiones irregulares, se ha decidido colocarlo a los laterales de la zona de almacenamiento, para que así tengan fácil acceso, ya que estos contenedores suelen tener poco tiempo de estancia y deben ser fácilmente accesibles en caso de emergencia.

Propuesta 1 “Terminal Pequeña”

La propuesta 1 consta de 800 metros de línea de atraque y 600 metros de anchura de terminal, por lo tanto, tiene una superficie de 540.000 metros cuadrados (54 Ha).

Estas dimensiones son las dimensiones mínimas que pueden ser concesionadas para el concurso de la futura terminal de contenedores del norte del puerto de Valencia

Ilustración 39: Superficie para la terminal de la propuesta 1.



Fuente: Elaboración propia



Una vez comentado todos los factores previos y las características de esta propuesta, se va a proceder al cálculo de las capacidades de línea de atraque y zona de almacenamiento.

En primer lugar, para el cálculo de la capacidad por línea de atraque seguiremos la formulación expuesta en el apartado 4 "Conceptos de productividad, nivel de servicio y capacidad en terminales portuarias".

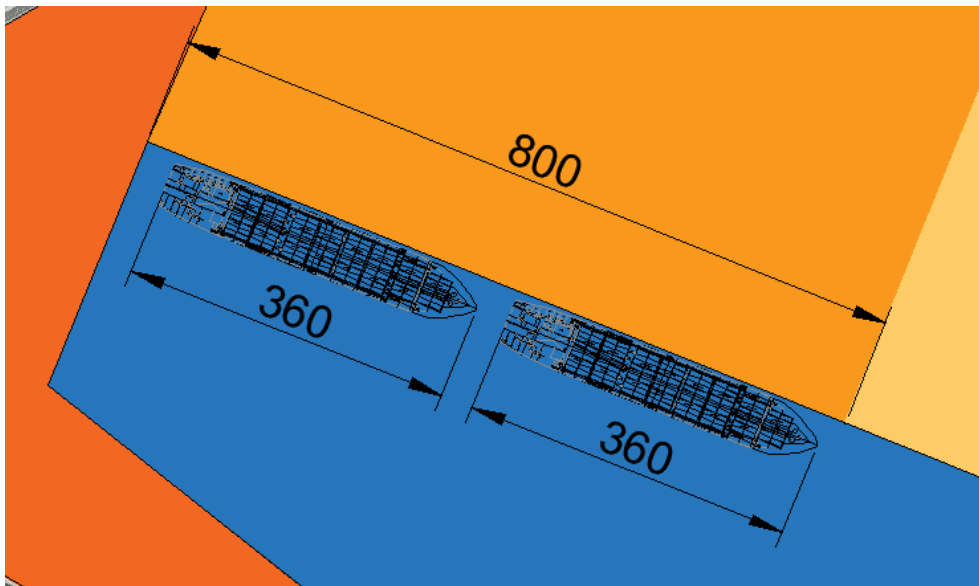
$$C_{LA} = n * \emptyset * t_{año} * P$$

Donde:

- C_{LA} : Es la Capacidad anual de la línea de atraque (toneladas, contenedores o TEUs, unidades por año)
- n : Número de puestos de atraque.
- \emptyset : Tasa de ocupación admisible. Este concepto se explicará más tarde, pero tiene relación con el número de puestos de atraque, la calidad de servicio asociada a la espera relativa y a la caracterización de las llegadas y los tiempos de servicio.
- $t_{año}$: Horas operativas de la terminal al año. Depende de las condiciones climáticas, los días laborables al año y el horario de los trabajadores de dicha terminal.
- P : Productividad anual media de buque atracado. Dicho concepto se ha explicado anteriormente en el concepto de productividad.

Para obtener el **número de puestos de atraque** en este caso solo hay 2 propuestas razonables debido al tamaño de la línea de atraque, y estaría entre 2 y 3 puestos de atraque, pero puesto que en el pliego de la concesión se hace bastante hincapié en que debe dar servicio a buques de gran tamaño se ha decidido empezar con la propuesta de 2 atraques, donde el buque tipo tendría una eslora de 360 m.

Ilustración 40: Propuesta de distribución para buque tipo 360m.



Fuente: Elaboración propia

El **número horas operativas al año** ya se ha definido en los factores previos comunes a ambas propuestas y sería 8640 horas.



La **tasa de ocupación admisible** esta tasa viene marcada por el número de puestos de atraque, el tipo de tráfico y la espera relativa marcada como aceptable para la terminal.

En este caso como durante los factores se han propuestos dos esperas relativas, en primer lugar, una espera relativa de 0,1 que sería la espera relativa máxima permitida en una terminal de contenedores, y, en segundo lugar, se observará si conseguir una espera relativa de 0,05, para dar un servicio de mayor calidad.

En cuanto al tipo de tráfico, se ha propuesto escoger como tipo de tráfico un tráfico con llegadas más programadas asemejándose a una terminal dedicada pese a ser una terminal pública, pero teniendo en cuenta que la concesionaria es una de las mayores navieras del mundo, esta tendría la capacidad de programar las llegadas. Con esto conseguiremos aumentar la tasa de ocupación y llegar necesitaremos exigencias más bajas.

Para obtener la tasa de ocupación la buscaremos en la **Tabla 22**:

Tabla 22: Recomendaciones para la tasa de ocupación admisible en función del número de atraques y del sistema para terminales de contenedores, en la propuesta 1, con 2 atraques.

Nº de atraques (n)	Tasa de ocupación admisible Φ (%)								
	$T_e/T_s = 0,05$			$T_e/T_s = 0,10$			$T_e/T_s = 0,20$		
	M/E ₂ /n	M/E ₄ /n	E ₂ /E ₄ /n	M/E ₂ /n	M/E ₄ /n	E ₂ /E ₄ /n	M/E ₂ /n	M/E ₄ /n	E ₂ /E ₄ /n
1	< 5	7	22	12	14	31	21	24	43
2	25	27	43	33	36	53	47	49	63
3	38	39	53	49	49	63	60	61	72
4	47	47	61	56	57	70	66	68	78
5	53	54	66	62	63	73	71	73	81
6 o más	57	58	69	66	67	77	74	76	84

Fuente: Fundación Valenciaport a partir de datos de UNCTAD (1984), Agerschou (2004) y Aguilar y Obrer-Marco (2008).

Por lo tanto, la tasa de ocupación admisible para 2 atraques será de 0.43 y 0.53, para espera relativas de 0.05 y 0.1 respectivamente.

La **productividad** depende de las grúas de muelle elegidas, pero para elegir la grúa de muelle primero vamos a observar cómo debería ser su productividad para cumplir como mínimo la capacidad mínima exigida.

Como en el Anexo IV "Parámetros técnicos mínimos de la terminal" del Pliego de bases del concurso exige que la capacidad mínima sea de 2100 TEUs por metro de muelle y año.

- Espera relativa 0.1:

$$P = \frac{C_{LA}}{n * \Phi * t_{año}} = \frac{2100 * 800}{2 * 0.53 * 8640} = 184 \frac{TEUs}{h}$$

Diversos autores recomiendan tomar 1,5 TEUS/movimiento.



$$P = \frac{184 \frac{TEUs}{h}}{1,5 \frac{TEUs}{mov}} \approx 123 \text{ mov/h}$$

Los buques atracados no serán muy grandes y conseguir una media de 123 mov/h por buque atracado, es muy complicado ya que para eso tendrían que mantener productividades muy superiores durante mucho tiempo para poder contrarrestar la baja productividad de los buques más pequeños.

Por todo esto, se ha propuesto el dimensionamiento de la nueva terminal con tres atraques, donde el buque tipo tendrá una eslora de 240. Para este caso, seguiremos con las hipótesis anteriormente tomadas, a excepción del tipo de tráfico, ya que en este caso como el número de atraques ha aumentado y el valor de la tasa de ocupación ha crecido se ha decidido tomar la hipótesis de llegadas aleatorias que es la habitual en el caso de terminales públicas.

Para obtener la nueva tasa de ocupación la buscaremos en la **Tabla 23**:

Tabla 23: Recomendaciones para la tasa de ocupación admisible en función del número de atraques y del sistema para terminales de contenedores, en la propuesta 1, con tres atraques.

Nº de atraques (n)	Tasa de ocupación admisible Φ (%)								
	$T_e/T_s = 0,05$			$T_e/T_s = 0,10$			$T_e/T_s = 0,20$		
	M/E ₂ /n	M/E ₄ /n	E ₂ /E ₄ /n	M/E ₂ /n	M/E ₄ /n	E ₂ /E ₄ /n	M/E ₂ /n	M/E ₄ /n	E ₂ /E ₄ /n
1	< 5	7	22	12	14	31	21	24	43
2	25	27	43	33	36	53	47	49	63
3	38	39	53	49	49	63	60	61	72
4	47	47	61	56	57	70	66	68	78
5	53	54	66	62	63	73	71	73	81
6 o más	57	58	69	66	67	77	74	76	84

Fuente: Fundación Valenciaport a partir de datos de UNCTAD (1984), Agerschou (2004) y Aguilar y Obrer-Marco (2008).

Por lo tanto, la tasa de ocupación admisible para 3 atraques será de 0.39 y 0.49, para espera relativas de 0.05 y 0.1 respectivamente.

- Espera relativa 0.1:

$$P = \frac{C_{LA}}{n * \Phi * t_{año}} = \frac{2100 * 800}{3 * 0.49 * 8640} = 133 \frac{TEUs}{h}$$

Diversos autores recomiendan tomar 1,5 TEUS/movimiento.

$$P = \frac{133 \frac{TEUs}{h}}{1,5 \frac{TEUs}{mov}} \approx 89 \text{ mov/h}$$

Pese a ser inferior a la productividad por buque atracado de 100 exigida en el Anexo IV del pliego de la concesión, se toma como una media aceptable, donde los buques menores de 10.000 TEUs seguramente cuenten con productividades más bajas de 100, pero los mayores puedan llegar a estas productividades fácilmente.



Para conseguir estas productividades se ha decidido escoger que las grúas seleccionadas tengan productividades de entre 25 movimiento/hora hasta 35 movimientos/hora, que son valores razonables en comparación con las grúas que hay en el mercado. En la **Tabla 1** del Anejo 1 se ha obtenido el número de grúas necesarias según la productividad, aquellas casillas marcadas en color más oscuro serán el número mínimo de grúas de dicha productividad para cumplir con la capacidad mínima exigida en el pliego (2100 TEUs por metro de muelle y año). En la **Tabla 24** se muestra un resumen de la tabla mencionada anteriormente.

Tabla 24: Resumen capacidades mínimas y número de grúas para propuesta 1, según productividades y esperas relativas.

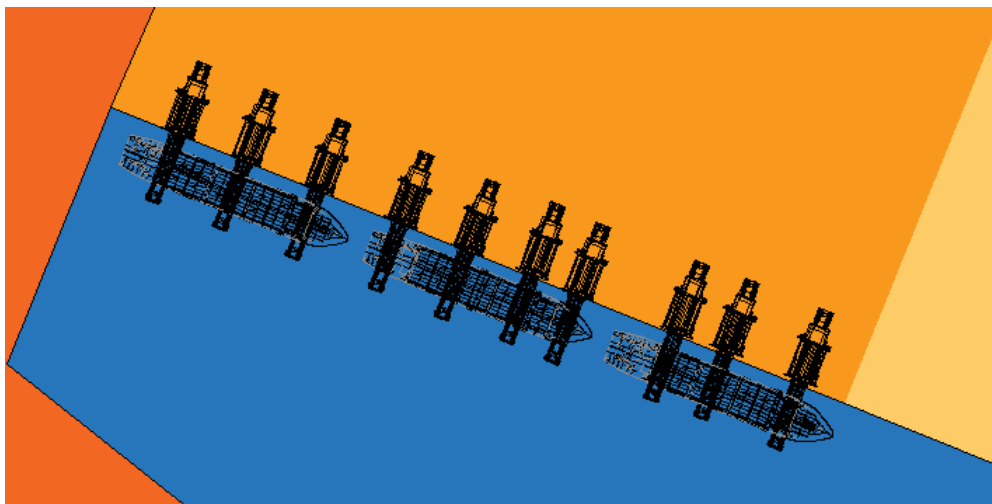
Espera relativa	Productividad	Nº grúas	Cmin
0,05	25	14	2211
0,05	30	12	2274
0,05	35	10	2211
0,1	25	11	2183
0,1	30	9	2143
0,1	35	8	2223

Fuente: Elaboración propia

Observando las opciones de la **Tabla 24**, y comparando con otras terminales de dimensiones similares como es la terminal semiautomatizada de Algeciras, se ha decidido que la mejor opción sería colocar 9 grúas con una productividad media de 30 movimientos/hora. Pero, tras estudiar el valor exigido de productividad por buque atracado de 100 mov/h para el caso de los buques de más de 10.000 TEUs, ya que estos necesitarían 4 grúas de 30 mov/h cada uno, suponiendo que atracan 2 de 330 metros que es aproximadamente la eslora mínima de este tipo de barcos, nos quedarían algo menos de 100 metros de línea de atraque, para el cual tan solo tendríamos una grúa, por lo tanto se ha decidido poner una grúa más finalmente para poder dar un servicio de calidad y cumplir holgadamente las exigencias de productividad por buque atracado.

En la **Ilustración 41**, se ha representado la distribución de los buques y grúas finalmente escogidos.

Ilustración 41: Distribución de las grúas y buques en la línea de atraque. Propuesta 1.



Fuente: Elaboración propia.



Una vez finalizado el dimensionamiento de la línea de atraque para la propuesta 1, pasamos al cálculo de la capacidad para la zona de almacenamiento, para ello se va a seguir la formulación siguiente:

$$C_p = N^{\circ} \text{ de huella por TEU} \times h \times \frac{365}{T_a}$$

Donde,

- C_p : Capacidad anual de almacenamiento de la terminal (TEUs anuales).
- h : Altura operativa media de apilado.
- T_a : Tiempo de estancia medio de los contenedores en el área de almacenamiento.
- $365/T_a$: Número medio de rotaciones anuales

Además, la altura operativa media se obtiene con la siguiente función:

$$h = H \times K$$

Donde,

- H : Altura máxima de apilado o altura nominal del equipo
- K : Factor operacional que minorra la altura máxima, lo necesario para poder trabajar en condiciones operativas y evitar realizar excesivas remociones. Los autores Wieschemann y Rijsenbrij, 2004, recomiendan valores de 0.55 hasta 0.7 según el equipo de patio.

La **Capacidad anual de almacenamiento de la terminal**, se obtiene igualando este valor a la capacidad de la línea de atraque, puesto que hemos decidido que la capacidad por línea de atraque sea la limitante, pero como en la línea de atraque se cuentan los contenedores de transbordo como dos, se debe aplicar a la capacidad de almacenamiento un factor que depende del porcentaje de transbordos de la terminal, con esto se obtendrá la capacidad de patio equivalente por línea de atraque y esta será la que podremos comparar.

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

Donde K_{PTB} es:

$$K_{PTB} = \frac{200}{2 \times \% \frac{O}{D} + \% TB} = \frac{200}{2 \times 50 + 50} = 1,33$$

Por lo tanto:

$$C_p = \frac{C_{LA}}{K_{PTB}} = \frac{2177 * 800}{1.33} = 1.309.474 \text{ TEUs/año}$$

El **Número de huellas por TEU y la altura máxima de apilado**, vienen definidas por el equipo de muelle escogido y puesto que la terminal que se está diseñando tiene características similares a las terminales de Algeciras y Barcelona, en ambos casos se trata de terminales semiautomatizadas y es por lo que se ha propuesto asemejar la distribución a estas. En cuanto al sistema de grúas de patio se ha decidido escoger el método de la terminal de Barcelona, el cual es automatizado y realiza los movimientos con 2 ASCs por cada bloque. Se ha distribuido mediante dos grandes zonas de contenedores, en la primera zona, los bloques tendrán un ancho de 9 contenedores y habrán 9 bloques con 50 contenedores de 20 pulgadas de largo, 1



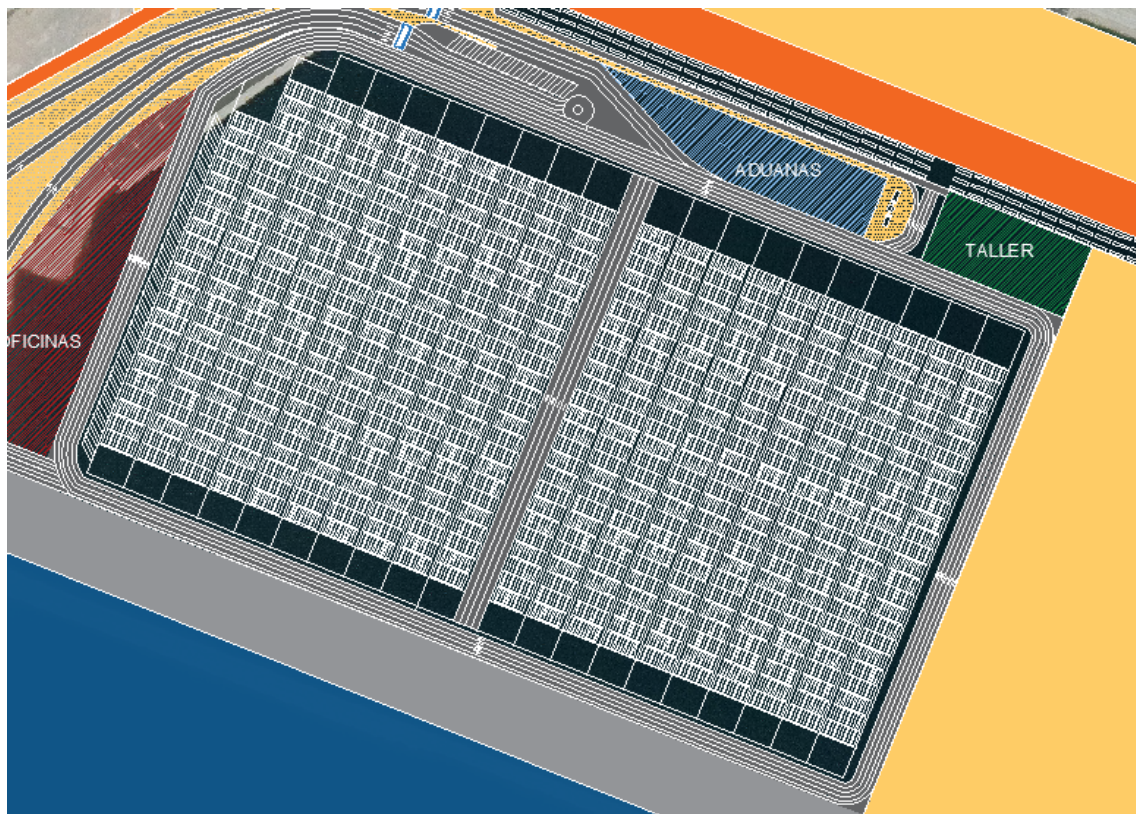
bloque con 44, en cuanto la segunda zona, los bloques tendrán también un ancho de 9 contenedores pero esta vez habrán 10 bloques de 50 contenedores de 20 pies de largo.

La altura máxima permitida por esta grúa es de 5 contenedores, pero puesto que tenemos una superficie muy grande la altura operativa será menor, en la **Ilustración 42** se observa la distribución escogida.

Además, en los laterales de la zona de almacenamiento se han delimitado también plazas para contenedores mercancías peligrosas o Flat tracks (contenedores con cargas con bordes irregulares o dimensiones que superen a las medidas internas de los contenedores), en este caso estas zonas son de fácil acceso y están dotados con medios adicionales de seguridad.

Por otro lado, a diferencia de la terminal de Algeciras en este caso se ha decidido crear un pasillo intermedio en el patio para reducir las distancias de circulación de los equipos de interconexión a la hora de realizar labores de mantenimiento o similares. Con el pasillo intermedio se han generado dos zonas de almacenamiento de aproximadamente 370 metros de ancho y unos 380 metros de largo, dimensiones muy similares a las zonas de almacenamiento de la terminal de Barcelona.

Ilustración 42: Plano de la distribución de la zona de almacenamiento para la propuesta 1.



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al **número medio de rotaciones al año**, que viene definido por el tiempo medio de estancia de los contenedores en la terminal y este es un factor muy variable y por lo tanto se va a realizar una tabla con diferentes tiempos de estancia medios y alturas operativas de apilado para ver que posibles combinaciones existen para igualar la capacidad de atraque. La tabla se puede observar en el **ANEJO 1: TABLAS DE DATOS**, bajo la denominación de **“Tabla 2:**



Capacidad de patio de la propuesta 1 según tiempo medio de estancia de los contenedores y altura de apilado.”

La conclusión obtenida de la tabla superior es que con una altura operativa media de apilado 2,5, la cual es un valor razonable puesto que así con un TOS bueno se podrá conseguir que el número de remociones no sea muy elevado, y con un tiempo medio de estancia de los contenedores de 6 días, que está entre la media propuesta por Dekker (2005) el cual fijaba que los contenedores en puertos europeos tenían una estancia medio de entre 4 y 7 días, los valores de capacidad de la terminal son superiores a los de la línea de atraque que se está buscando. El cálculo de la capacidad de almacenamiento final es el siguiente:

$$C_p = N^{\circ} \text{ de huella por TEU} \times h \times \frac{365}{T_a} = 10260 \times 2,5 \times \frac{365}{6} = 1.560.375 \text{ TEUs /año}$$

$$C_{p \text{ eq } LA} = C_p \times K_{PTB} = 1.560.375 \times 1,33 = 2.075.299 \frac{\text{TEUs}}{\text{año}}$$

$$C_{p \text{ eq } LA} > C_{LA}$$

$$2.075.299 \frac{\text{TEUs}}{\text{año}} > 1.959.300 \frac{\text{TEUs}}{\text{año}}$$

Una vez dimensionadas las capacidades de almacenamiento y atraque, se va a proceder al dimensionamiento del subsistema de interconexión.

Siguiendo el modelo de la terminal de Algeciras, se ha tomado como equipos de intercambio los “Shuttle Carriers” (ShC) que son vehículos muy maniobrables y que pueden alcanzar los 30 km/h, además este equipo nos ofrece desacoplar los diferentes subsistemas, es decir, no dependen directamente entre ellos, los ShC cargan y descargan los contenedores sin la necesidad de que esperar a la grúa, ni las grúas deben esperar a que lleguen estos para dejar sobre ellos los contenedores.

Para dimensionar el número de los equipos ShC necesarios es necesario obtener los tiempos de recorrido y carga y descarga de contenedores, se ha observado en la ficha técnica de modelo FSH 240 de la marca Kalmar, y en la **Tabla 25**: Características ShC Modelo KALMAR FSH 240. se ha hecho un resumen de las más importantes para el dimensionamiento de la terminal:

Tabla 25: Características ShC Modelo KALMAR FSH 240.

Características técnicas KALMAR FSH 240		
Velocidad Max. vacío	30	Km/h
Velocidad Max. Lleno	30	Km/h
Velocidad Max. Subida	13	m/min
Velocidad Max. Bajada	13	m/min
Tipo	Completamente eléctrico	
Capacidad bajo spreader	40	tn
Posiciones	20 o 40	ft
Tiempo Carga	30 a 180	Segundos

Fuente: Elaboración propia a partir de la ficha técnica de la web de Kalmar.



Ilustración 43: ShC modelo KALMAR FSH 240



Fuente: www.Kalmar.es

Con esto suponiendo un recorrido de 500 metros, que generalmente si la planificación de los buques y los atraques es correcta se realizaran desplazamientos más cortos, a 30 km/h se tardaría 1 minutos en realizar el recorrido y suponiendo 1 minutos más para cada carga y descarga del contenedor más otro minuto para volver a la línea de atraque, sumando además medio minuto de carga tras cada servicio, que no sería necesario habitualmente, en total serían 4,5 minutos por cada contenedor. Suponiendo 4,5 minutos por contenedor se necesitarían los siguientes ShC:

$$n^{\circ} \text{ viajes por hora} = \frac{60}{4,5} = 13,33 \text{ viajes/hora}$$

Puesto que hay 10 grúas, y la productividad de las grúas elegidas es de 30 movimientos/hora, en la una hora punta en la línea de atraque se pueden descargar hasta 300 contenedores.

$$n^{\circ} \text{ ShC} = \frac{300 \frac{\text{contenedores}}{\text{hora}}}{13,33 \frac{\text{contenedores}}{\text{hora ShC}}} \approx 23 \text{ ShC}$$

Por lo tanto, para el sistema de interconexión muelle-patio se necesitan 23 ShC, pero se debe sobredimensionar el subsistema puesto que realmente siempre no pueden estar todos los ShC operativos por cuestiones de carga, mantenimiento, ... En el presente trabajo se ha propuesto sobredimensionar este sistema en un 20% para poder dar servicio a la terminal cuando los equipos tengan que realizar revisiones de mantenimiento o imprevistos.

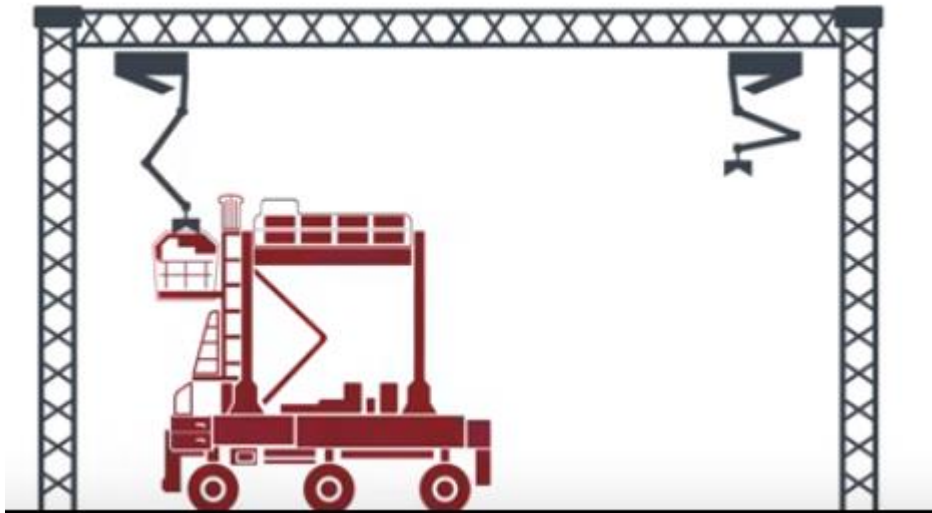
$$n^{\circ} \text{ ShC} = 23 \text{ ShC} * 1,20 = 28 \text{ ShC}$$

El modelo elegido se carga mediante estaciones de carga ubicadas a lo largo de las rutas de los equipos, estas estaciones de carga están formadas por un pantógrafo, un palo de carga



y una estación de energía, y cargan el Straddle Carrier por contacto en la parte superior de la máquina. En nuestra propuesta se van a colocar las estaciones de carga en la parte final de cada bloque y, por lo tanto, el equipo podrá cargarse a lo largo del ciclo de trabajo, mientras espera a recoger un contenedor, sin crear generar impacto en la productividad general de la terminal. En la **Ilustración 44** se observa un dibujo que describe el momento de la carga del equipo.

Ilustración 44: Representación modo de carga del ShC escogido.



Fuente: www.kalmar.es

Una vez dimensionado el subsistema de interconexión, ya tan solo falta por dimensionar el último de los subsistemas, el de entrega y recepción, en este caso hay dos modos de entrega el transporte por camiones o por ferrocarril, se van a dimensionar ambos modos de transporte con la finalidad de cumplir los mínimos establecidos en el pliego, en este caso el pliego impone que en las horas punta se debe realizar como mínimo un 10% del tráfico import/export por vía ferroviaria.

Para las grúas de la zona de almacenamiento de servicio al lado terrestre se propone una productividad media de 10 contenedores/hora, que siguiendo las limitaciones de la concesión donde marcan que mínimo el 10% debe salir por vía ferroviaria, se obtendría que por cada grúa y hora se daría servicio a 1 contenedor de salida por ferrocarril y 9 de salida por camión.

Tabla 26: Número de contenedores que dejan la zona de almacenamiento según el modo de transporte.

Tren	20	Cont/hora
Camión	180	Cont/hora
Total	200	Cont/hora

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos se procede al dimensionamiento de ambas puertas de entrada, en el caso de la puerta de recepción/entrega por vía férrea, en el plano de la concesión se detalla que debe ser de 750 metros de largo mínimo y 60 de ancho, dentro de los 60 metros de ancho se ha propuesto realizar una distribución similar a la planteada en la nueva Terminal de Barcelona, donde los primeros 40 metros serán de playa de vías con un total de 8 vías, mientras que los 20 metros restantes se dejarían como almacenamiento de contenedores, estos últimos 20 metros estarían bajo el voladizo de la grúa pórtico así no haría falta equipos



de interconexión entre esta zona y las vías de ferrocarril. Mientras que para la interconexión entre el patio de contenedores y esta zona de almacenamiento anexa a la playa de vías si que se deberá dotar de equipos Straddle Carriers, en este subsistema de interconexión, a diferencia de la interconexión muelle-patio, se ha decidido colocar los equipos Straddle Carrier puesto que en este caso los equipos si que se pueden utilizar para almacenamiento en altura si fuera necesario (aunque siempre que sea posible se evitará para reducir las remociones). En cuanto a la Grúa pórtico que da servicio a la playa de vías, se ha decidido que con tan solo una sería posible dar servicio a esta terminal, porque la productividad necesaria es de 20 contenedores/hora, una productividad asequible para grúas de estas características, pero además mediante los equipos Straddle Carriers se ubicarán los contenedores lo más cerca posible de su ubicación final en el ferrocarril para así reducir el tiempo de operación de las grúas, esto es factible con un buena planificación y un buen Sistema de Operación de Terminales.

En cuanto al dimensionamiento de las Straddle Carriers (SC) propuestos el subsistema de almacenamiento-Ferrocarril, cabe destacar que estos equipos son menos maniobrables que los Shuttle Carriers, pero por el contrario pueden realizar las tareas de apilado de contenedores para el almacenamiento, en este caso se van a necesitar menos que para la interconexión muelle-almacenamiento, puesto que tan solo es necesario utilizar estos medios para los contenedores que van a salir del puerto por ferrocarril que son un 10% de los que salen, es decir, cuando la terminal llegue a su productividad máximo como mucho saldrán 20 contenedores por hora por ferrocarril.

Para dimensionar el número de los equipos Straddle Carrier necesarios se deben conocer los tiempos de recorrido y carga y descarga de contenedores, se ha observado en la ficha técnica de un modelo de la marca Kalmar, completamente eléctrico, el modelo FSC 350 tiene las siguientes características:

Tabla 27: Características SC Modelo KALMAR FSC 350

Características técnicas KALMAR FSC 350		
Velocidad Max. vacío	30	Km/h
Velocidad Max. Lleno	30	Km/h
Velocidad Max. Subida	15	m/min
Velocidad Max. Bajada	15	m/min
Tipo	Completamente eléctrico	
Capacidad bajo spreader	50	tn
Posiciones	20/2x20/40 ft	
Tiempo Carga	30 a 180	Segundos

Fuente: Elaboración propia a partir de la ficha técnica de la web de kalmar.

Como se puede observar en la **Tabla 27**, las características son muy similares a las del modelo elegido de Shuttle Carrier, puesto que son de la misma marca y del modelo completamente eléctrico ambas.

Con esto suponiendo un recorrido de 500 metros, a 30 km/h se tardaría 1 minutos en realizar el recorrido y suponiendo 1 minutos más para cada carga y descarga del contenedor más otro minuto para volver a la línea de atraque, sumando además medio minuto de carga tras cada servicio, que no sería necesario habitualmente, en total serían 4,5 minutos por cada contenedor. Suponiendo 5 minutos por contenedor se necesitarían los siguientes Straddle Carrier:



$$n^{\circ} \text{ viajes por hora} = \frac{60}{4,5} = 13,33 \text{ viajes/hora}$$

$$n^{\circ} \text{ SC necesarios} = \frac{20 \text{ cont/hora}}{13,33 \text{ cont} * \text{SC/hora}} \approx 2 \text{ Straddle Carrier}$$

En este caso, por razones de mantenimiento se dotará de 1 Straddle Carrier más para poder rotar entre los tres equipos y poder realizar las labores pertinentes de mantenimiento, pese a existir un solo recambio, en caso de que fuera necesario se podría suplir con Shuttle Carriers del subsistema de interconexión muelle-patio para momentos puntuales donde más de un equipo necesite labores de mantenimiento.

Estos equipos se cargan de la misma forma que los Shuttle Carriers anteriores, decir mediante contacto en la parte superior con un pantógrafo, en una estación de carga. Pero a diferencia que el subsistema de interconexión muelle-patio, en este caso hay muchos menos equipos y por lo tanto, en vez de crear 20 estaciones de carga, se ha decidido crear una estación en la parte central de la zona de almacenamiento del ferrocarril, como se puede observar en la **Ilustración 45**, donde a su vez se ha creado un pasillo central para reducir las distancias de recorrido.

Ilustración 45: Plano con la ubicación de la estación de carga para los SC, en la propuesta 1.



Fuente: Elaboración propia.

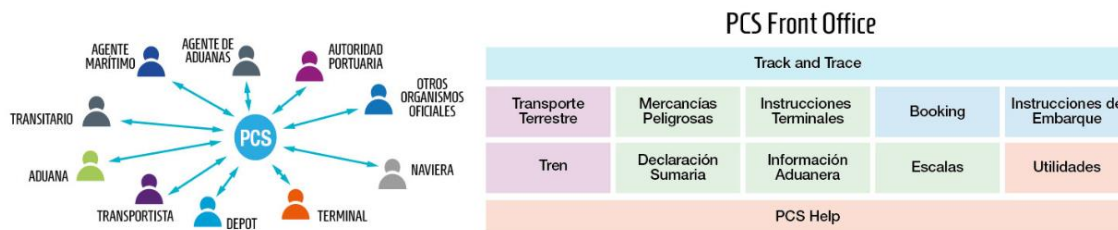
Para el dimensionamiento de las puertas de entrada de camiones hemos seguido las recomendaciones de David Gutiérrez Sánchez en su TFM "Caracterización de los accesos terrestres en las terminales de contenedores mundialmente más relevantes" 2015, donde a partir del estudio de 20 de las más relevantes terminales de contenedores obtiene datos muy interesantes para el dimensionamiento de este subsistema.

En este subsistema será decisiva la tecnología a emplear, porque a medida que se consigan reducir los tiempos de validación de datos para la entrada de cada camión se podrá obtener mayor rendimiento por cada puerta y no será necesario ocupar grandes superficies para este subsistema. Para la reducción de los tiempos de entrega de documentación en la



puerta de entrada en la actualidad se han implantado plataformas como Port Community System en la mayoría de los puertos, puesto que estas plataformas te permiten presentar toda la documentación previa a la entrada al puerto por vía telemática y los chóferes tan solo deben presentar un código de barras que está relacionado con la documentación presentada telemáticamente, si esta es correcta se le da permiso para proceder a la operación, la cantidad de camiones que puedan entrar por las mismas puertas es muy superior a los métodos antiguos, además de reducir los tiempos de espera y se logra una mejor calidad del servicio prestado. En este caso además de la necesidad ya definida de un buen PCS, también sería necesaria una correcta planificación del Sistema Operativo de la Terminal (TOS), para conseguir que las operaciones de los camiones se realicen en el tiempo exigido por la Autoridad Portuaria.

Ilustración 46: Descripción técnica y funciones de Valenciaport PCS



Fuente: www.infoport.es

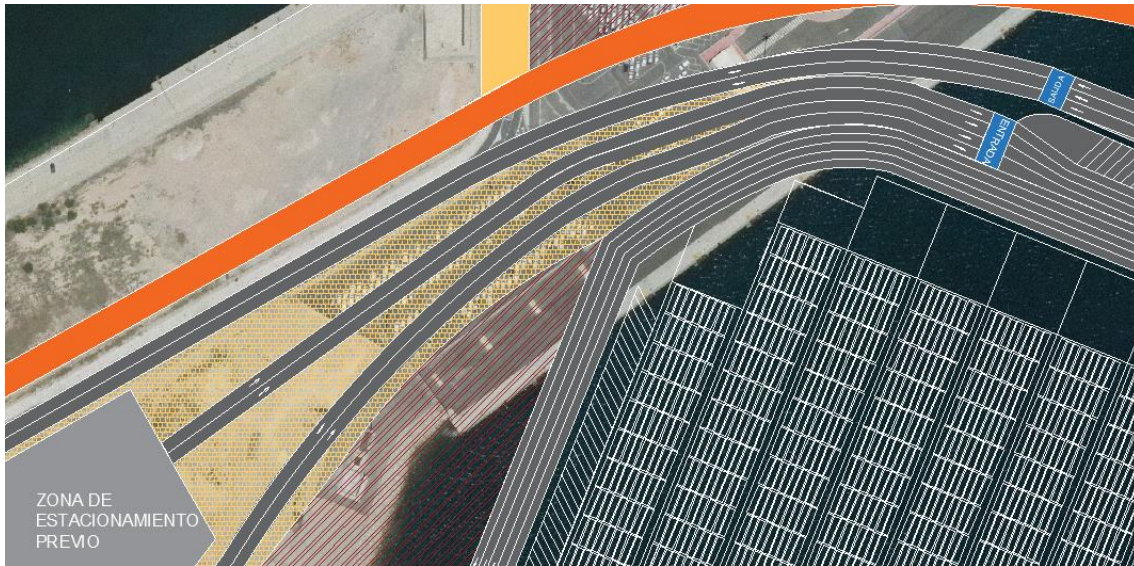
Es muy importante el número de puertas de acceso al puerto por vía terrestre, así como el de salida, aunque habitualmente la salida esta mejor escalonada y se necesitan menos puertas de salida. Algunos autores señalan como valor aproximado de referencia en 1,4 la relación de carriles de entrada respecto a los de salida. Para una terminal de unos 2 millones de TEUs como la propuesta en este apartado se suelen proporcionar unos 4 carriles de entrada y 3 de salida que sería algo más de un minuto para cada camión de tiempo de acceso por la puerta. Una vez pasadas estas puertas cada camión irá directamente al bloque donde se encuentre su mercancía, el cual se le habrá dicho desde la puerta de entrada.

A lo largo de “*Caracterización de los accesos terrestres en las terminales de contenedores mundialmente más relevantes*” su autor señala ciertos elementos para la atenuación de posibles cuellos de botella en las entradas, estos factores pueden ser principalmente o la longitud de la cola o la presencia de un estacionamiento previo. En el caso de la futura terminal Norte de Valencia, puesto que la longitud de la cola es de algo menos de 1 km y existe una zona de almacenamiento ya existente la cual finaliza su concesión en 2024, se propone su utilización como zona de estacionamiento previo y así poder laminar la entrada de los camiones para su acceso a la terminal.

En la **Ilustración 47** se puede observar el plano definitivo del dimensionamiento de la puerta terrestre.



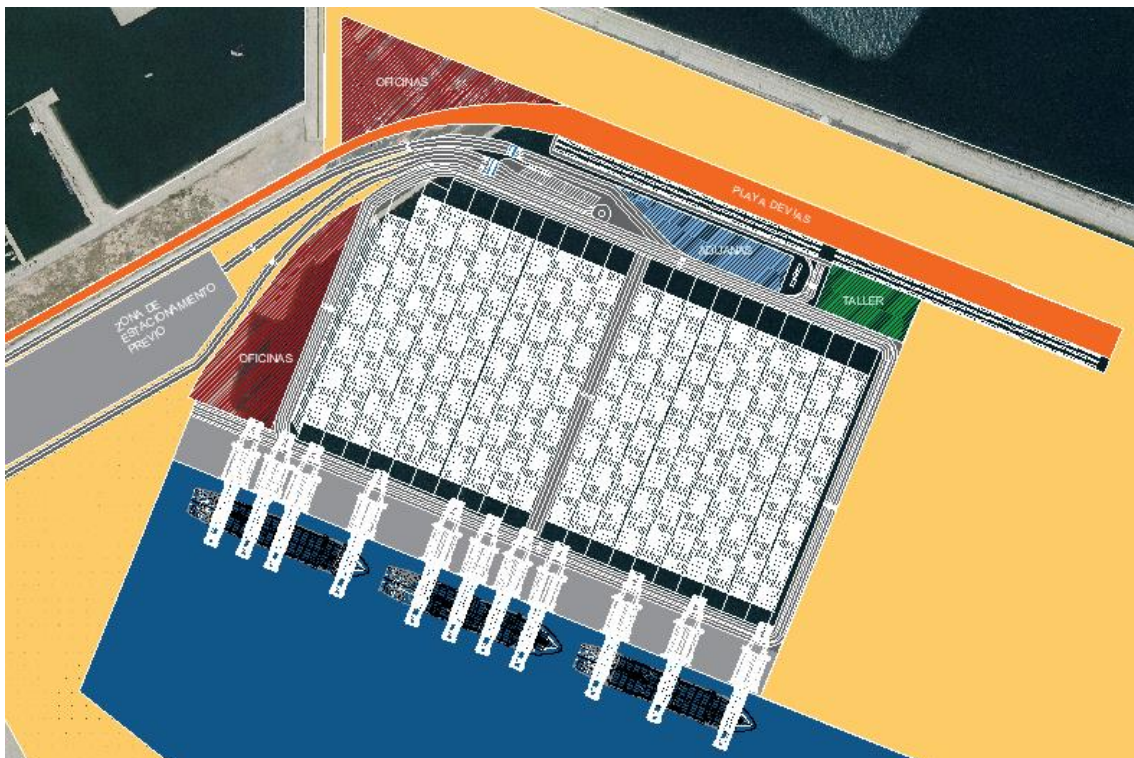
Ilustración 47: Plano de la entrada terrestre a la terminal de la propuesta 1.



Fuente: Elaboración propia.

Además, como se observa en la **Ilustración 48**, también se han dejado unas zonas para oficinas, incluso plazas para los trabajadores, y una zona de talleres para el mantenimiento de los equipos.

Ilustración 48: Distribución Final Propuesta 1.



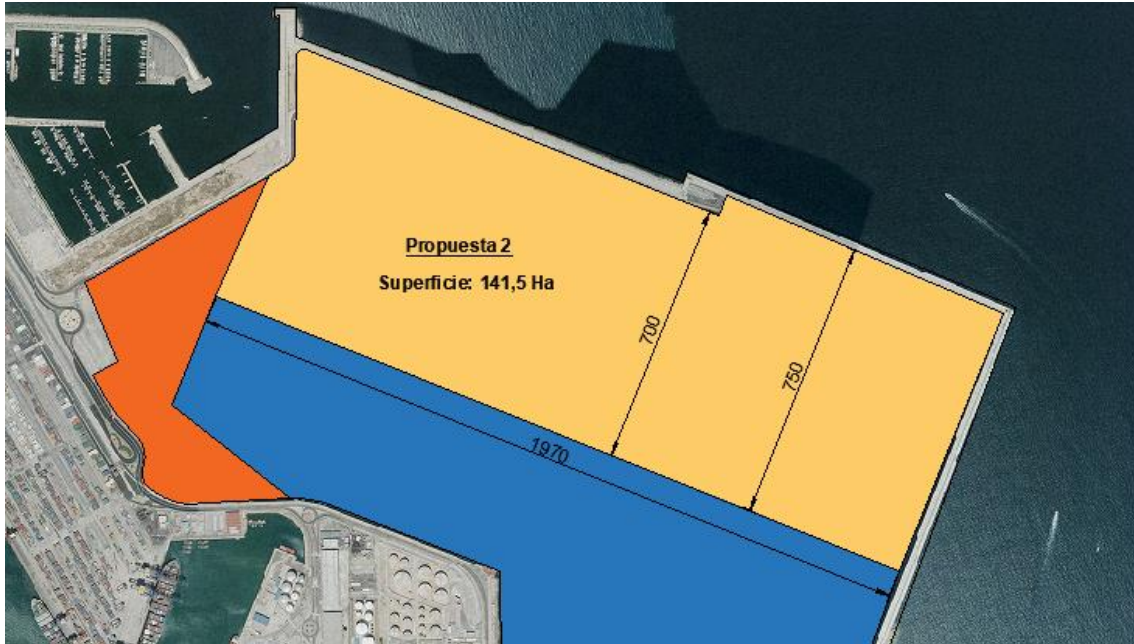
Fuente: Elaboración propia



Propuesta 2 “Terminal grande”

La propuesta 2 consta de 1970 metros de línea de atraque y más de 700 metros de anchura de terminal, por lo tanto, tiene una superficie de unos 1.415.000 metros cuadrados (141,5 Ha). Con estas dimensiones la nueva terminal se colocaría como una de las terminales europeas de mayor capacidad.

Ilustración 49: Superficie para la terminal de la propuesta 2.



Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de las capacidades de los diversos subsistemas de la propuesta 2, se va a seguir la misma metodología que para la propuesta anterior.

En primer lugar, para el cálculo de la capacidad por línea de atraque seguiremos la formulación expuesta en el apartado 4 “Conceptos de productividad, nivel de servicio y capacidad en terminales portuarias”.

$$C_{LA} = n * \emptyset * t_{año} * P$$

Donde:

- C_{LA} : Es la Capacidad anual de la línea de atraque (toneladas, contenedores o TEUs, unidades por año)
- n : Número de puestos de atraque.
- \emptyset : Tasa de ocupación admisible. Este concepto se explicará más tarde, pero tiene relación con el número de puestos de atraque, la calidad de servicio asociada a la espera relativa y a la caracterización de las llegadas y los tiempos de servicio.
- $t_{año}$: Horas operativas de la terminal al año. Depende de las condiciones climáticas, los días laborables al año y el horario de los trabajadores de dicha terminal.
- P : Productividad anual media de buque atracado. Dicho concepto se ha explicado anteriormente en el concepto de productividad.



El buque tipo escogido para dimensionamiento de esta terminal es acorde a las dimensiones de la propuesta y por ello se ha escogido como buque tipo en buque mostrado en la **Ilustración 50**, donde cómo se puede observar se trata del buque más grande del mundo actualmente, ha sido entregado a mediados del 2019, y tienen unas dimensiones de 400 metros eslora y 61 metros de manga. La evolución de la eslora lleva estancada desde 2013 en los 400 metros, es por eso que se piensa que los buques no van a crecer mucho más puesto que para las maniobras en el interior de los puertos están limitando muchas estas dimensiones, en cambio el último buque entregado sí que presenta una novedad, puesto que en los anteriores se limitaban a la disposición de 23 contenedores de horizontal, pero en este buque se pueden poner hasta 24 contenedores con lo que se ha ampliado mucho la capacidad de los buques.

Ilustración 50: Buque más grande del mundo.

MSC GÜLSÜN

THE WORLD'S BIGGEST CONTAINER SHIP



23,756 TEU

2,024 REEFER CONTAINERS

WHAT IS A TEU?

TEU stands for Twenty-Foot Equivalent Unit. It is used to measure a ship's cargo carrying capacity, i.e. the total number of containers of 20ft that can be loaded on the ship.

Fuente: www.Vesselfinder.com

Por lo tanto, el buque tipo escogido para el dimensionamiento de la futura terminal norte del Puerto de Valencia tendrá las siguientes dimensiones:

- Eslora: 400 metros.
- Manga: 61 metros.

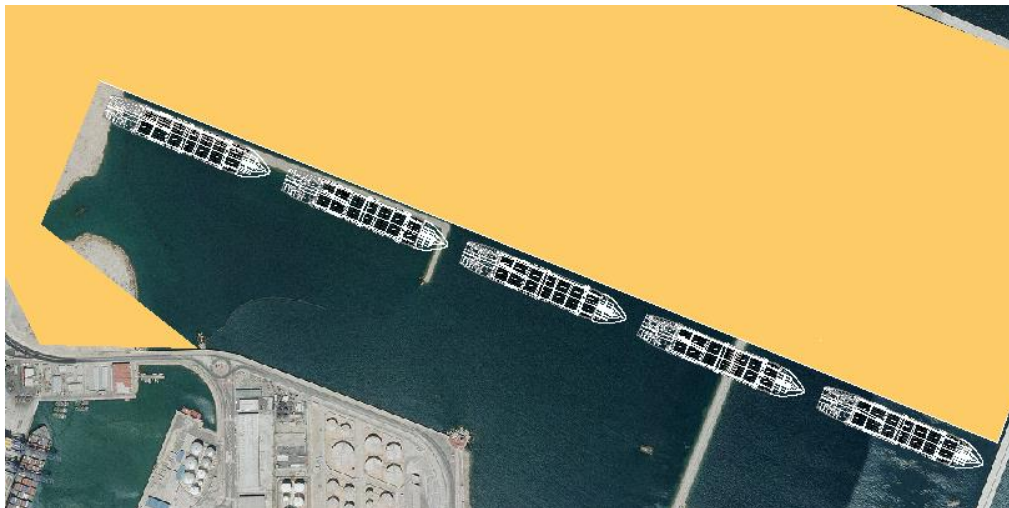
Aunque cabe destacar que estos valores se utilizarán para el cálculo de la capacidad de Línea de atraque, pero a la hora de escoger las grúas de muelle se escogerán grúas que puedan dar servicios a buques con mayor manda, porque aunque la evolución de los buques este algo parada en los últimos años, nunca se sabe lo que puede pasar, y esta terminal pretende ser una terminal muy importante y por lo tanto debe poder acoger a todo tipo de barcos sin limitaciones por sus dimensiones.

El **número de puestos de atraque** en esta propuesta se ha decidido tomar como número de puesto de atraque 5. Pese a que con el buque propuesto, el cual tenía una eslora de 400 metros, y considerando un resguardo adicional del 10% de la eslora sería un total de 440 metros, que entre 1970 metros de línea de muelle nos daría la posibilidad de colocar 4,5 buques de estas dimensiones, pero debido a la gran longitud de muelle y la variabilidad de barcos que van a atracar en él se ha decidido redondear al valor más elevado, es decir, a 5 a pesar que normalmente en este tipo de variables se suele redondear al menor para quedar del lado de la seguridad, pero como ya hemos dicho anteriormente, para la elección del buque



tipo se ha escogido el buque más grande de la actualidad, el cual no esperamos que se desarrolle mucho en cuanto a eslora y por lo tanto tomar 4 puestos de atraque sería una decisión demasiado conservadora, ya que lo normal es que la mayoría de buques tengan una eslora menor.

Ilustración 51: Distribución buques atracados en la Propuesta 2.



Fuente: Elaboración propia

El **número horas operativas al año** ya se ha definido en los factores previos comunes a ambas propuestas y sería 8640 horas.

La **tasa de ocupación admisible** esta tasa viene marcada por el número de puestos de atraque, el tipo de tráfico y la espera relativa marcada como aceptable para la terminal.

En este caso, como durante los factores se han propuestos dos esperas relativas, en primer lugar, una espera relativa de 0,1 que sería la espera relativa máxima permitida en una terminal de contenedores, y en segundo lugar, se observará si conseguir una espera relativa de 0,05, para dar un servicio de mayor calidad.

Para obtener la tasa de ocupación la buscaremos en la siguiente gráfica:

Ilustración 52: Recomendaciones para la tasa de ocupación admisible en función del número de atraques y del sistema para terminales de contenedores, en la propuesta 2.

Nº de atraques (n)	Tasa de ocupación admisible ϕ (%)								
	$T_e/T_s = 0,05$			$T_e/T_s = 0,10$			$T_e/T_s = 0,20$		
	M/E _v /n	M/E _v /n	E _v /E _v /n	M/E _v /n	M/E _v /n	E _v /E _v /n	M/E _v /n	M/E _v /n	E _v /E _v /n
1	< 5	7	22	12	14	31	21	24	43
2	25	27	43	33	36	53	47	49	63
3	38	39	53	49	49	63	60	61	72
4	47	47	61	56	57	70	66	68	78
5	53	54	66	62	63	73	71	73	81
6 o más	57	58	69	66	67	77	74	76	84

Fuente: Fundación Valenciaport a partir de datos de la UNCTAD (1984), Agerschou 2004 y Aguilar Obrer-Marco (2008)



Por lo tanto, la tasa de ocupación admisible para 5 atraques será de 54 y 63, para espera relativas de 0.05 y 0.1 respectivamente. Se ha observado un aumento en la tasa de ocupación admisible del muelle respecto a la propuesta 1, este aumento viene provocado por el número de atraques, que al ser mayor hay más posibilidades de ocuparlo con buques de distintas esloras.

La **productividad** depende de las grúas de muelle elegidas, pero al igual que para la propuesta anterior este factor se obtendrá según la capacidad mínima buscada para la terminal, esta viene exigida en el pliego de la concesión, concretamente en el Anexo IV "Parámetros técnicos mínimos de la terminal" del Pliego de bases del concurso, el cual exige que la capacidad mínima sea de 2100 TEUs por metro de muelle y año, y a partir de este valor se observará que valor debe tener su productividad para cumplir como mínimo la capacidad mínima exigida.

- Espera relativa 0.1:

$$P = \frac{C_{LA}}{n * \emptyset * t_{año}} = \frac{2100 * 1970}{5 * 0.63 * 8640} = 152 \frac{TEUs}{h}$$

En este caso puesto, que estamos hablando de una terminal mucho más grande que la anterior, el valor recomendado de 1,5 TEUs/movimiento, se queda un poco corto observando que en este tipo de terminales el porcentaje de contenedores de 40 pies suele ser bastante superior al de 20, es por lo que se ha decidido utilizar un valor de 1,75 TEUs/movimiento.

$$P = \frac{152 \frac{TEUs}{h}}{1,75 \frac{TEUs}{mov}} \approx 87 \text{ mov/h}$$

- Espera relativa 0.05:

$$P = \frac{C_{LA}}{n * \emptyset * t_{año}} = \frac{2100 * 1970}{5 * 0.54 * 8640} = 177 \frac{TEUs}{h}$$

Tomando 1,75 TEUS/movimiento.

$$P = \frac{177 \frac{TEUs}{h}}{1,75 \frac{TEUs}{mov}} \approx 102 \text{ mov/h}$$

Para la espera relativa de 0.1 que es valor mínimo exigible no pide que la productividad media por buque atracado sea superior a 87, lo cual es bastante sencillo de llegar en una terminal de estas características, puesto que la mayoría de buques que atraquen serán de gran tamaño, siendo además un número cercano a la productividad por atraque exigida en el Anexo IV, donde indica que esta debe ser como mínimo de 100 movimientos por buque atracado por hora bruta de atraque (durante operaciones de buques de más de 10.000TEUs),



siendo la productividad media cercana a 90, se puede suponer que llegará a los 100 movimientos por buque atracado y hora para los buques de más de 10.000TEUs.

Para cumplir con las capacidades y productividades indicadas se ha decidido escoger que las grúas seleccionadas tengan productividades de entre 25 movimiento/hora hasta 35 movimientos/hora, que son valores razonables en comparación con las grúas que hay en el mercado. En la **Tabla 3** del Anejo 1 se ha obtenido el número de grúas necesarias según la productividad, aquellas casillas marcadas en color más oscuro serán el número mínimo de grúas de dicha productividad para cumplir con la capacidad mínima exigida en el pliego (2100 TEUs por metro de muelle y año). En la **Tabla 28** se muestra un resumen de la tabla mencionada anteriormente.

Tabla 28: Resumen de las grúas necesarias para cada uno de los casos, según espera relativa y productividad.

Espera relativa	Productividad	Nº grúas	Cmin
0,05	25	21	2176
0,05	30	17	2114
0,05	35	15	2176
0,1	25	18	2176
0,1	30	15	2176
0,1	35	13	2200

Fuente: Elaboración propia

Observando las opciones de la **Tabla 28**, se podría tomar como aceptable la opción de escoger 15 grúas con una productividad media de 30 movimientos/hora, donde cumpliría la capacidad mínima exigida por la terminal y además es un número bastante coherente con el resto de las terminales recientemente dimensionadas en Europa. Pero teniendo en cuenta que esta terminal esta dimensionada para atracar hasta 5 buques de gran tamaño a la vez, y en el Anexo IV del pliego de la concesión impone una productividad por buque atracado mínima de 100 movimientos hora para los buques de más de 10.000 TEUs, se debería aumentar el número de grúas o la productividad de estas.

Si $P=30$ mov/hora cada buque necesita 4 grúas

$$P = 4 \text{ grúas} * 5 \text{ buques} = 20 \text{ grúas}$$

Si $P=35$ mov/hora cada buque necesita 3 grúas

$$P = 3 \text{ grúas} * 5 \text{ buques} = 15 \text{ grúas}$$

Observando otras terminales como la nueva terminal de Barcelona, la cual tiene 1500 metros de línea de muelle y 10 grúas, se ha decidido que es más coherente dotar a la terminal con 15 grúas con mayor productividad que no por el contrario dotarla de 20 grúas.

En la **Ilustración 53** se ha representado la distribución final de la línea de atraque tras el dimensionamiento de las grúas.



Ilustración 53: Plano con la distribución final de las grúas para la propuesta 2



Fuente: Elaboración propia.

Además, cabe destacar que con el equipamiento de muelle escogido se podría cumplir el pliego y a la vez dar un servicio de alta calidad con una espera relativa de 0.05, pero por aspectos económico se va a obtener las capacidades de almacenamiento y línea de atraque con una espera relativa de 0.1, que son además los mínimos exigidos.

$$C_{grúas} = \frac{15 * 35 * 0.63 * 8640 * 1.75}{1970} = 2.539 \frac{TEUs}{m} \text{ año}$$

Con todo esto, la capacidad por línea de atraque será la siguiente:

$$C_{LA} = C_{grúas} * L_{atraque}$$

Siendo

$C_{grúas}$ la capacidad de la terminal por metro de muelle al año dotada por un número de un modelo de grúas seleccionadas.

$$C_{LA} = 2539 * 1970 = 5.000.940 \text{ TEUs/año}$$

Una vez finalizado el dimensionamiento de la línea de atraque para la propuesta 2, siguiendo la metodología de la propuesta 1 pasamos al cálculo de la capacidad para la zona de almacenamiento, para ello se va a seguir la formulación siguiente:

$$C_p = N^{\circ} \text{ de huella por TEU} * h * \frac{365}{T_a}$$

Donde,

- C_p : Capacidad anual de almacenamiento de la terminal (TEUs anuales).
- h : Altura operativa media de apilado.
- T_a : Tiempo de estancia medio de los contenedores en el área de almacenamiento.



- $365/T_a$: Número medio de rotaciones anuales

Además, la altura operativa media se obtiene con la siguiente función:

$$h = H \times K$$

Donde,

- H: Altura máxima de apilado o altura nominal del equipo
- K: Factor operacional que minora la altura máxima, lo necesario para poder trabajar en condiciones operativas y evitar realizar excesivas remociones. Los autores Wieschemann y Rijsenbrij, 2004, recomiendan valores de 0.55 hasta 0.7 según el equipo de patio.

La **Capacidad anual de almacenamiento de la terminal**, al igual que para la propuesta anterior se va a obtener igualando este valor a la capacidad de la línea de atraque, puesto que hemos decidido que la capacidad por línea de atraque sea la limitante, pero como en la línea de atraque se cuentan los contenedores de transbordo como dos, se debe aplicar a la capacidad de almacenamiento un factor que depende del porcentaje de transbordos de la terminal, con esto se obtendrá la capacidad de patio equivalente por línea de atraque y esta será la que podremos comparar.

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

Donde K_{PTB} es:

$$K_{PTB} = \frac{200}{2 \times \% \frac{O}{D} + \%TB} = \frac{200}{2 \times 25 + 75} = 1,6$$

Por lo tanto:

$$C_P = \frac{C_{LA}}{K_{PTB}} = \frac{2539 \times 1970}{1.6} = 3.126.200\ TEUs/año$$

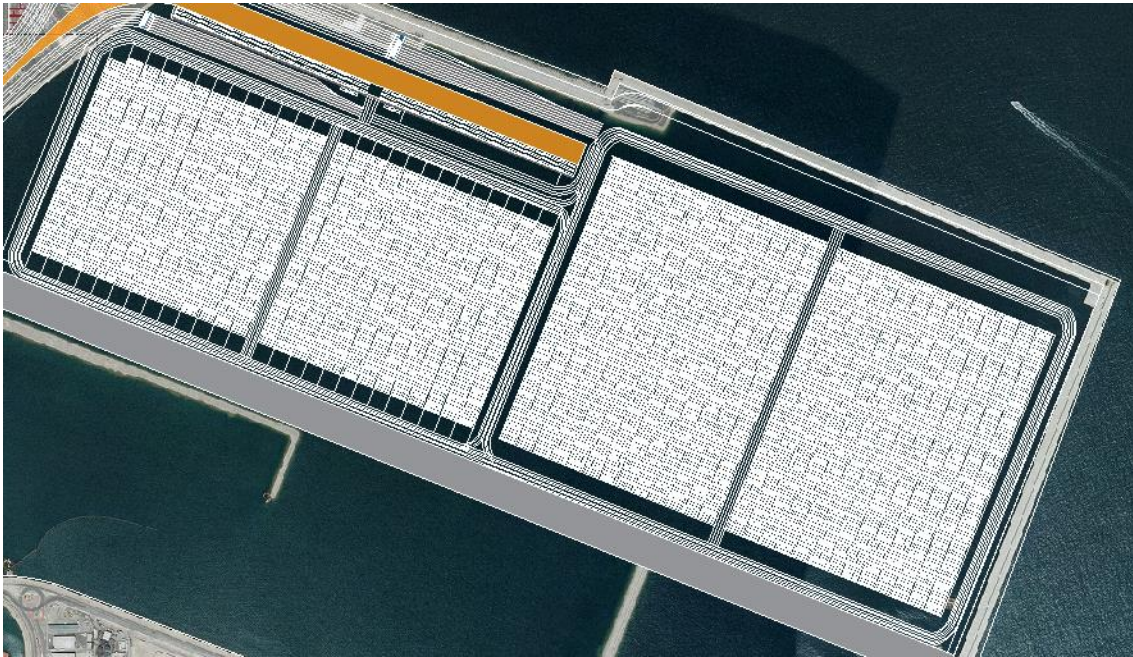
El **Número de huellas por TEU y la altura máxima de apilado**, vienen definidas por el equipo de muelle escogido y puesto que la terminal que se está diseñando tiene características muy similares a la nueva terminal Semiautomatizada de Barcelona se ha propuesto asemejar la distribución a esta al igual que en la primera propuesta. En este caso, se ha escogido como sistema de grúas de patio el método de la terminal de Barcelona, el cual es automatizado y realiza los movimientos con 2 ASCs por cada bloque, los bloques tendrán un ancho de 9 contenedores y hasta 5 contenedores de altura, aunque intentaremos que la altura operativa sea bastante menor para evitar remociones.

En cuanto a la distribución en planta se han generado 4 grandes bloques de almacenamiento, los cuatro tienen unas dimensiones de 400 metros de ancho, pero los dos primeros tan solo tienen 430 de largo, limitados por el subsistema de entrega/recepción, mientras que los dos siguientes tienen una longitud de 590. En **Ilustración 54** se puede ver la distribución escogida.

Además, en los laterales de la zona de almacenamiento se han delimitado también plazas para contenedores mercancías peligrosas o Flat tracks (contenedores con cargas con bordes irregulares o dimensiones que superen a las medidas internas de los contenedores), en este caso estas zonas son de fácil acceso y están dotados con medios adicionales de seguridad.



Ilustración 54: Distribución de la zona de almacenamiento para la propuesta 2.



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al **número medio de rotaciones al año**, que viene definido por el tiempo medio de estancia de los contenedores en la terminal y este es un factor muy variable y por lo tanto se va a realizar una tabla con diferentes tiempos de estancia medios y alturas operativas de apilado para ver que posibles combinaciones existen para igualar la capacidad de atraque. Todo esto se puede observar en la **Tabla 4**: Capacidad de patio de la propuesta 2 según tiempo medio de estancia de los contenedores y altura de apilado. del Anejo 1.

La conclusión obtenida de la tabla superior es que con una altura operativa media de apilado 2, la cual es un valor positivo puesto que así con un buen TOS se podrá conseguir que el número de remociones es muy bajo, nos daría una estancia medio de los contenedores de 7 días, que está entre la media propuesta por Dekker (2005) el cual fijaba que los contenedores en puertos europeos tenían una estancia medio de entre 4 y 7 días, además con estos valores propuestos la capacidad de almacenamiento de la terminal sería holgadamente superior a los de la línea de atraque. El cálculo de la capacidad de almacenamiento final es el siguiente:

$$C_P = N^{\circ} \text{ de huella por TEU} \times h \times \frac{365}{T_a} = 32.742 * 2 * \frac{365}{7} = 3.414.523 \text{ TEUs /año}$$

$$C_{P \text{ eq } LA} = C_P \times K_{PTB} = 3.414.523 * 1.6 = 5.463.237 \frac{\text{TEUs}}{\text{año}}$$

$$C_{P \text{ eq } LA} \geq C_{LA}$$

$$5.463.237 \frac{\text{TEUs}}{\text{año}} > 5.000.920 \frac{\text{TEUs}}{\text{año}}$$

Cabe destacar que los valores propuestos son una mera propuesta del autor, pero también se cumpliría con estancias más largas, se podría llegar hasta los 19 días de estancia media con una altura de apilado de 5 contenedores, pero no es aconsejable porque entonces



tendríamos un problema con las ASC puesto que se verían obligadas a realizar muchas remociones y se perdería mucho tiempo, llegando a necesitar una grúa más por bloque seguramente.

Tabla 29: Resumen de tiempo de estancias medio según la altura de apilado, y su capacidad correspondiente.

Altura de apilado	Tiempo estancia	Capacidad
1,0	3	3983610
1,5	5	3585249
2,0	7	3414523
2,5	9	3319675
3,0	11	3259317
3,5	13	3217531
4,0	15	3186888
4,5	17	3163455
5,0	19	3144955

Fuente: Elaboración propia

Una vez dimensionadas las capacidades de almacenamiento y atraque, se va a proceder al dimensionamiento del subsistema de interconexión.

Siguiendo el modelo de la terminal de Algeciras, se ha tomado como equipos de intercambio los “Shuttle Carriers” (ShC) que son vehículos muy maniobrables y que pueden alcanzar los 30 km/h, además este equipo nos ofrece desacoplar los diferentes subsistemas, es decir, no dependen directamente entre ellos, los ShC cargan y descargan los contenedores sin la necesidad de que esperen a la grúa, ni las grúas deben esperar a que lleguen estos para dejar sobre ellos los contenedores.

Para dimensionar el número de los equipos ShC necesarios es necesario obtener los tiempos de recorrido y carga y descarga de contenedores, se ha observado en la ficha técnica de modelo FSH 240, puesto que este es el mismo equipo que se ha utilizado en la propuesta 1, en la **Tabla 25** se pueden encontrar las características necesarias para el dimensionamiento, y en la **Ilustración 43** una imagen del modelo.

En primer lugar, para la planificación del recorrido se ha decidido aumentar un 50% las distancias del trayecto supuesto en la propuesta anterior, en este caso se propone un recorrido de 750 metros, pese a que la distancia entre una punta del muelle y el bloque más alejado es de casi 2 kilómetros, normalmente la planificación de los atraques se realiza pensando en minimizar estos desplazamientos también dentro de lo posible, es por ello que aunque se podrían haber mantenido los 500 metros puesto que podría ser una distancia razonable se ha decidido aumentar ligeramente para estar del lado de la seguridad en el dimensionamiento, puesto que los equipos de interconexión son los equipos más económicos dentro de una terminal, y siempre es mejor sobredimensionar los ligeramente que por el contrario la terminal falle por este subsistema. Por lo tanto, con un recorrido de 750 m a una velocidad de 30 km/h se tardaría 1,5 minutos en realizar el recorrido y suponiendo 1 minuto más para cada carga y descarga del contenedor más otro minuto y medio para volver a la línea de atraque, sumando además medio minuto de carga tras cada servicio, que no sería necesario habitualmente, en total serían 5,5 minutos por cada contenedor. Con este resultado se necesitarían los siguientes ShC:



$$n^{\circ} \text{ viajes por hora} = \frac{60}{5,5} = 10,90 \text{ viajes/hora}$$

Puesto que hay 15 grúas, y la productividad de las grúas elegidas es de 35 movimientos/hora, en la una hora punta en la línea de atraque se pueden descargar hasta 525 contenedores.

$$n^{\circ} \text{ ShC} = \frac{525 \frac{\text{contenedores}}{\text{hora}}}{10,90 \frac{\text{contenedores}}{\text{hora ShC}}} \approx 48 \text{ ShC}$$

Por lo tanto, para el sistema de interconexión muelle-patio se necesitan 48 ShC, pero se debe sobredimensionar el subsistema puesto que realmente siempre no pueden estar todos los ShC operativos por cuestiones de carga, mantenimiento, ... En el presente trabajo se ha propuesto sobredimensionar este sistema en un 20% para poder dar servicio a la terminal cuando los equipos tengan que realizar revisiones de mantenimiento o imprevistos.

$$n^{\circ} \text{ ShC} = 48 \text{ ShC} * 1,2 = 58 \text{ ShC}$$

El modelo elegido se carga mediando estaciones de carga ubicadas a lo largo de las rutas de los equipos, estas estaciones de carga están formadas por un pantógrafo, un palo de carga y una estación de energía, y cargan el Straddle Carrier por contacto en la parte superior de la máquina. En nuestra propuesta se van a colocar las estaciones de carga en la zona de interconexión muelle patio de cada bloque y, por lo tanto, el equipo podrá cargarse a lo largo del ciclo de trabajo, mientras espera a recoger un contenedor, sin generar impacto en la productividad general de la terminal. Este método de carga se ha representado en la **Ilustración 44**.

Una vez dimensionado el subsistema de interconexión, ya tan solo falta por dimensionar el último de los subsistemas, el de entrega y recepción, en este caso hay dos modos de entrega el transporte por camiones o por ferrocarril, se van a dimensionar ambos modos de transporte con la finalidad de cumplir los mínimos establecidos en el pliego, en este caso el pliego impone que en las horas punta se debe realizar como mínimo un 10% del tráfico import/export por vía ferroviaria.

Para las grúas de la zona de almacenamiento de servicio al lado terrestre se propone una productividad media de 10 contenedores/hora, que siguiendo las limitaciones de la concesión donde marcan que mínimo el 10% debe salir por vía ferroviaria, se obtendría que por cada grúa y hora se daría servicio a 1 contenedor de salida por ferrocarril y 9 de salida por camión.

Tabla 30: Número de contenedores que dejan la zona de almacenamiento según el modo de transporte.

Tren	52	Cont/hora
Camión	468	Cont/hora
Total	520	Cont/hora

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos se procede al dimensionamiento de ambas puertas de entrada, en el caso de la puerta de recepción/entrega por vía férrea, en el plano de la concesión se detalla que debe ser de 750 metros de largo mínimo y 60 de ancho, dentro de los 60 metros de ancho se ha propuesto realizar una distribución similar a la planteada en la nueva Terminal de Barcelona, donde los primeros 40 metros serán de playa de vías con un total de 8 vías, mientras que los 20 metros restantes se dejarían como almacenamiento de contenedores,



estos últimos 20 metros estarían bajo el voladizo de la grúa pórtico así no haría falta equipos de interconexión entre esta zona y las vías de ferrocarril. Mientras que para la interconexión entre el patio de contenedores y esta zona de almacenamiento anexa a la playa de vías si que se deberá dotar de equipos Straddle Carriers, en este subsistema de interconexión, a diferencia de la interconexión muelle-patio, se ha decidido colocar los equipos Straddle Carrier puesto que en este caso los equipos sí que se pueden utilizar para almacenamiento en altura si fuera necesario (aunque siempre que sea posible se evitará para reducir las remociones). En cuanto a la Grúa pórtico que da servicio a la playa de vías, se ha decidido que se necesitan dos para dar servicio a esta terminal, porque se debe dar servicio a 52 contenedores/hora, una productividad demasiado elevada para una sola grúa de estas características, pero si por el contrario se realiza con dos grúas la productividad de cada una debe ser de 26 cont/hora, una productividad mucho más realista, además mediante los equipos Straddle Carriers se ubicarán los contenedores lo más cerca posible de su ubicación final en el ferrocarril para así reducir el tiempo de operación de las grúas, esto es factible con un buena planificación y un buen Sistema de Operación de Terminales.

En cuanto al dimensionamiento de las Straddle Carriers propuestos el subsistema de almacenamiento-Ferrocarril, cabe destacar que estos equipos son menos maniobrables que los Shuttle Carriers, pero por el contrario pueden realizar las tareas de apilado de contenedores para el almacenamiento, en este caso se van a necesitar menos que para la interconexión muelle-almacenamiento, puesto que tan solo es necesario utilizar estos medios para los contenedores que van a salir del puerto por ferrocarril que son un 10% de los que salen, es decir, cuando la terminal llegue a su productividad máximo como mucho saldrán 52 contenedores por hora por ferrocarril.

Para dimensionar el número de los equipos Straddle Carrier se ha cogido los datos necesarios de la **Tabla 27**, ya que este equipo también se ha utilizado para el dimensionamiento de la propuesta 1.

Como se puede observar las características son muy similares a las del modelo elegido de Shuttle Carrier, puesto que son de la misma marca y del modelo completamente eléctrico ambas.

Para la suposición del recorrido de los Straddle Carriers se ha supuesto que con una buena planificación de la terminal se intentará ubicar todos los contenedores con salida de la terminal mediante ferrocarril en los dos bloques más cercanos al ferrocarril, y por lo tanto con un recorrido de unos 500 metros, pero que aumentamos a 750 para los casos en los que no se haya podido ubicar más cerca el contenedor, a una velocidad de 30 km/h se tardaría 1,5 minutos en realizar el recorrido y suponiendo 1 minutos más para cada carga y descarga del contenedor más otro minuto y medio para volver a la línea de atraque, sumando además medio minuto de carga tras cada servicio, que no sería necesario habitualmente, en total serían 5,5 minutos por cada contenedor. Suponiendo este tiempo para cada viaje se necesitarían los siguientes Straddle Carrier:

$$n^{\circ} \text{ viajes por hora} = \frac{60}{5,5} = 10,90 \text{ viajes/hora}$$

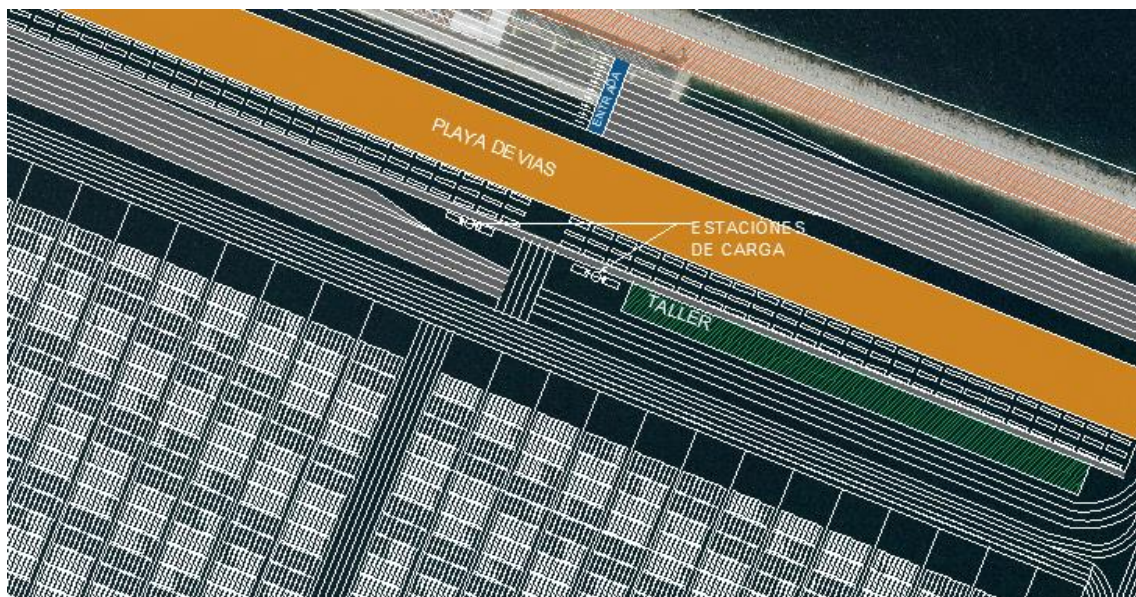
$$n^{\circ} \text{ SC necesarios} = \frac{52 \text{ cont/hora}}{10,90 \text{ cont} * \text{SC/hora}} \approx 5 \text{ Straddle Carrier}$$



En este caso, por razones de mantenimiento se dotará de 2 Straddle Carrier más para poder rotar entre los siete equipos y poder realizar las labores pertinentes de mantenimiento, pese a existir pocos recambios, en caso de que fuera necesario se podría suplir con Shuttle Carriers del subsistema de interconexión muelle-patio para momentos puntuales donde más de un equipo necesite labores de mantenimiento.

Estos equipos se cargan de la misma forma que los Shuttle Carriers anteriores, decir mediante contacto en la parte superior con un pantógrafo, en una estación de carga. Pero a diferencia que el subsistema de interconexión muelle-patio, en este caso hay muchos menos equipos y por lo tanto en vez de crear 52 estaciones de carga, se ha decidido crear dos estaciones en la parte central de la zona de almacenamiento del ferrocarril, donde a su vez se ha creado un pasillo central para reducir las distancias de recorrido. Las estaciones de carga se pueden ver en la **Ilustración 55**

Ilustración 55: Plano con las ubicaciones de las estaciones de carga de los SC para la propuesta 2.



Fuente: Elaboración propia

Para el dimensionamiento de las puertas de entrada de camiones hemos seguido las recomendaciones de David Gutiérrez Sánchez en su TFM “Caracterización de los accesos terrestres en las terminales de contenedores mundialmente más relevantes” del 2015, donde a partir del estudio de 20 de las más relevantes terminales de contenedores obtiene datos muy interesantes para el dimensionamiento de este subsistema.

En este subsistema será decisiva la tecnología a emplear, porque a medida que se consigan reducir los tiempos de validación de datos para la entrada de cada camión se podrá obtener mayor rendimiento por cada puerta y no será necesario ocupar grandes superficies para este subsistema. Para la reducción de los tiempos de entrega de documentación en la puerta de entrada en la actualidad se han implantado plataformas como Port Community System en la mayoría de los puertos, puesto que estas plataformas te permiten presentar toda la documentación previa a la entrada al puerto por vía telemática y los chóferes tan solo deben presentar un código de barras que está relacionado con la documentación presentada telemáticamente, si esta es correcta se le da permiso para proceder a la operación, la cantidad de camiones que puedan entrar por las mismas puertas es muy superior a los métodos antiguos, además de reducir los tiempos de espera y se logra una mejor calidad del servicio

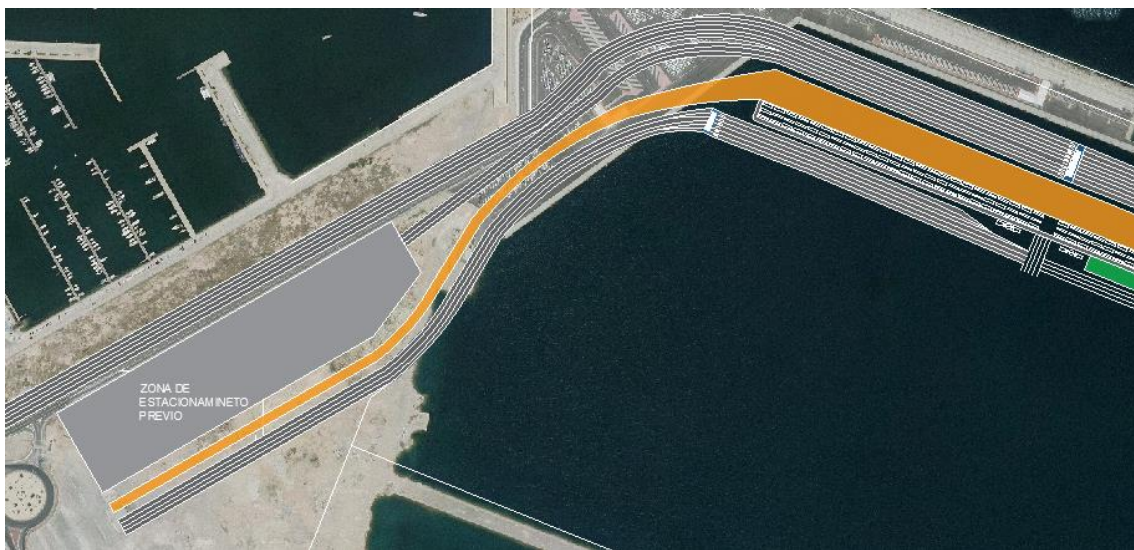


prestado. En este caso además de la necesidad ya definida de un buen PCS, también sería necesaria una correcta planificación del Sistema Operativo de la Terminal (TOS), para conseguir que las operaciones de los camiones se realicen en el tiempo exigido por la Autoridad Portuaria.

Es muy importante el número de puertas de acceso al puerto por vía terrestre, así como el de salida, aunque habitualmente la salida esta mejor escalonada y se necesitan menos puertas de salida. Algunos autores señalan como valor aproximado de referencia en 1,4 la relación de carriles de entrada respecto a los de salida. Para una terminal de unos 5 millones de TEUs como la propuesta en este apartado se suelen proporcionar unos 9 carriles de entrada y 6 de salida que sería algo más de un minuto para cada camión de tiempo de acceso por la puerta. Una vez pasadas estas puertas cada camión irá directamente al bloque donde se encuentre su mercancía, el cual se le habrá dicho desde la puerta de entrada.

A lo largo de “*Caracterización de los accesos terrestres en las terminales de contenedores mundialmente más relevantes*” su autor señala ciertos elementos para la atenuación de posibles cuellos de botella en las entradas, estos factores pueden ser principalmente o la longitud de la cola o la presencia de un estacionamiento previo. En el caso de la futura terminal Norte de Valencia, puesto que la longitud de la cola es de aproximadamente de un kilómetro y medio y además se propone el uso de una zona de almacenamiento ya existente, la cual finaliza su concesión en 2024, como zona de estacionamiento previo y así poder laminar la entrada de los camiones para su acceso a la terminal.

Ilustración 56: Plano de la entrada terrestre a la terminal para la propuesta 2.

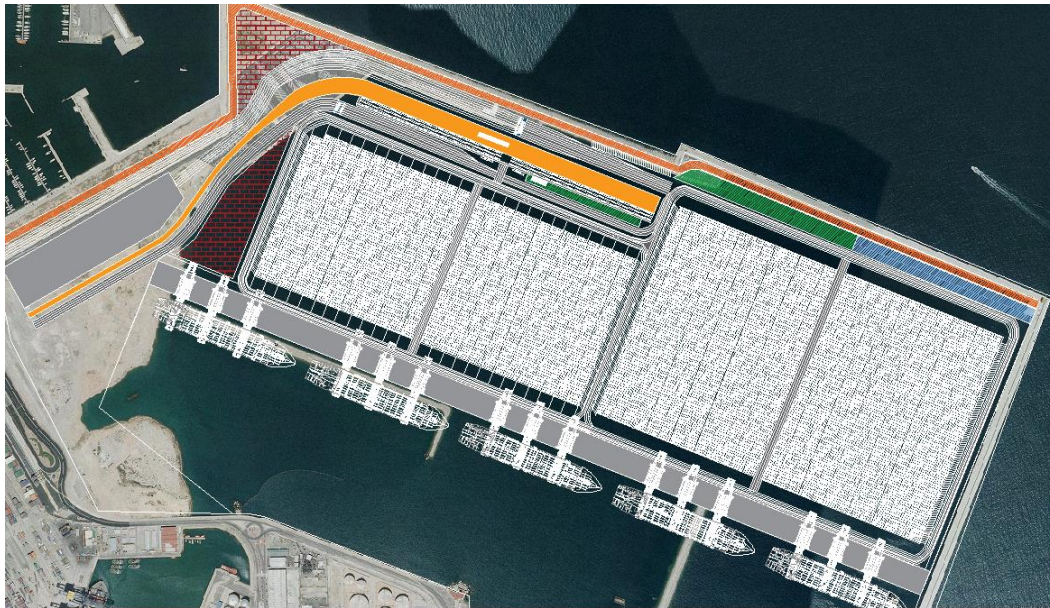


Fuente: Elaboración propia

Además, como se observa en el esquema siguiente, también se han dejado unas zonas para oficinas, incluso plazas para los trabajadores, y una zona de talleres para el mantenimiento de los equipos.



Ilustración 57: Plano definitivo de la distribución de la propuesta 2.



Fuente: Elaboración propia

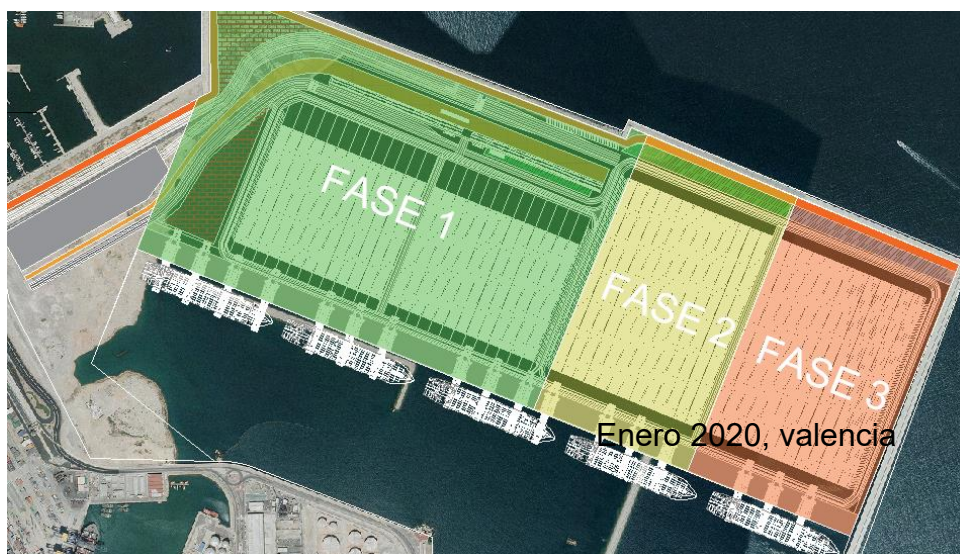
Si se quisiera programar una entrada en funcionamiento progresiva para la terminal actual, se podría realizar de diferentes formas, pero la más lógica sería la separación en 3 fases las cuales se pueden observar en la **Tabla 31** e **Ilustración 58**.

Tabla 31: Resumen propuesta puesta en funcionamiento progresiva propuesta 2.

	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Longitud de Muelle (metros)	1100	1500	1970
Superficie Terminal (hectareas)	86	110	136
Capacidad Proyectada (KTEUs/año)	2333	3619	5000
Año de puesta en servicio	2025	2041	2065

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 58: Plano de las distintas fases de construcción propuesta 2.

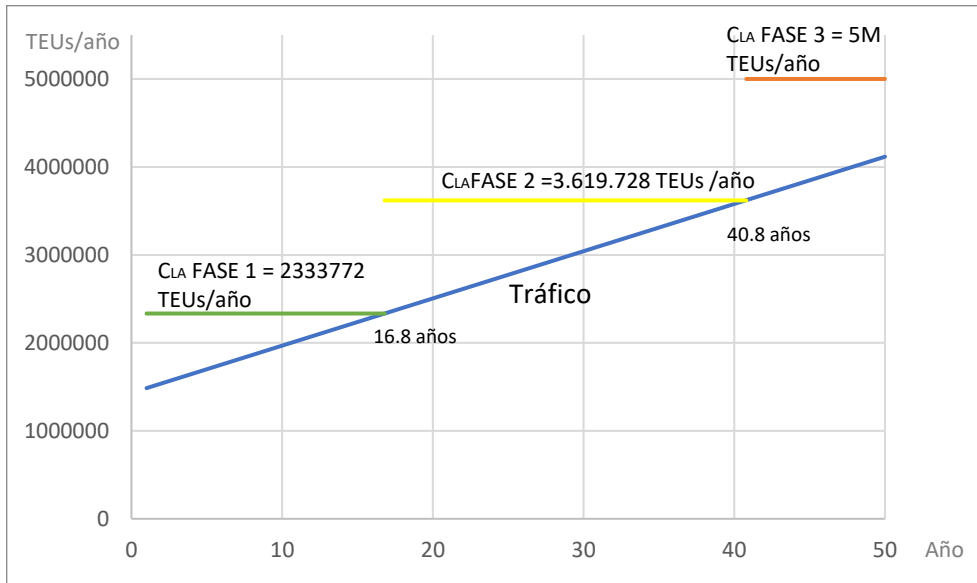


Fuente: Elaboración propia.



En la **Gráfica 19**, se observa ha representado cuando llegaría cada una de las fases al agotamiento según el tráfico mínimo exigido por la terminal.

Gráfica 19: Capacidad de la propuesta 2 por fases y comparación con el tráfico mínimo.



Fuente: Elaboración propia

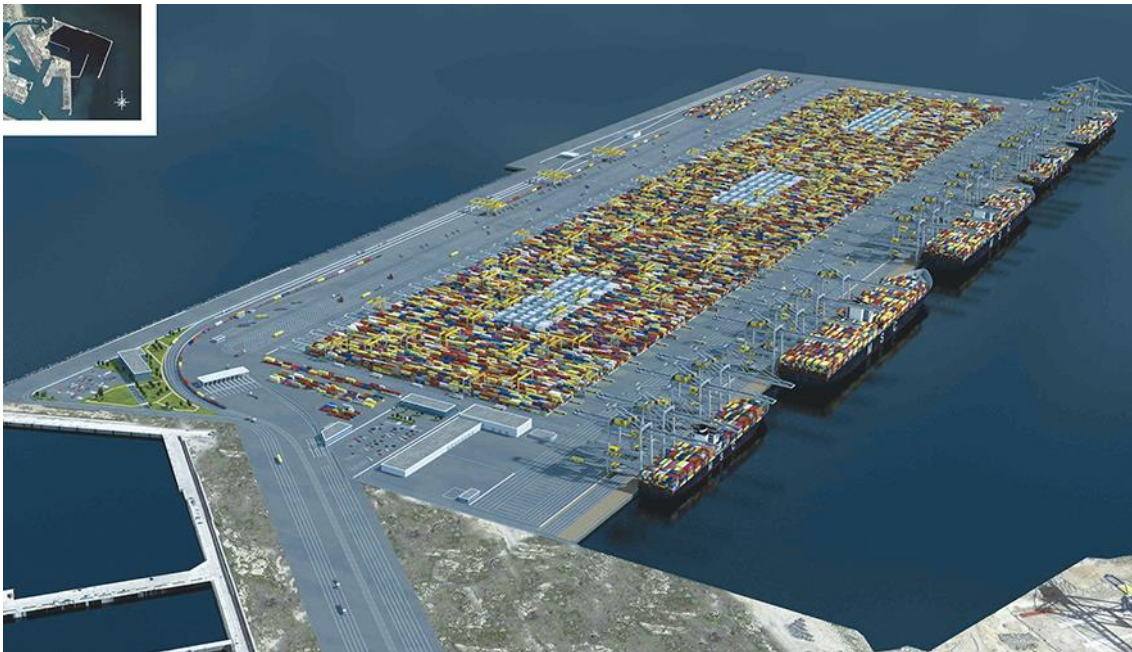
Esta sería la propuesta con la que se cumplirían todos los requisitos mínimos de los pliegos del concurso, pero cabe destacar que una empresa terminalista como TIL, es capaz de conseguir los tráficos propuestos como mucha más rapidez como se ve en su propuesta.



Propuesta de “pre-diseño técnico y conceptual” realizada por la adjudicataria

La propuesta realizada por la empresa *Terminal Investment Limited* (TIL) para la construcción y explotación, en régimen de concesión administrativa, de la nueva terminal de contenedores de la ampliación Norte del Puerto de Valencia, cumple con los requerimientos explícitos especificados en el Pliego de Bases. Dicha propuesta se trata de una terminal innovadora, semiautomatizada y con capacidad para los buques más grandes en servicio.

Ilustración 59: Vista general en 3D de la terminal propuesta por TIL.



Fuente: Plan técnico e Inversión para Terminal Norte del Puerto de Valencia de TIL

Para el programa de implementación la empresa adjudicataria ha propuesto que realizar la construcción de la terminal en 3 fases, cuyas características se encuentran especificadas en la **Tabla 32**. Se irá pasando de una fase a la siguiente a la medida que las capacidades de la fase anterior este llegando a su límite, y con esto se consigue más tiempo para poder ejecutar las obras y a la vez se puede empezar antes la explotación.

Tabla 32: Fases de desarrollo terminal por TIL.

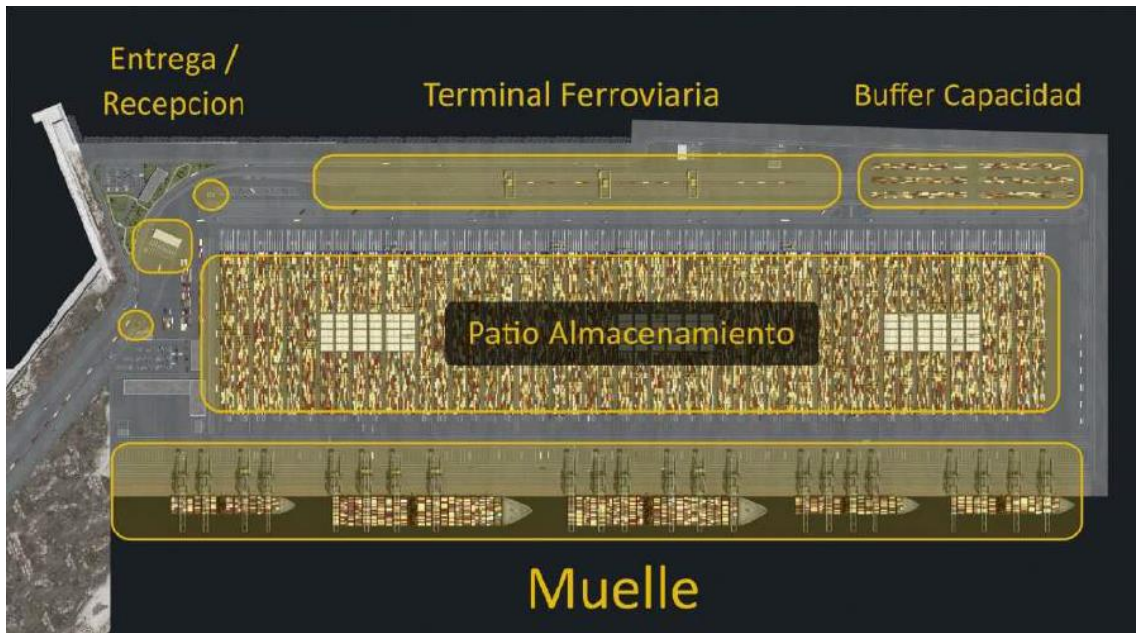
	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Longitud de Muelle (metros)	1100	1500	1970
Superficie Terminal (hectareas)	86	108	136
Capacidad Proyectada (KTEUs/año)	2387	3361	4792

Fuente: Plan técnico e Inversión para Terminal Norte del Puerto de Valencia de TIL

En cuanto al diseño de la terminal como se puede observar en la **Ilustración 60**, la distribución de las áreas operativas será la siguiente:



Ilustración 60: Distribución de las diferentes áreas operativas en la terminal propuesta por TIL.



Fuente: Plan técnico e Inversión para Terminal Norte del Puerto de Valencia de TIL

Para el diseño de la presente terminal la empresa destaca que se ha tenido como referencia puertos de nueva generación como Hamburgo o Rotterdam. A continuación, se señalarán los equipos utilizados en cada uno de los subsistemas y sus operativas.

En el muelle se ha propuesto la utilización de grúas portaineras (*Ship-To-Shore (STS)*) operadas por control remoto; con una productividad media estimada de 32 GMPH y picos de servicios de 35 GMPH. En total una vez completada la tercera fase, la terminal contará con 1960 metros de muelle y dispondrá de 22 grúas STS.

Los equipos de interconexión Muelle-Patio serán automatizados, con vehículos guiados automáticamente, los cuales garantizan el flujo eficiente entre muelle y patio. Estos equipos serán completamente eléctricos y contarán con un total de 154 vehículos AGV.

El patio de almacenamiento estará equipado por grúas de patio automatizadas (*ASC Automated Stacking Cranes*), dispuestas en bloques de 9 contenedores de ancho y 50 de largo, con zonas de transferencia en cada extremo de los bloques para la interconexión entre sistemas. Además, para realizar los cálculos de la capacidad, se da como valor de transbordo medio el 71% y como tiempo de estancia medio 8,4 días (estos valores son tomados a partir de datos reales de la terminal MSC del puerto de Valencia, en el caso del tiempo de estancia se le ha aumentado un 10% como resguardo factor de seguridad).

Los equipos de interconexión en el lado de la tierra serán manual, equipado con cabezas tractoras, dotadas de la tecnología necesaria para un flujo logístico eficiente y seguro con la terminal ferroviaria.

La terminal ferroviaria estará equipada 6 vías de 1000 metros de longitud cada una y tres grúas pórtico montadas sobre raíles (*Rail Gantry Cranes (RGC)*), operadas por control remoto.

En lo que respecta a la puerta se prevé un sistema de puertas automáticas con 10+1 carriles de entrada y 7+1 de salida, y una zona de resolución de problemas con capacidad para 30 camiones. Además, el resultado del modelo *GATE* es que el sistema de puerta propuesto



cuenta con capacidad más que suficiente para atender 1.5M TEU anuales, manteniendo altos valores de productividad en todos los subsistemas y asegurando longitudes máximas de cola de camiones a la entrada de la terminal inferiores a 60m en el escenario pico de 400 camiones/hora.

En la **Tabla 33** se puede observar un resumen de las capacidades por fases y subsistemas.

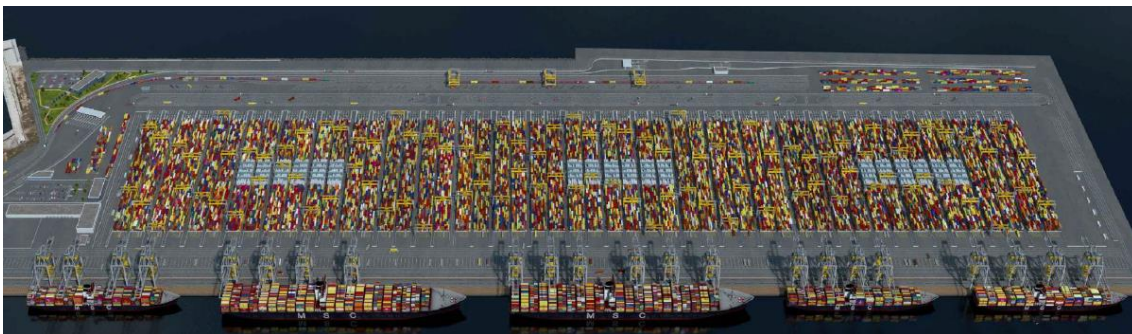
Tabla 33: Capacidades según fases para la terminal propuesta por TIL.

Capacidad Anual por Fase		Fase 1	Fase 2	Fase 3
Periodo	Fecha	Q1 2025	Q4 2025	Q3 2026
Capacidad de Muelle	K mov.	1560	2550	3300
Capacidad de Patio	K mov.	1700	2393	3132
Capacidad de Terminal	K mov.	1560	2393	3132
Capacidad de Terminal	k TEU	2387	3661	4792
Capacidad Nominal de Muelle	TEU/metro	2170	2441	2432

Fuente: Plan técnico e Inversión para Terminal Norte del Puerto de Valencia de TIL

Por último, en la **Ilustración 61** se puede observar un plano de la propuesta de la empresa adjudicataria (TIL) para la nueva terminal Norte del Puerto de Valencia.

Ilustración 61: Distribución definitiva propuesta TIL.



Fuente: Plan técnico e Inversión para Terminal Norte del Puerto de Valencia de TIL



8. Conclusiones

En primer lugar, en el presente apartado me gustaría empezar comparando las dos propuestas realizadas, así como las condiciones impuestas por la Autoridad portuaria de Valencia para los pliegos de las concesiones.

En la **Tabla 34**, se encuentran resumidas las características más importantes del dimensionamiento de las dos propuestas.

Tabla 34: Resumen de los equipos utilizados para las propuestas 1 y 2.

		Propuesta 1	Propuesta 2
Dimensiones	Superficie	49 ha	121 ha
	Línea de atraque	800 m	1960 m
Grúas muelle	Número	10	15
	Productividad	30	35
Equipo interconexión Muelle-Patio	Tipología	ShC	ShC
	Número	28	58
Equipo Patio	Tipología	ASC	ASC
	Número	46	104
Equipo interconexión Patio-Ferrocarril	Tipología	SC	SC
	Número	3	8
Nº Carriles	Entrada	4	10
	Salida	3	6

Fuente: Elaboración propia

Comparando la superficie de la propuesta 1 y 2, se observa que la diferencia es que la segunda es casi 3 veces la primera, mientras que en el caso de la línea de atraque es algo menor, la relación es de dos veces y media la primera. Con estos dos valores se podría suponer que la mayor parte de elementos deberían tener una relación similar, y en efecto, todos los equipos dimensionados se diferencian entre 2 y 2,7 veces los dimensionados para la primera propuesta.

La única excepción que se aleja del orden de magnitud citado anteriormente son las grúas de muelle, que además han sido sobredimensionadas para poder dar servicio a los buques a mayores productividades, para poder comparar se ha multiplicado el número de grúas por su productividad, y se ha obtenido una relación de 1,75, que realmente sin el sobredimensionamiento hubiese sido 30 grúas de productividad 15 y la relación sería de 1,5. En este caso, la excepción tiene su explicación en el pliego de condiciones básicas de la concesión, donde se ha exigido que la terminal propuesta cumpla unas capacidades mínimas por metro de muelle de 2100 TEUs por año, pero este valor no es igual de exigente para ambas propuestas, ya que observando la fórmula de la capacidad se observa que hay varios valores como el número de horas al año que al ser un mismo puerto serán las mismas, pero la longitud interfiere directamente en el número de puestos de atraque y este a su vez en el coeficiente de ocupación. El número de atraques en este caso varía de 3 a 5 que es un incremento del 66%, a su vez esto provoca un incremento en la tasa de ocupación de 0.49 a un 0.63, es decir de casi un 30%, pero, además las productividades por buques atracados son mayores cuanto mayor es el barco porque suelen tener más contenedores para mover y menos remociones y tiempos perdidos. Por todo esto, cabe destacar que:



- Con la terminal propuesta 1, solo es factible dar servicio si los buques son de tamaños más reducido, alrededor de 260 metros, puesto que si los barcos son mayores el número de atraques disminuye y no se puede llegar a la capacidad exigida, a no ser que se den productividades por buque atracado muy elevadas, y además que las llegadas de los buques sean programadas para que las tasas de ocupación sean más elevadas.
- Con la terminal propuesta 2, es muy fácil llegar a cumplir el mínimo de la capacidad, por lo que si tan solo hubiesen puesta esta condición los buques atracados tendrían productividades muy bajas y no sería un puerto competitivo.
- Ha sido acertado la exigencia de una productividad mínima para buques de más de 10.000 TEUs, puesto que si no fuera así en el caso de la propuesta 2 las productividades requeridas para cumplir el mínimo serían muy bajas.
- Para futuras concesiones se debería valorar, que la capacidad mínima depende de la longitud de atraque o por lo menos marcar varios escalones intermedios, puesto que es muy complicado crear un único pliego con las mismas condiciones para terminales que con tan gran variabilidad de dimensiones.

Por otro lado, puesto que a lo largo del transcurso del trabajo se ha presentado la propuesta de la empresa adjudicataria de la concesión, la cual es TIL, una empresa de gran envergadura y con mucha experiencia en el sector, y por lo tanto me gustaría comparar las dos propuestas que he realizado con la que se ha propuesto realmente por la empresa *Terminal Investment Limited*, una empresa filial de la naviera MSC. En la **Tabla 35**, se puede ver un resumen de los equipos empleados para las tres terminales.

Tabla 35: Resumen equipos de las tres propuestas.

		Propuesta 1	Propuesta 2	TIL
Dimensiones	Superficie	49 ha	136 ha	136 ha
	Línea de atraque	800 m	1960 m	1960 m
Grúas muelle	Número	10	15	22
	Productividad	30	35	32
Equipo interconexión	Tipología	ShC	ShC	AGV
Muelle-Patio	Número	28	58	154
Equipo Patio	Tipología	ASC	ASC	ASC
	Número	46	104	100
Equipo interconexión	Tipología	SC	SC	Cabezas tractoras
	Patio-Ferrocarril	Número	3	8
Equipo de ferrocarril	Tipología	RGC	RGC	RGC
	Número	1	2	3
Nº Carriles	Entrada	4	10	10+1
	Salida	3	6	7+1

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que incluso la propia empresa adjudicataria, como se señalaba en la **Tabla 32** empieza la concesión con una superficie mayor a la escogida para la propuesta 1, esto es debido a que la línea de atraque era muy pequeña para dar servicio a grandes buques que una de las características más reseñables del pliego de esta concesión, además que a su vez como se ha destacado en las conclusiones obtenidas anteriormente cuanto menor es la línea de



ataque más complicado es llegar a conseguir las capacidades mínimas exigidas por línea de atraque.

En cambio, si comparamos la propuesta 2 con la propuesta de TIL, ya se pueden encontrar diversas similitudes, por ejemplo:

- El equipo utilizado para el almacenamiento el cual es automatizado y con 9 contenedores de ancho, aunque en el caso de la propuesta 2, el largo es ligeramente superior pero la operativa igual.
- Las grúas de muelle son STS en ambas propuestas y la productividad está en el mismo orden de magnitud, aunque cabe destacar que en la propuesta de TIL se han puesto 7 grúas más, con esto lo que pretenden es dar un servicio de gran calidad, ofreciendo productividades de casi 150 mov/h, y con ello esperas relativas más bajas.
- Para la elección de las grúas de ferrocarril también se ha coincidido en la implantación de una grúa pórtico RGC, pero para la propuesta de la adjudicataria se ha creado una playa de vías de 1000 metros y se ha dotado con 3 RGC, mientras que para la propuesta 2 ha sido suficiente con 2 RGC para 750 metros de playa de vías. La concesionaria en este caso ha interpretado que va a salir más del mínimo por este medio, mientras que en mi caso lo he dimensionado para que pueda salir el mínimo de manera holgada, pero si fuera necesario ampliar valdría con poner una grúa pórtico más y los SC necesarios.
- El número de carriles de entrada y salida también es muy parecido, pero en el caso de la terminal 2 la longitud de cola es mucho mayor que para la propuesta de TIL y además se ha creado una zona de estacionamiento previo para laminar las entradas a la terminal.

A parte de las ligeras diferencias contadas anteriormente, también podemos encontrar otras diferencias de mayor importancia, como son los equipos de interconexión. En cuanto a la interconexión muelle patio de la terminal propuesta por TIL se ha decidido el uso de vehículos autoguiados, AGVs, los cuales tienen como principal inconveniente que depende de las grúas para poder trabajar, es decir, ellos no pueden levantar o bajar los contenedores, sino que son las grúas de muelle o las ASC las que realizan estos movimientos por eso se necesitan tantas unidades ya que en cada servicio deben esperar a ser atendidos por las grúas, mientras que el equipo escogido en la terminal 2, son los denominados Shuttle Carriers, los cuales pueden levantar y dejar los contenedores por sí solos así que no necesitan esperar a las grúas, ni las grúas deben esperarlos, este fenómeno de independencia entre subsistemas es el “*decoupling*”, y es primordial para que las grúas no pierdan tiempo y por lo tanto disminuyan su productividad. Por otro lado, el subsistema de interconexión patio-ferrocarril se ha propuesto la utilización de cabezas tractoras para la terminal de TIL, mientras que para la propuesta 2 se han utilizado Straddle Carriers, en este caso la ventaja que presentan los SC es la posibilidad de apilar en la zona de almacenamiento anexa al ferrocarril.

Enero 2020, valencia

Álvaro Capella López



Referencias

- AGERSCHOU, H. (2004). "Planning and design of ports and marine terminals" Thomas Telford Ltd, London.
- AGUILAR, J (2016) "El espacio esperas-ocupación como herramienta de monitorización de la calidad del servicio prestado en terminales de contenedores" XII Congreso de Ingeniería del Transporte, UPV, Valencia.
- ANTONIO G.N. (2012) " Long-term planning of a container terminal under demand uncertainty and economies of scale" Artículo en Perquisa Operacional, April 2012.
- AREVALO, L "Estudio de la zona de almacenaje de una terminal marítima de contenedores basados en la simulación", TFG, Universidad de Sevilla, 2014.
- AUTORIDAD PORTUARIA DE VALENCIA "Notas históricas sobre el puerto de Valencia", Valencia.
- AUTORIDAD PORTUARIA DE VALENCIA (2019a) "Pliego de bases del concurso para la construcción y explotación, en régimen de concesión administrativa, de la nueva terminal de contenedores de la ampliación Norte del Puerto de Valencia", Valencia.
- AUTORIDAD PORTUARIA DE VALENCIA (2019b) "Pliego de condiciones generales y particulares de la concesión para la ocupación de bienes de dominio público portuario", Valencia.
- CAMARERO, A (2011) "Análisis de las diversas metodologías para el estudio del sistema de atraque en terminales portuarias" Euromediterranean Scientific Congress on Engineering, Algeciras.
- ESPAÑA (2011). Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, por lo que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante (LPMM). Boletín Oficial del Estado, 20 de octubre de 2011, Madrid.
- FERNÁNDEZ, D (2009) "Estudio técnico y mantenimiento de una grúa porta-contenedores", TFM, Facultat de Nàutica de Barcelona, Barcelona.
- GIL, C (2008) "Definición de los niveles de servicio de las terminales portuarias" Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- GUTIÉRREZ, D (2015) "Caracterización de los accesos terrestres en las terminales de contenedores mundialmente más relevantes" TFM, Universidad Politècnica de Valencia.
- MAR-ORTIZ, J; FRACIA D., MARÍA (2017) "Un análisis de los factores que afectan la productividad de los sitios de atraque en una terminal de contenedores" Ingeniería, investigación y tecnología, volumen XVIII (número 2)
- MONFORT, A; et al. (2011) "Manual de Capacidad Portuaria: aplicación a terminales de contenedores." Fundación Valenciaport, Valencia.
- MONFORT, A; et al. (2012) "Innovaciones tecnológicas y de gestión en Terminales Portuarias de Contenedores" Fundación Valenciaport, Valencia.



- MONFORT, A (2015) “Análisis de los factores determinantes en el cálculo de la capacidad por línea de atraque de una terminal de contenedores: Propuesta de niveles de servicio en su concesión” Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.
- MONFORT, A; AGUILAR, J (2016) “Propuesta de caracterización del nivel de servicio por línea de atraque en contratos de concesión de terminales portuarias de contenedores” XII Congreso de Ingeniería del Transporte, UPV, Valencia.
- PUERTOS DEL ESTADO “ROM 2.0-11: Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre”, 2012.
- RODRIGO DE LARRUCEA, J. (2018) “Terminales automatizadas y semiautomatizadas. Operativa y equipamientos” Artículo de investigación, Universitat Politècnica de Catalunya.
- ROVIRA, J. O. (2015) “Transporte de mercancías perecederas en contenedor frigorífico” TFC, Universitat Politècnica de Catalunya.
- SERRA, I “Estudio de la mejora de la eficiencia a partir de la automatización en una terminal de contenedores. Aplicación a MSC Terminal Valencia.”, TFM, Universidad Politécnica de Valencia, 2018.
- Terminal Investment Limited (TIL, 2019) “Plan técnico y de Inversión” para el concurso para la construcción y la explotación, en régimen de concesión administrativa, de la nueva terminal de contenedores de la ampliación Norte del Puerto de Valencia.
- UNTAC (2015) “Review of Maritime Transport 2015”
- UNTAC (2018) “Review of Maritime Transport 2018”
- Yañez, P. (2014) “Análisis de capacidad portuaria: intensidad media diaria de contenedores vs intensidad media anual de contenedores” TFM, Universitat Politècnica de Catalunya.



ANEJO 1: TABLAS DE DATOS



Tabla 1: Capacidad por metro lineal de muelle al año según productividades, espera relativa y número de grúas.
Para la propuesta 1.

Productividades	Espera Relativa $T_e/ts=0,05$			Espera Relativa $T_e/ts=0,1$			
	25	30	35	25	30	35	
nº grúas	1	158	190	221	198	238	278
	2	316	379	442	397	476	556
	3	474	569	663	595	714	833
	4	632	758	885	794	953	1111
	5	790	948	1106	992	1191	1389
	6	948	1137	1327	1191	1429	1667
	7	1106	1327	1548	1389	1667	1945
	8	1264	1516	1769	1588	1905	2223
	9	1422	1706	1990	1786	2143	2500
	10	1580	1895	2211	1985	2381	2778
	11	1737	2085	2432	2183	2620	3056
	12	1895	2274	2654	2381	2858	3334
	13	2053	2464	2875	2580	3096	3612
	14	2211	2654	3096	2778	3334	3890
	15	2369	2843	3317	2977	3572	4167

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 2: Capacidad de patio de la propuesta 1 según tiempo medio de estancia de los contenedores y altura de apilado.

Tiempo de espera (días)	Altura operativa de apilado									
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
1	3744900	5617350	7489800	9362250	11234700	13107150	14979600	16852050	18724500	
2	1872450	2808675	3744900	4681125	5617350	6553575	7489800	8426025	9362250	
3	1248300	1872450	2496600	3120750	3744900	4369050	4993200	5617350	6241500	
4	936225	1404338	1872450	2340563	2808675	3276788	3744900	4213013	4681125	
5	748980	1123470	1497960	1872450	2246940	2621430	2995920	3370410	3744900	
6	624150	936225	1248300	1560375	1872450	2184525	2496600	2808675	3120750	
7	534986	802479	1069971	1337464	1604957	1872450	2139943	2407436	2674929	
8	468113	702169	936225	1170281	1404338	1638394	1872450	2106506	2340563	
9	416100	624150	832200	1040250	1248300	1456350	1664400	1872450	2080500	
10	374490	561735	748980	936225	1123470	1310715	1497960	1685205	1872450	
11	340445	510668	680891	851114	1021336	1191559	1361782	1532005	1702227	
12	312075	468113	624150	780188	936225	1092263	1248300	1404338	1560375	
13	288069	432104	576138	720173	864208	1008242	1152277	1296312	1440346	

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 3: Capacidad por metro lineal de muelle al año según productividades, espera relativa y número de grúas.
Para la propuesta 2.

Productividades	Espera Relativa $T_e/ts=0,05$			Espera Relativa $T_e/ts=0,1$		
	25	30	35	25	30	35
1	104	124	145	121	145	169
2	207	249	290	242	290	338
3	311	373	435	363	435	508
4	414	497	580	484	580	677
5	518	622	725	604	725	846
6	622	746	870	725	870	1015
7	725	870	1015	846	1015	1185
8	829	995	1160	967	1160	1354
9	933	1119	1306	1088	1306	1523
10	1036	1243	1451	1209	1451	1692
11	1140	1368	1596	1330	1596	1862
12	1243	1492	1741	1451	1741	2031
13	1347	1616	1886	1571	1886	2200
14	1451	1741	2031	1692	2031	2369
15	1554	1865	2176	1813	2176	2539
16	1658	1989	2321	1934	2321	2708
17	1761	2114	2466	2055	2466	2877
18	1865	2238	2611	2176	2611	3046
19	1969	2362	2756	2297	2756	3215
20	2072	2487	2901	2418	2901	3385
21	2176	2611	3046	2539	3046	3554
22	2280	2735	3191	2659	3191	3723

Fuente: Elaboración propia.



Productividad, nivel de servicio y capacidad en terminales de contenedores.
El caso de la futura terminal Norte del Puerto de Valencia.



Tabla 4: Capacidad de patio de la propuesta 2 según tiempo medio de estancia de los contenedores y altura de apilado.

Tiempo de espera (días)	Altura operativa de apilado									
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
1	11950830	17926245	23901660	29877075	35852490	41827905	47803320	53778735	59754150	
2	5975415	8963123	11950830	14938538	17926245	20913953	23901660	26889368	29877075	
3	3983610	5975415	7967220	9959025	11950830	13942635	15934440	17926245	19918050	
4	2987708	4481561	5975415	7469269	8963123	10456976	11950830	13444684	14938538	
5	2390166	3585249	4780332	5975415	7170498	8365581	9560664	10755747	11950830	
6	1991805	2987708	3983610	4979513	5975415	6971318	7967220	8963123	9959025	
7	1707261	2560892	3414523	4268154	5121784	5975415	6829046	7682676	8536307	
8	1493854	2240781	2987708	3734634	4481561	5228488	5975415	6722342	7469269	
9	1327870	1991805	2655740	3319675	3983610	4647545	5311480	5975415	6639350	
10	1195083	1792625	2390166	2987708	3585249	4182791	4780332	5377874	5975415	
11	1086439	1629659	2172878	2716098	3259317	3802537	4345756	4888976	5432195	
12	995903	1493854	1991805	2489756	2987708	3485659	3983610	4481561	4979513	
13	919295	1378942	1838589	2298237	2757884	3217531	3677178	4136826	4596473	
14	853631	1280446	1707261	2134077	2560892	2987708	3414523	3841338	4268154	
15	796722	1195083	1593444	1991805	2390166	2788527	3186888	3585249	3983610	
16	746927	1120390	1493854	1867317	2240781	2614244	2987708	3361171	3734634	
17	702990	1054485	1405980	1757475	2108970	2460465	2811960	3163455	3514950	
18	663935	995903	1327870	1659838	1991805	2323773	2655740	2987708	3319675	
19	628991	943487	1257982	1572478	1886973	2201469	2515964	2830460	3144955	
20	597542	896312	1195083	1493854	1792625	2091395	2390166	2688937	2987708	

Fuente: Elaboración propia.



ANEJO 2: PLANOS

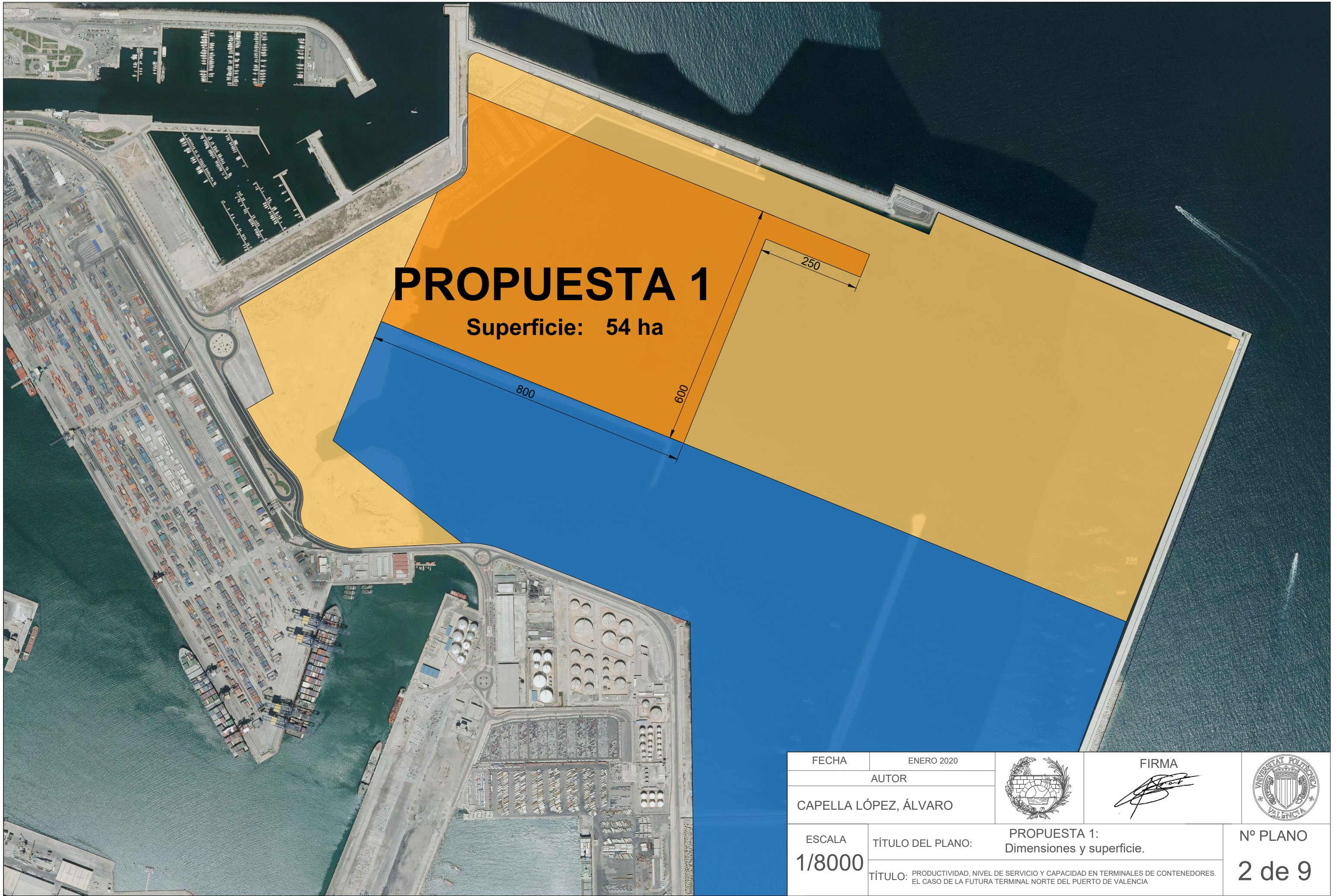


ÍNDICE DE PLANOS

1. Situación y emplazamiento.
2. Propuesta 1: Dimensiones y superficie.
3. Propuesta 1: General.
4. Propuesta 1: Específico.
5. Propuesta 2: Dimensiones y superficie.
6. Propuesta 2: General.
7. Propuesta 2: Específico.
8. Propuesta 2: Construcción por fases.
9. Propuesta TIL.



FECHA	ENERO 2020		FIRMA		
AUTOR					
CAPELLA LÓPEZ, ÁLVARO		SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO		Nº PLANO	
ESCALA DEFINIDA EN LOS DETALLES	TÍTULO DEL PLANO: PRODUCTIVIDAD, NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD EN TERMINALES DE CONTENEDORES. EL CASO DE LA FUTURA TERMINAL NORTE DEL PUERTO DE VALENCIA			1 de 9	



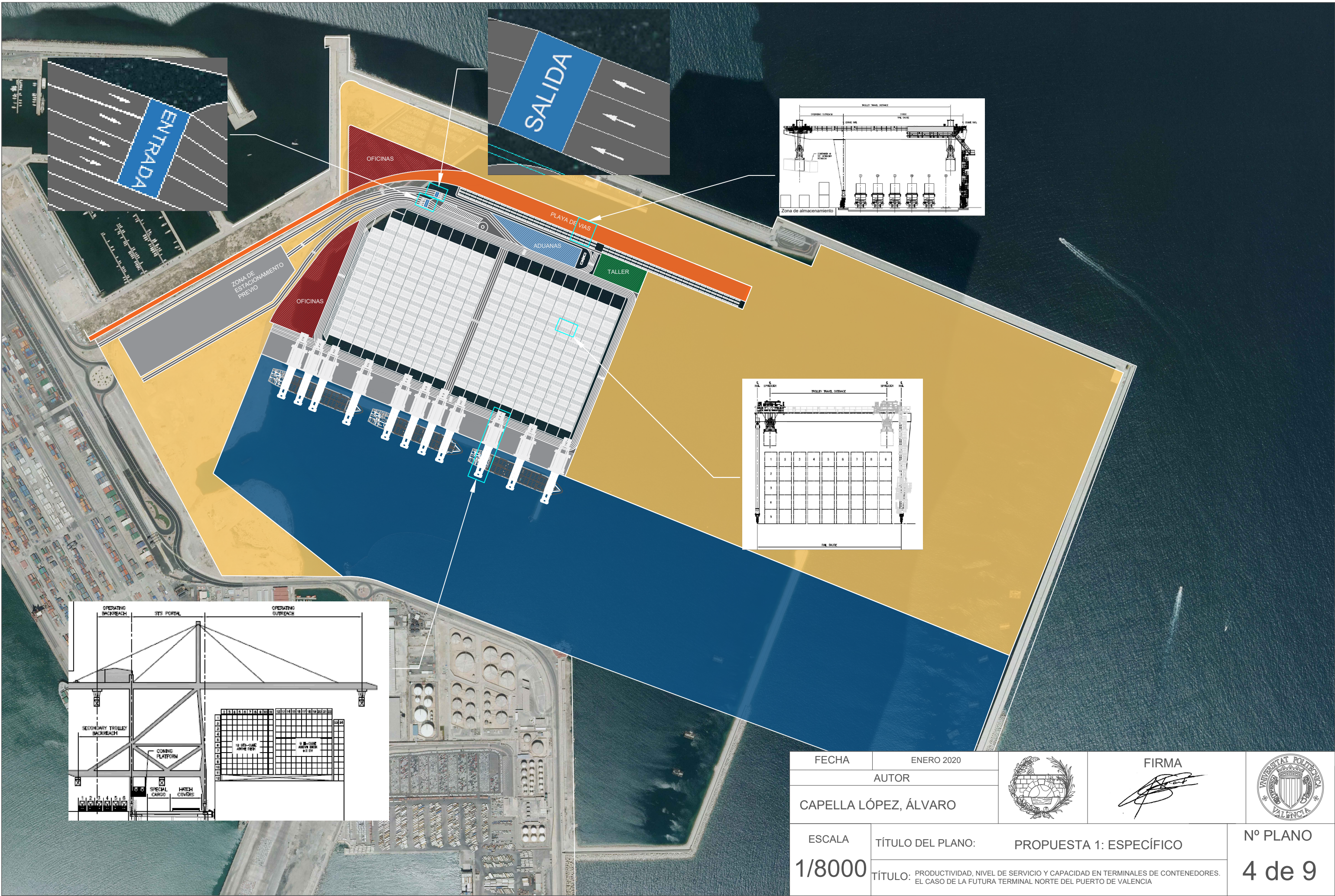
PROPUESTA 1

Superficie: 54 ha

FECHA	ENERO 2020		FIRMA		
AUTOR					
CAPELLA LÓPEZ, ÁLVARO					
ESCALA	TÍTULO DEL PLANO:	PROPUESTA 1: Dimensiones y superficie.		Nº PLANO	
1/8000	TÍTULO:	PRODUCTIVIDAD, NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD EN TERMINALES DE CONTENEDORES. EL CASO DE LA FUTURA TERMINAL NORTE DEL PUERTO DE VALENCIA		2 de 9	



FECHA	ENERO 2020			FIRMA 	
AUTOR	CAPELLA LÓPEZ, ÁLVARO				
ESCALA	TÍTULO DEL PLANO:	PROPUESTA 1: GENERAL	N° PLANO 3 de 9		
1/4000	TÍTULO:	PRODUCTIVIDAD, NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD EN TERMINALES DE CONTENEDORES. EL CASO DE LA FUTURA TERMINAL NORTE DEL PUERTO DE VALENCIA			



FECHA: ENERO 2020
 AUTOR: CAPELLA LÓPEZ, ÁLVARO



FIRMA: *[Handwritten Signature]*



ESCALA: 1/8000

TÍTULO DEL PLANO: PROPUESTA 1: ESPECÍFICO
 TÍTULO: PRODUCTIVIDAD, NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD EN TERMINALES DE CONTENEDORES. EL CASO DE LA FUTURA TERMINAL NORTE DEL PUERTO DE VALENCIA

Nº PLANO: 4 de 9



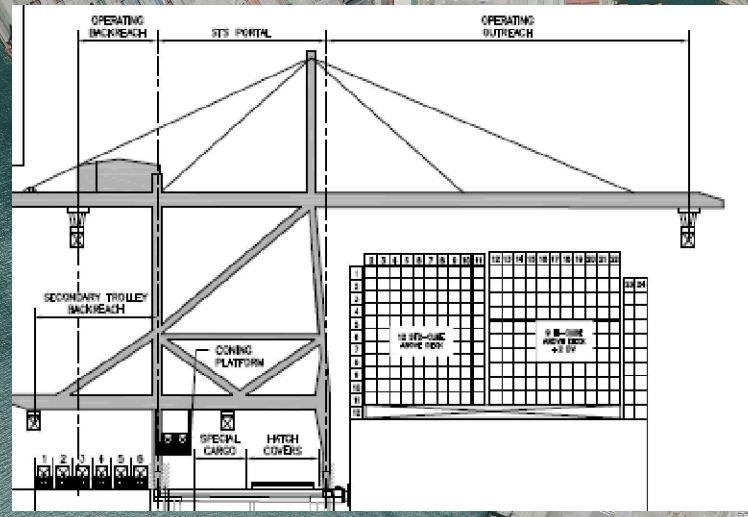
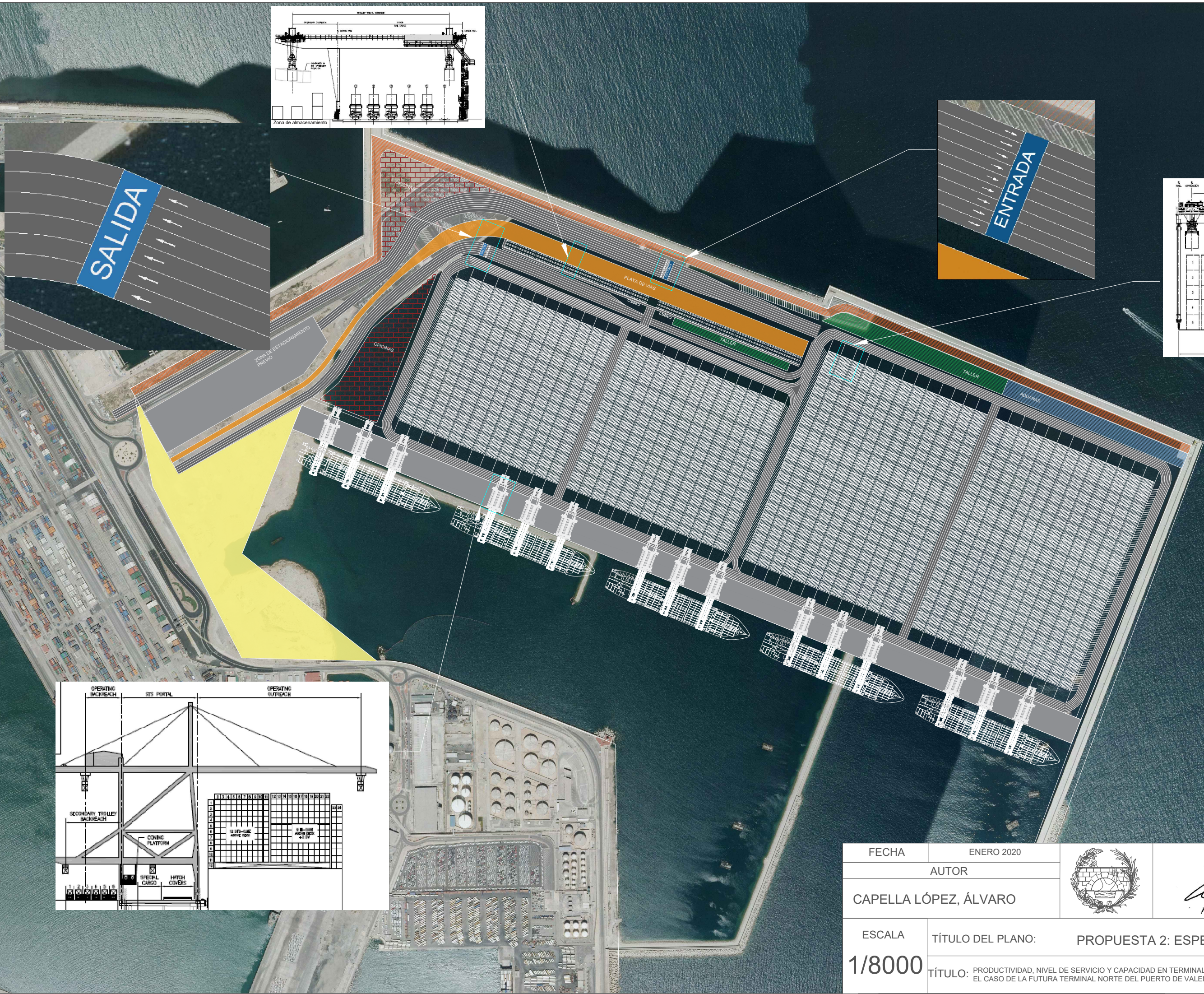
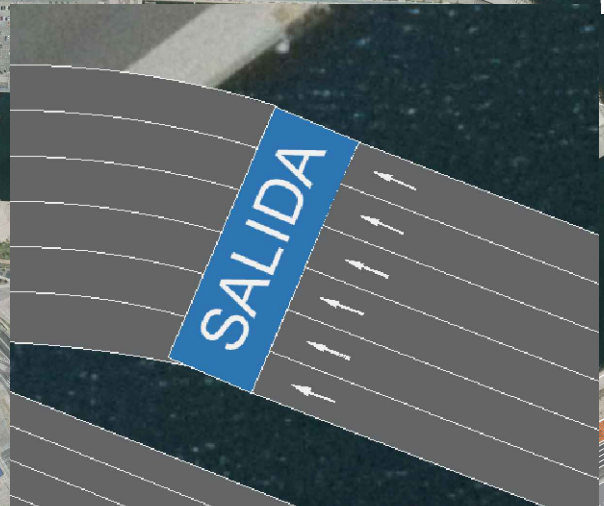
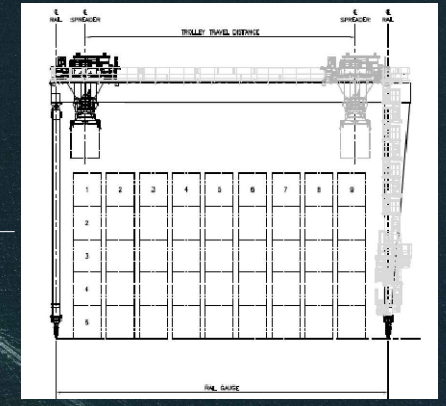
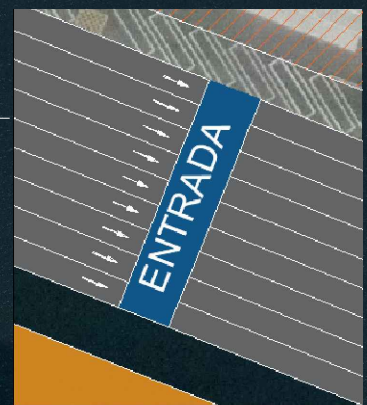
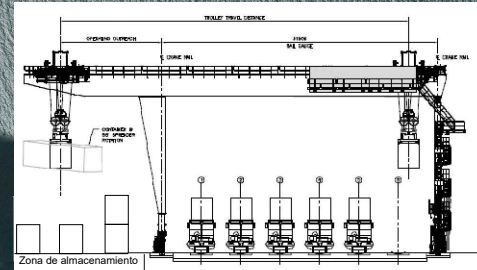
PROPUESTA 2

Superficie: 136 ha

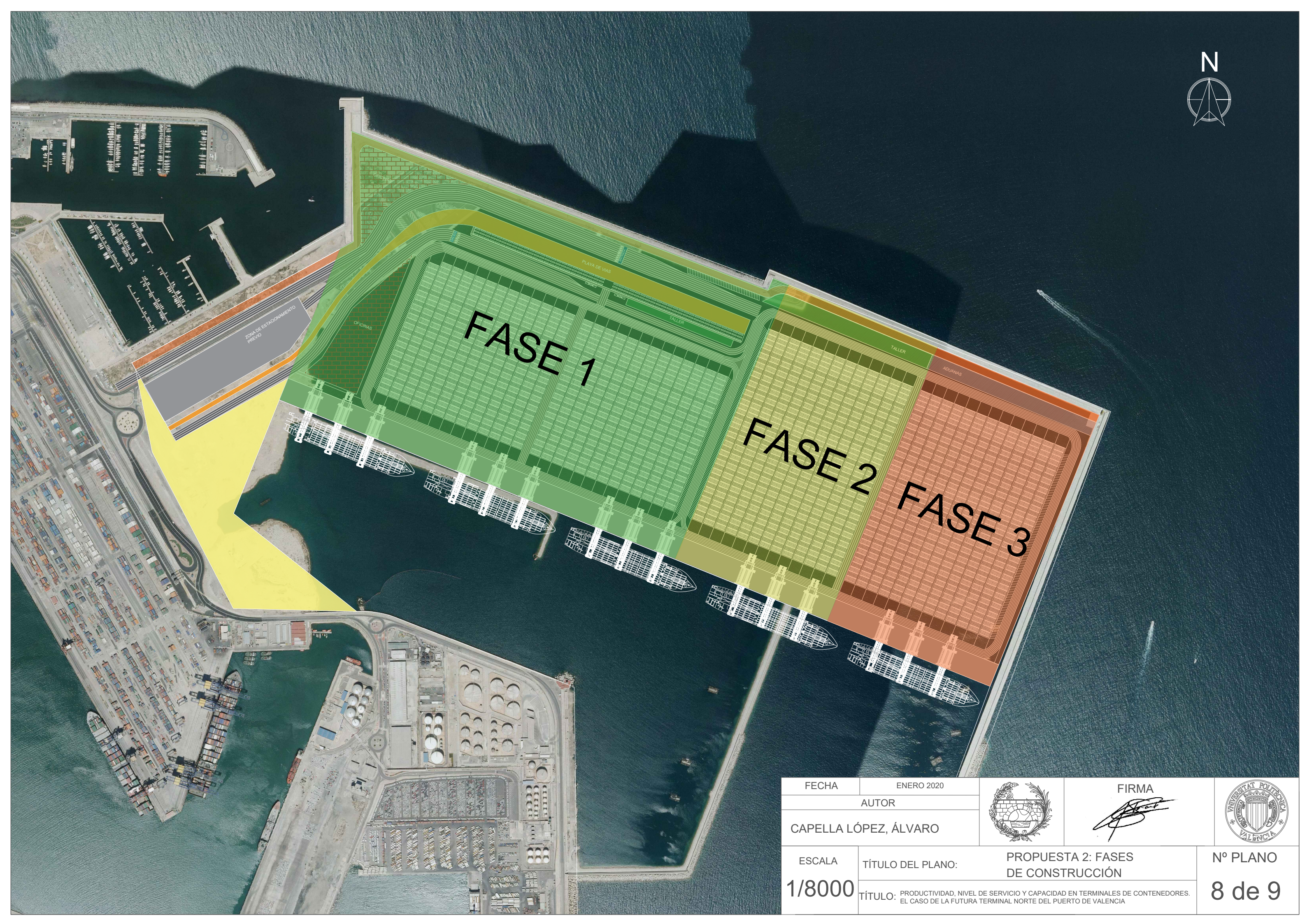
FECHA	ENERO 2020		FIRMA 	
AUTOR				
CAPELLA LÓPEZ, ÁLVARO		PROPUESTA 2: SUPERFICIE Y DIMENSIONES		Nº PLANO
ESCALA	TÍTULO DEL PLANO:	TÍTULO: PRODUCTIVIDAD, NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD EN TERMINALES DE CONTENEDORES. EL CASO DE LA FUTURA TERMINAL NORTE DEL PUERTO DE VALÈNCIA		5 de 9
1/8000				



FECHA	ENERO 2020		FIRMA		
AUTOR					
CAPELLA LÓPEZ, ÁLVARO					
ESCALA	TÍTULO DEL PLANO:	PROPUESTA 2: GENERAL		Nº PLANO	
1/8000	TÍTULO: PRODUCTIVIDAD, NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD EN TERMINALES DE CONTENEDORES. EL CASO DE LA FUTURA TERMINAL NORTE DEL PUERTO DE VALENCIA			6 de 9	



FECHA	ENERO 2020		FIRMA		
AUTOR	CAPELLA LÓPEZ, ÁLVARO		Nº PLANO		
ESCALA	1/8000	TÍTULO DEL PLANO:	PROPUESTA 2: ESPECÍFICO	TÍTULO: PRODUCTIVIDAD, NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD EN TERMINALES DE CONTENEDORES. EL CASO DE LA FUTURA TERMINAL NORTE DEL PUERTO DE VALÈNCIA	



FECHA	ENERO 2020		FIRMA		
AUTOR					
CAPELLA LÓPEZ, ÁLVARO					
ESCALA	TÍTULO DEL PLANO:	PROPUESTA 2: FASES DE CONSTRUCCIÓN		Nº PLANO	
1/8000	TÍTULO: PRODUCTIVIDAD, NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD EN TERMINALES DE CONTENEDORES. EL CASO DE LA FUTURA TERMINAL NORTE DEL PUERTO DE VALÈNCIA			8 de 9	

Entrega /
Recepcion

Terminal Ferroviaria

Buffer Capacidad

Patio Almacenamiento

Muelle



FECHA ENERO 2020

AUTOR

CAPELLA LÓPEZ, ÁLVARO



FIRMA



ESCALA

S/N

TÍTULO DEL PLANO: PROPUESTA TIL

TÍTULO: PRODUCTIVIDAD, NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD EN TERMINALES DE CONTENEDORES. EL CASO DE LA FUTURA TERMINAL NORTE DEL PUERTO DE VALENCIA

Nº PLANO

9 de 9