

MASTER EN GESTIÓN PORTUARIA Y TRANSPORTE INTERMODAL.

ESTUDIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA TERMINAL PORTUARIA DE INTERSAGUNTO, PUERTO DE SAGUNTO

Autor:

Borja Ferrer Sánchez

Tutor:

Arturo Monfort Mulinas

Abril de 2018

“Siempre parece imposible hasta que se hace”

-Nelson Mandela

AGRADECIMIENTOS:

A mi familia, que han hecho posible este viaje y me han acompañado en el camino.

A mi tutor, Arturo, por ser mi guía, mentor y consejero.

A mis compañeros del máster, por este curso.

A mis compañeros de equipo del máster: Luis, María y Marina. Por ser mis compañeros incondicionales.

A la fundación Valenciaport y la Universidad Pontificia de Comillas por la oportunidad que me han brindado.

A mis compañeros de la terminal de Intersagunto, a Víctor por la ayuda y consejo que me ha regalado.

A Rafa y Aurelio, por mostrarme este mundo y guiarme en el camino.

A todos, gracias de corazón

Borja

RESUMEN:

La terminal portuaria de Intersagunto se trata de una terminal polivalente emplazada en el muelle norte del Puerto de Sagunto. El presente estudio trata de establecer un modelo para la ordenación, automatización y explotación económica de la terminal, de forma que se convierta en una terminal portuaria de contenedores con un grado elevado de automatización.

El tráfico marítimo de contenedores supuso una revolución en el transporte marítimo, tanto las infraestructuras como la maquinaria han venido teniendo una especial adaptación a esta metodología de tráfico. La competencia entre los puertos por atraer a los principales buques portacontenedores trae consigo una lucha por poder ofrecer precios más bajos en el transporte, es decir, se intenta buscar un abaratamiento de costes en el paso de los contenedores por los puertos. Además, en Europa existe una fuerte competencia entre terminales de tamaño medio que tienen un tráfico de contenedores de entre 200.000-300.000 teu/año, que reciben las líneas *feeder* de puertos *hub* o tratan líneas que no tienen la carga de contenedores suficiente para ser atractivos para puertos *hub* o que operan líneas de buques transoceánicos.

Para poder enfrentarse a esta fuerte competencia, las terminales deben ofrecer un nivel de servicio muy alto, con gran rendimiento. En la actualidad, los costes principales que soportan las terminales son el coste de los equipos y de la mano de obra. La reducción de los costes de maquinaria resulta complejo, ya que se trata de un mercado muy especializado y reducido, con grandes inversiones. Sin embargo, el coste del personal de una terminal puede suponer hasta el 60% del coste total de la explotación de ésta, en las últimas décadas la tendencia es a la reducción de este aspecto, por medio de la automatización de procesos dentro de la terminal.

El objeto de este estudio es el estudio de implantación de una terminal de contenedores semiautomatizada, concretamente en el terreno de la actual terminal de Intersagunto, incorporando sistemas automatizados de última generación para el almacenamiento de contenedores en el patio de la terminal, con el fin de obtener rendimientos más eficientes, utilizando menos recursos de mano de obra operativa, maximizando el aprovechamiento de superficie de patio y obteniendo con ello mayor beneficio económico. Por ello se realizará el diseño técnico de la alternativa automatizada más viable, se estudiará la viabilidad de este tipo de terminal y si permitiría un ahorro de costes de explotación suficiente para obtener mayores beneficios que la terminal actual.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS:	4
RESUMEN:	6
ÍNDICE	8
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABLAS	12
ÍNDICE DE GRÁFICOS	13
GLOSARIO DE TÉRMINOS	15
I. INTRODUCCIÓN	18
I.1. OBJETO	18
II. ANTECEDENTES	20
II.1. TRANSPORTE MARÍTIMO	20
II.2. TERMINALES PORTUARIAS DE CONTENEDORES.	22
II.3. AUTOMATIZACIÓN DE TERMINALES PORTUARIAS DE CONTENEDORES	24
II.3.1. DELTA TERMINAL ROTTERDAM	25
II.3.2. CONTAINER TERMINAL ALTENWERDER	26
II.3.3. PASIR PANJANG TERMINAL 1 SINGAPUR	27
II.3.4. TTI ALGECIRAS	28
II.3.5. BEST BARCELONA	29
II.3.6. MAASVLAKTE II ROTTERDAM	30
III. ANÁLISIS OPERATIVO DE TERMINALES DE CONTENEDORES	32
III.1. FUNCIONES DE UNA TPC	32
III.2. OPERACIONES EN TPC	32
III.3. DISEÑO OPERATIVO DE LA TERMINAL	33
III.3.1. RENDIMIENTO OPERACIONAL	33
III.3.2. EFICIENCIA	34
III.3.3. CAPACIDAD	35
III.3.4. NIVEL DE SERVICIO	36
IV. SISTEMAS DE MANIPULACIÓN EN TERMINALES DE CONTENEDORES	38
IV.1. SUBSISTEMA DE CARGA Y DESCARGA DE BUQUES	38
IV.1.1. GRÚAS SHIP TO SHORE (STS)	39
IV.1.2. GRÚAS MÓVILES	41
IV.1.3. GRÚAS DE LARGO ALCANCE (WSG)	42
IV.1.4. GRÚAS DE BUQUE	42
IV.2. SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO	43
IV.2.1. PLATAFORMAS	43
IV.2.2. CARRETILLAS	44
IV.2.3. REACH STACKERS	44
IV.2.4. STRADDLE CARRIERS (SC)	45

IV.2.5.	GRÚAS PÓRTICO	47
IV.3.	SUBSISTEMA DE RECEPCIÓN Y ENTREGA	49
IV.3.1.	FERROCARRIL	49
IV.3.2.	TRANSPORTE CON CAMIÓN	50
IV.4.	SUBSISTEMA DE INTERCONEXIÓN	51
IV.4.1.	PLATAFORMA + CABEZA TRACTORA	51
IV.4.2.	VEHÍCULOS GUIADOS AUTOMÁTICAMENTE (AGV)	52
V.	AUTOMATIZACIÓN EN TERMINALES DE CONTENEDORES	54
V.1.	CONSIDERACIONES INICIALES EN AUTOMATIZACIÓN DE TERMINALES	54
V.1.1.	PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO	54
V.1.2.	REVOLUCIÓN VS EVOLUCIÓN	55
V.1.3.	CONFIGURACIONES PARA LA AUTOMATIZACIÓN.	55
VI.	ESTUDIO DE AUTOMATIZACIÓN: INTERSAGUNTO TERMINALES	60
VI.1.	INTRODUCCIÓN	60
VI.2.	INTERSAGUNTO TERMINALES	61
VI.2.1.	MARCO GEOGRÁFICO	62
VI.2.2.	SITUACIÓN ACTUAL	63
VI.2.3.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE AUTOMATIZACIÓN	64
VI.2.4.	CONDICIONANTES DE LA TERMINAL	64
VI.3.	ESTUDIO DE CONFIGURACIÓN DE LA TERMINAL	65
VI.3.1.	SUBSISTEMA DE CARGA Y DESCARGA DE BUQUES	65
VI.3.2.	SUBSISTEMA DE RECEPCIÓN Y ENTREGA	66
VI.3.3.	SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO	66
VI.3.4.	SUBSISTEMA DE INTERCONEXIÓN O TRANSPORTE HORIZONTAL	67
VI.3.5.	CONCLUSIONES	67
VI.4.	CÁLCULOS OPERATIVOS	68
VI.4.1.	CAPACIDAD ANUAL POR LÍNEA DE ATRAQUE	68
VI.4.2.	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO	71
VI.4.3.	CAPACIDAD DE OPERACIONES DE RECEPCIÓN Y ENTREGA TERRESTRE	73
VI.4.4.	CAPACIDAD LIMITANTE DE LA TERMINAL	75
VI.4.5.	REQUISITOS DE EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA	75
VI.5.	PROPUESTA DE DISEÑO OPERACIONAL	77
VII.	ESTUDIO ECONÓMICO DE EXPLOTACIÓN	79
VII.1.	METODOLOGÍA DE CÁLCULO	79
VII.2.	DESGLOSE DE COSTES ASOCIADOS A LA TERMINAL	80
VII.2.1.	OBRAS E INFRAESTRUCTURA DE LA TERMINAL	80
VII.2.2.	COSTE DE PERSONAL DE ESTIBA	81
VII.2.3.	MAQUINARIA DE MANIPULACIÓN	82
VII.2.4.	COSTES GENERALES	85
VII.3.	COSTES ASOCIADOS A LAS OPERACIONES DEL CONTENEDOR EN TERMINAL	86
VII.3.1.	TERMINAL CONVENCIONAL	87
VII.3.2.	TERMINAL AUTOMATIZADA	88
VII.3.3.	CONCLUSIONES	89
VII.4.	ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE INVERSIÓN	90
VII.5.	CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO ECONÓMICO	93
VIII.	CONCLUSIONES FINALES	95

REFERENCIAS **97**

PÁGINAS WEB CONSULTADAS: **99**

ÍNDICE DE FIGURAS

I. INTRODUCCIÓN	17
FIGURA 1. PRINCIPALES FLUJOS COMERCIALES MUNDIALES.	18
FIGURA 2. TOP 30 PUERTOS DE CONTENEDORES DEL MUNDO EN 2014 POR TEUS	19
II. ANTECEDENTES	20
FIGURA 3. EVOLUCIÓN DE LOS BUQUES DE CONTENEDORES	21
FIGURA 4. SUBSISTEMAS DE UNA TPC	23
FIGURA 5. TERMINALES AUTOMATIZADAS EN EL MUNDO HASTA 2014	24
FIGURA 6. VISTA AÉREA ECT ROTTERDAM	25
FIGURA 7. VISTA AÉREA DE LA TERMINAL	26
FIGURA 8. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO HHLA	26
FIGURA 9. VISTA DE AÉREA DE PISIS PANJANG TERMINAL	27
FIGURA 10. VISTA AÉREA TTI ALGECIRAS	28
FIGURA 11. VISTA AÉREA TERMINAL BEST	29
FIGURA 12. VISTA AÉREA DE LA FASE A DE LA TERMINAL	30
FIGURA 13. VISTA DE LA SUPERFICIE DE LA TERMINAL Y PLANO DEL PROYECTO FINAL	30
FIGURA 14. CARACTERÍSTICAS DE LA FASE A DE LA TERMINAL	31
III. ANÁLISIS OPERATIVO DE TERMINALES DE CONTENEDORES	32
IV. SISTEMAS DE MANIPULACIÓN EN TERMINALES DE CONTENEDORES	38
FIGURA 15. ESQUEMA DE SUBSISTEMAS.	38
FIGURA 16. <i>SPREADER TANDEM</i>	38
FIGURA 17. GRÚAS STS EN EL PUERTO DE CAPE TOWN (RSA)	39
FIGURA 18. FIGURA XX. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GRÚAS STS-PORTAINER	40
FIGURA 19. GRÚA MÓVIL CON <i>SPREADER</i>	41
FIGURA 20. <i>WIDE SPAN GANTRY CRANE</i>	42
FIGURA 21. GRÚAS DE BUQUE	43
FIGURA 22. <i>FORKLIFT</i>	44
FIGURA 23. REACH STACKER.	45
FIGURA 24. <i>STRADDLE CARRIER</i> EN ECT ROTTERDAM	46
FIGURA 25. GRANGEMOUTH PORT	46
FIGURA 26. eRTG, PORT OF FELIXSTOWE	47
FIGURA 27. RTGs APM TERMINALS VIRGINIA	49
FIGURA 28. MAFIS EN OPERACIÓN DE DESCARGA DE BUQUE.	52
FIGURA 29. AGVs EN CONTAINER TERMINAL ALTENWERDER.	53
V. AUTOMATIZACIÓN EN TERMINALES DE CONTENEDORES	54
FIGURA 30. LIFT-AGV	56
FIGURA 31. TIPOLOGÍAS DE OPERACIÓN DE RMGS	57
FIGURA 32. ASC CROSSOVER	58
FIGURA 33. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE EQUIPO DE PATIO	59
VI. ESTUDIO DE AUTOMATIZACIÓN: INTERSAGUNTO TERMINALES	60
FIGURA 34. VISTA AÉREA DEL PUERTO DE SAGUNTO	60
FIGURA 35. VISTA AÉREA IST	62
FIGURA 36. DESCARGA DE CONTENEDORES EN IST	63
FIGURA 37. CAPACIDAD POR LÍNEA DE ATRAQUE DE UNA TERMINAL	68
FIGURA 38. ESPERA RELATIVA Y TASA DE OCUPACIÓN	70
FIGURA 39. NUEVA CONFIGURACIÓN DE LA TERMINAL	78

ÍNDICE DE TABLAS

III. ANÁLISIS OPERATIVO DE TERMINALES DE CONTENEDORES	32
TABLA 1. INDICADORES DE OUTPUT DE TRÁFICO	33
TABLA 2. INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD	34
VI. ESTUDIO DE AUTOMATIZACIÓN: INTERSAGUNTO TERMINALES	60
TABLA 3. CAPACIDAD ANUAL POR LÍNEA DE ATAQUE	71
TABLA 4. DENSIDAD SUPERFICIAL DE ALMACENAMIENTO	72
TABLA 5. CAPACIDAD ANUAL DE ALMACENAMIENTO	73
TABLA 6. CAPACIDAD OPERACIONES DE RECEPCIÓN Y ENTREGA	74
TABLA 7. CAPACIDAD LIMITANTE DE OPERACIONES DE RECEPCIÓN Y ENTREGA	75
TABLA 8. CAPACIDAD LIMITANTE DE LA TERMINAL	75
TABLA 9. EQUIPOS DE PATIO NECESARIOS	76
TABLA 10. EQUIPOS DE INTERCONEXIÓN NECESARIOS	76
TABLA 11. CONFIGURACIÓN DE LAS PUERTAS DE LA TERMINAL	76
TABLA 12. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA NUEVA ALTERNATIVA	77
VII. ESTUDIO ECONÓMICO DE EXPLOTACIÓN	79
TABLA 13. COSTE DE INSTALACIONES Y OBRAS TERMINAL CONVENCIONAL	80
TABLA 14. COSTES DE INSTALACIONES Y OBRAS TERMINAL AUTOMATIZADA	80
TABLA 15. COSTES DE MANO DE R/E DE PERSONAL DE ESTIBA CONVENCIONAL	81
TABLA 16. COSTES DE MANO DE BUQUE DE PERSONAL DE ESTIBA CONVENCIONAL	81
TABLA 17. COSTES DE MANO DE PERSONAL DE ESTIBA AUTOMATIZADA	82
TABLA 18. COSTES DE ADQUISICIÓN MAQUINARIA TERMINAL CONVENCIONAL	82
TABLA 19. COSTES DE ADQUISICIÓN MAQUINARIA TERMINAL AUTOMATIZADA	83
TABLA 20. GASTO ENERGÉTICO DE MAQUINARIA TERMINAL CONVENCIONAL	83
TABLA 21. GASTO ENERGÉTICO DE MAQUINARIA TERMINAL AUTOMATIZADA	84
TABLA 22. COSTES DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA TERMINAL CONVENCIONAL	84
TABLA 23. COSTES DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA TERMINAL AUTOMATIZADA	85
TABLA 24. COSTES DE PERSONAL GENERAL POR AÑO	85
TABLA 25. COSTES GENERALES TERMINAL AUTOMATIZADA	86
TABLA 26. COSTES GENERALES TERMINAL CONVENCIONAL	86
TABLA 27. REPARTO DE COSTES POR TEU TERMINAL CONVENCIONAL	87
TABLA 28. REPARTO DE COSTES POR TEU TERMINAL AUTOMATIZADA	88
TABLA 29. RESUMEN COMPARACIÓN DE COSTES POR TEU	89
TABLA 30. ESTIMACIÓN DE TARIFAS DE LA TERMINAL	90
TABLA 31. PREVISIÓN DE FACTURACIÓN ANUAL	91
TABLA 33. PREVISIÓN DE COSTES ANUAL	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 32. VAN Y TIR DE LA INVERSIÓN	92

ÍNDICE DE GRÁFICOS

II. ANTECEDENTES	20
GRÁFICO 1. EXPORTACIONES Y ACUERDOS COMERCIALES	20
VII. ESTUDIO ECONÓMICO DE EXPLOTACIÓN	79
GRÁFICO 2. ANÁLISIS COSTES POR TEU TERMINAL CONVENCIONAL	87
GRÁFICO 3. ANÁLISIS COSTES POR TEU TERMINAL AUTOMATIZADA	88
GRÁFICO 4. COMPARACIÓN DE COSTES DE ALTERNATIVAS	89
GRÁFICO 5. PREVISIONES DE CRECIMIENTO DE TRÁFICO ANUALES	90
GRÁFICO 6. VAN Y TIR	93
GRÁFICO 7. ANÁLISIS FINANCIACIÓN 50 % DEL CAPITAL AL 5%	93

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Término	Definición
€	Euro
AGV	<i>Automated guided vehicle</i>
APV	Autoridad Portuaria de Valencia
ASC	<i>Automated stacking crane</i>
CTA	<i>Container Terminal Altenwerder</i>
cont.	Contenedor
CTQI	<i>Container Terminal Quality Indicator</i>
DGMM	Dirección General de la Marina Mercante (Gobierno de España)
ESPO	European Sea Ports Organisation
FL	Frontloader
GT	<i>"Gross tonnage" Arqueo bruto</i> (medida de volumen)
h	Hora
ha	Hectárea
I/E	Import y Export
KPIs	<i>Key Performance Indicators</i>
Lo-Lo	Lift on – Lift off
m	Metro
m.l.	Metro lineal
MASPORT	Metodologías de Automatización y simulación para la evaluación y mejora de la capacidad, rendimiento y nivel de servicio de terminales portuarias de contenedores
Max.	Máximo
MFOM	Ministerio de Fomento (Gobierno de España)
Mov	Movimiento (Unidad de medida de producción portuaria)
N/A	No aplicable
NdS	Nivel de servicio
O/D	Origen y destino
OHBC	<i>OverHead Bridge Crane</i>
OM	Operaciones marítimas
OT	Operaciones terrestres
P	Productividad anual de buque atracado
R/E	Recepción y Entrega
RMG	<i>Rail Mounted Gantry crane</i>
Ro-Pax	<i>Roll on – Roll off</i> y pasajeros
Ro-Ro	<i>Roll on – Roll off</i>
ROM	Recomendaciones para Obras Marítimas
RS	<i>Reachstacker</i>
RTG	<i>Rubber Tyred Gantry crane</i>
S.A.	Sociedad Anónima
S.L.	Sociedad Limitada

SAGEP	Sociedad Anónima de Gestión de Estibadores Portuarios
SC	<i>Straddle carrier</i>
SESASA	Sociedad Anónima de Gestión de Estibadores Portuarios de Sagunto
SEVASA	Sociedad Anónima de Gestión de Estibadores Portuarios de Valencia
ShC	<i>Shuttle Carrier</i>
SLU	Sociedad Limitada Unipersonal
t	Tonelada métrica
T+P	Tractor + Plataforma
Tb	Transbordo
TD	Terminal Dedicada
TEU	<i>Twenty-foot Equivalent Unit</i>
TIR	Tasa interna de rentabilidad
Tm	Tonelada métrica
TOS	<i>Terminal Operating System</i>
TP	Terminal pública
Ud	Unidad
UNCTAD	<i>United Nations Conference on Trade and Development</i>
VAN	Valor actual neto
ε	Tasa de espera relativa
Φ	Tasa de ocupación de atraque

I. Introducción

I.1. Objeto

El contenedor ha supuesto una revolución en el comercio, facilitando el crecimiento del comercio internacional, en especial el comercio marítimo intercontinental.

El comercio marítimo se puede establecer como una red en la que se concentra la carga de núcleos menores o *feeder*, sea por vía marítima, terrestre o aérea, en puertos principales o *hub* y se forman volúmenes de carga significativos que son transportados por vía marítima a otro puerto *hub* de otra región. Desde este, la carga es separada para el transporte a otros núcleos menores o *feeder*.

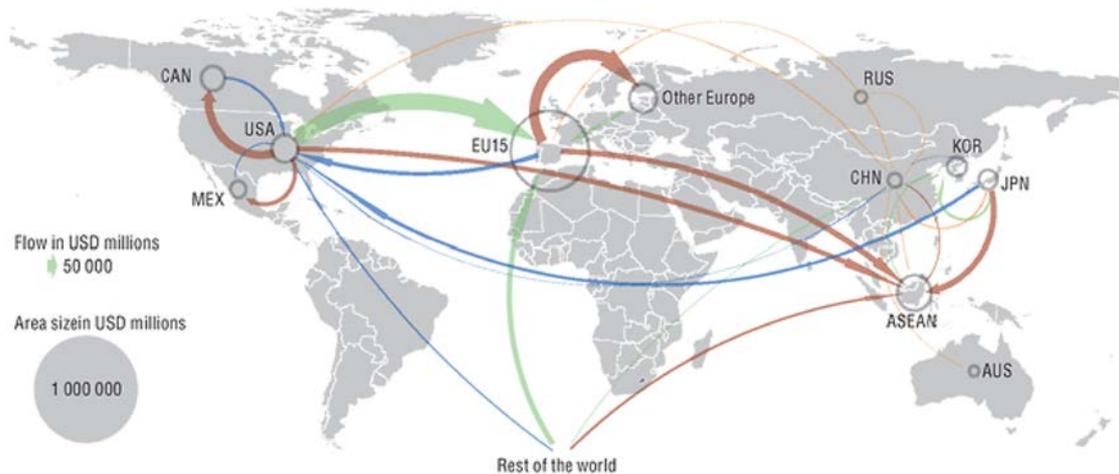


Figura 1. Principales flujos comerciales mundiales.

Fuente: OECD & WTO

Por ello, pese a ser el comercio intercontinental de estos puertos hub el más significativo, no se debe caer en el error de no estudiar la funcionalidad y rendimiento de núcleos menores que se conectan con los principales por medio del transporte marítimo a corta distancia o por rutas de barcos feeder.

Además, la tendencia actual de las navieras es a la concentración de flotas, reduciendo los destinos de las rutas a una serie de puertos con capacidad para absorber y luego distribuir en núcleos menores grandes volúmenes de carga. De forma que indirectamente se requiere un gran rendimiento de líneas y puertos menores que actúan como satélites de los puertos *hub*.

En el caso de Europa, debido a la fuerte tradición comercial desde la antigüedad, disponemos de un gran número de puertos y terminales de tamaño medio y pequeño, que se encuentran entre ellas mismas en fuerte competencia dentro de las áreas de influencia de puertos mayores. Por ello, se necesita en estas terminales de un alto nivel de servicio, lo que resulta difícil ya que las inversiones en infraestructura portuaria son elevadas y conlleva dificultades al gestionar tráfico menores y obtener menores ingresos que en grandes puertos.

En lo que concierne a la modernización y optimización de terminales, nos encontramos en un punto en el que la automatización de operaciones y procesos se está convirtiendo en imperativo, no tan sólo en lo que medios mecánicos conlleva, si no a la gestión de la comunicación y el análisis de datos operativos.

El objeto de este estudio es determinar una alternativa óptima para la automatización de una terminal de tamaño medio, localizado en un puerto *feeder*, de forma que se evalúe tanto el apartado de diseño operacional como la viabilidad y modelo económico para su explotación.



Figura 2. Top 30 Puertos de contenedores del mundo en 2014 por TEUs

Fuente: Alphaliner

II. Antecedentes

II.1. Transporte marítimo

Desde la antigüedad, el comercio ha sido una de las actividades principales del ser humano, siendo una fuente significativa de crecimiento, riqueza e intercambio cultural. Europa dispone de una fuerte tradición del comercio marítimo desde la actividad del comercio en el mediterráneo desde la época clásica, la actividad del mar del norte o la colonización de América y resto del mundo, motivada principalmente por la búsqueda de nuevas rutas comerciales.

Sin embargo, el comercio marítimo internacional ha sufrido una fuerte revolución y crecimiento desde la época de 1950 debido al contenedor. Este objeto ha permitido que se pudiese establecer una estandarización del comercio, de forma que se puede transportar mayores cantidades de mercancías de una forma más simple, rápida y segura. Todo ello se une a los efectos de la globalización, de forma que el comercio marítimo internacional ha sufrido un crecimiento sin igual en los últimos 30 años.

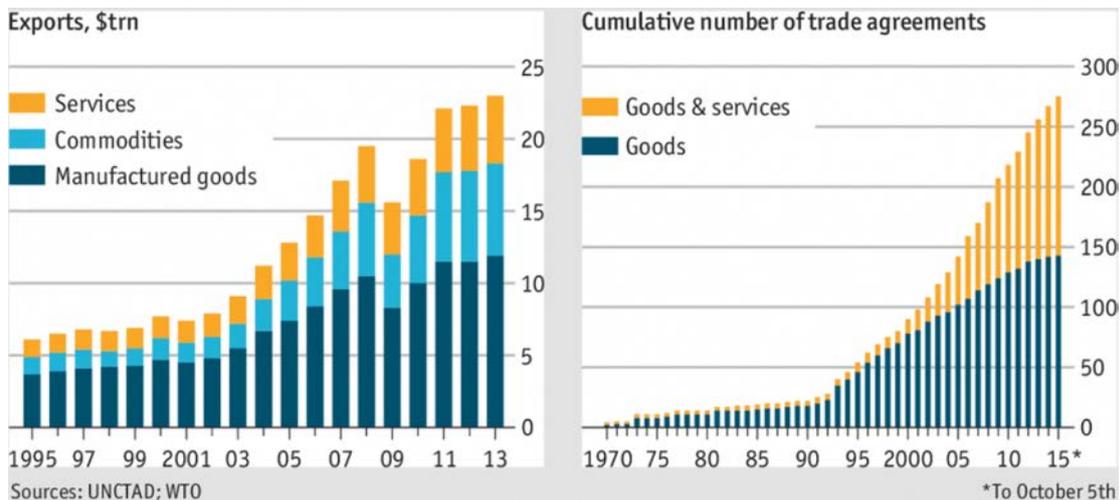


Gráfico 1. Exportaciones y acuerdos comerciales

Fuente: The Economist

Fuente de datos: UNCTAD; WTO

Cabe destacar la fuerte actividad que se produce en relación con el sudeste asiático, de forma que las navieras han optado por la construcción de buques portacontenedores que en la actualidad superan los 20000 TEUs de capacidad, con el fin de maximizar la capacidad de carga, y concentrar las rutas entre puertos con gran capacidad y posteriormente redistribuir las cargas a otros puertos de carácter regional con otros servicios regulares menores.

Esta concentración de servicios y rutas ha llevado a la optimización del coste de los fletes, reduciéndose los costes del tráfico puerto a puerto significativamente. Por el contrario, los costes de manipulación y operación en las terminales no han sufrido este descenso, si no en muchos casos la situación opuesta. En consecuencia, existe una fuerte presión por parte de las navieras para que las empresas estibadoras reduzcan y optimicen sus costes de explotación, destacando la fuerte competencia en especial entre puertos *hub* en Europa y además la situación cada vez más frecuente de que empresas navieras sean también propietarias de terminales.

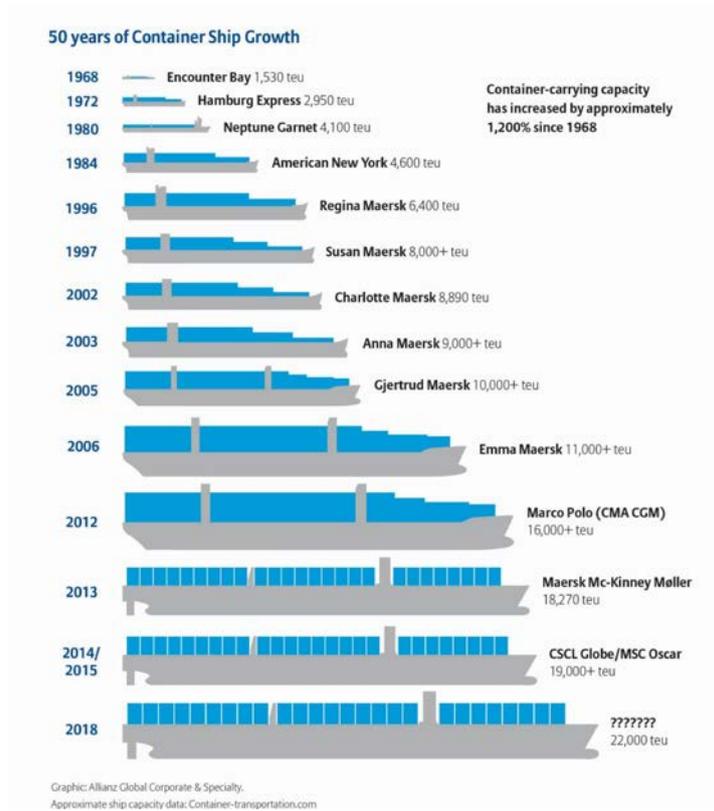


Figura 3. Evolución de los buques de contenedores.

Fuente: World Maritime News

En lo referente a la mejora en el rendimiento operativo de terminales y a la reducción de sus costes asociados, cabe destacar por un lado que las terminales se han tenido que ir adaptando al crecimiento de los buques, ampliando las capacidades y los medios mecánicos, así como ir introduciendo innovaciones relacionadas con la digitalización y automatización de procesos, similares a las mejoras que se han introducido en sectores de producción como es la automoción. Se debe destacar que la inversión en infraestructura y maquinaria de una terminal es elevada, con períodos de entre 15 y 25 años, y que, en la mayoría de casos de terminales concesionadas por entidades públicas, el período de concesión varía entre 25 y 50 años.

A pesar de las fuertes inversiones que conlleva, la automatización se postula como una alternativa adecuada para mejorar la productividad y reducir los costes operacionales del servicio, el crecimiento de este tipo de terminales se ha incrementado en los últimos años.

II.2. Terminales portuarias de contenedores.

Una terminal portuaria es un intercambiador modal que suele disponer de un área de almacenamiento en tierra para coordinar los diferentes ritmos de llegadas de los modos de transporte terrestre y marítimo (Monfort *et al*, 2001). Se trata de un elemento crítico en la cadena de suministro que debe garantizar la transferencia de las mercancías de un medio de transporte al otro, en las mejores condiciones de rapidez, seguridad y eficiencia económica y ambiental.

Por lo general, se trata de una superficie anexa a una línea de atraque marítima, con usos delimitados, y dónde confluyen líneas de otros sistemas de transporte, normalmente el transporte por carretera y ferrocarril.

La introducción del contenedor ha influido significativamente, dando como resultado una tipología específica de terminales, debido a que el contenedor ha permitido una estandarización respecto a la mercancía en sí que se transporta en una terminal y los medios con los que se manipulan estas mercancías (el contenedor). Ello ha producido un gran incremento en los intercambios que se producen en una terminal, además, ha propiciado que se pueden introducir tecnologías y procesos que se realizaban en otras industrias, y a la propia innovación en sí en el sistema portuario y de la cadena de suministro.

Según Monfort (2001), una terminal portuaria es un sistema integrado, con conexión física y de información con las redes de transporte terrestres y marítimas. Para su análisis se considera que está compuesto por cuatro subsistemas:

- El subsistema de **carga y descarga de buques** es el encargado de la carga y descarga de buques para lo que cuenta con una línea de atraque como infraestructura específica, con medio de manipulación y equipamientos adaptados a la mercancía a manipular ya los buques que se van a operar. En una terminal de contenedores el equipamiento principal para las operaciones de carga y descarga son las grúas STS.

- El subsistema de **almacenamiento** de contenedores es el que ocupa la mayor parte de la superficie de la terminal y su función es la de depósito temporal de los contenedores, se tiene que adaptar tanto al ritmo de descarga de contenedores de buque, como a la introducción de contenedores para exportar a buques, como al tiempo medio de estancia de los contenedores en terminal. En consecuencia, la disposición de este subsistema y su extensión dependen tanto del volumen de tráfico como del equipamiento principal que se emplee. De la combinación de estos factores resulta una configuración de patio, es decir, la altura y anchura de las pilas de contenedores, la separación entre las mismas, las dimensiones de los viales y pasillos internos, por lo que son uno de los factores principales que determinan los rendimientos operacionales de la terminal.

- El subsistema de **recepción y entrega** es el encargado de la transferencia de contenedores entre los medios de transporte terrestre externos y la terminal. En una TPC hay que distinguir la operación de acceso a la terminal de la propia actividad de

recepción y entrega, que se realiza en las pilas o en las áreas definidas para ello. Los accesos a la terminal se caracterizan por el funcionamiento de las puertas terrestres, es decir el número de las mismas, horario, el sistema informático e incidencias que se producen debido a la cantidad de información que se debe procesar, y al propio ritmo de la operación de carga y descarga de los contenedores en las pilas de la terminal. Referido a este aspecto último, la recepción y entrega de contenedores depende de los equipos asignados a esa operación en cuanto al tipo y número de los mismos, y del modo de gestionar el volumen de trabajo y la información que lleva asociada.

- El subsistema de **interconexión** o transporte horizontal en una TPC se encarga del transporte horizontal de los contenedores entre las diferentes zonas de la terminal (muelle, diferentes áreas del patio, etc.), conectando el resto de subsistemas, lo que engloba tanto el equipamiento elegido como las herramientas de transmisión de la información necesaria.

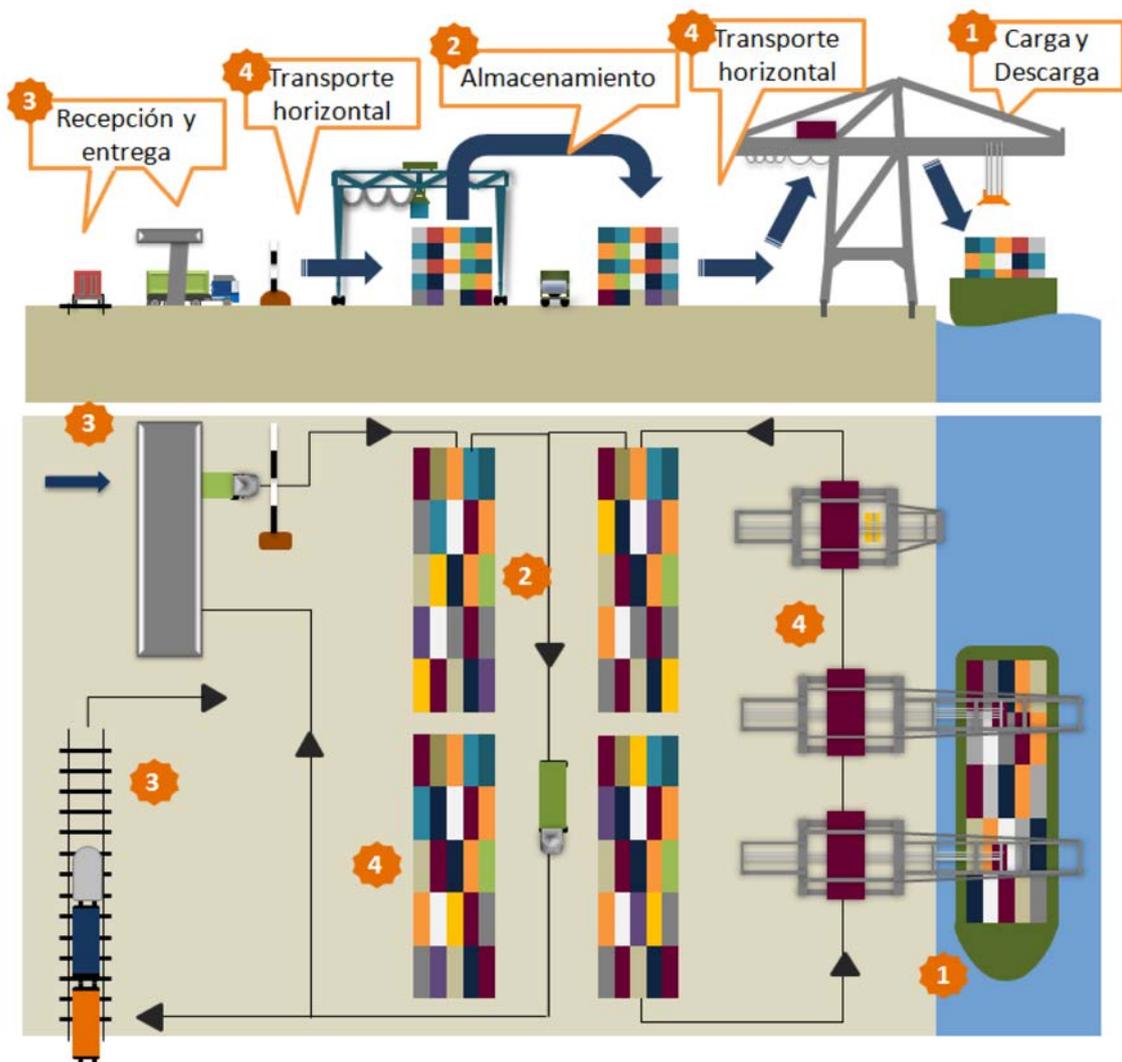


Figura 4. Subsistemas de una TPC

Fuente: Valenciaport

II.3. Automatización de terminales portuarias de contenedores

Las terminales automatizadas de contenedores están prosperando debido a la necesidad por parte de las operadoras de reducir los costes y a la vez tener un mayor control, información y calidad en las operaciones.

Desde principios de los años 90 se han establecido más de 30 terminales automatizadas en el mundo. Terminales repartidas por todo el globo tienen instalados diversos automatismos en la manipulación y/o transporte de los contenedores. Entre los principales sistemas establecidos podemos citar:

- Sistemas de control de gestión centralizados
- Sistemas de control de puertas e identificación automática de matrículas de camión y contenedores.
- Sistemas de control de las labores de apilado de los contenedores.
- Sistemas de control y coordinación de los transportes de interconexión de los contenedores en la terminal.
- Sistema de control y descarga de contenedores de barco a muelle, en la mayoría de casos con asistencia humana (semiautomatizados).
- Sistema de carga y descarga de contenedores en vehículos de recepción de entrega.

En España se tiene una sólida base de experiencia debido a las actuaciones en las terminales TTI Algeciras y BEST Barcelona.



Figura 5. Terminales automatizadas en el mundo hasta 2014.

Fuente: Cargotec

II.3.1. Delta Terminal Rotterdam

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



Figura 6. Vista aérea ECT Rotterdam.

Fuente: ect.nl

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

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

II.3.2. Container Terminal Altenwerder



Figura 7. Vista aérea de la terminal.

Fuente: tu-clausthal.de

El puerto de Hamburgo es el 3er puerto más grande de Europa y principal puerto de Alemania, ocupa el puesto 17 en el ranking de puertos mundiales por transporte de contenedores por año, 8.907 miles de TEUs/año (Drewry, 2016).

La terminal Container Terminal Altenwerder, propiedad de Hamburger Hafen und Logistik AG (HHLA) y Hapag Lloyd, está operativa desde 2002 y se trata de una de las terminales más eficientes del mundo. La terminal tiene una superficie de 983.500 m² y una capacidad para operar 3 millones de TEU al año. Dispone de un calado de 16'7

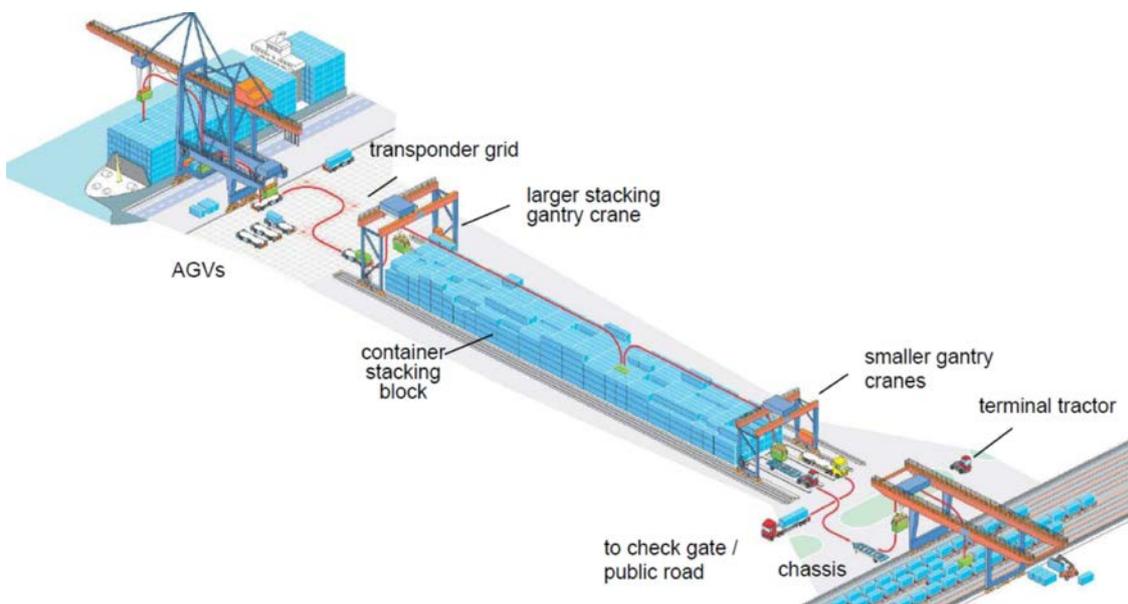


Figura 8. Esquema de funcionamiento HHLA

Fuente: HHLA

metros y una línea de muelle de 1'4 km, que se sitúa a 7'5 m sobre el nivel del mar. La terminal cuenta con 15 grúas STS y 86 AGV mueven los contenedores por el patio, en que se han emplazado más de 19.000 transpondedores fijados en el suelo para poder establecer la situación de las plataformas. El patio de contenedores consta de 26 bloques de almacenamiento, cada uno de ellos atendido por dos grúas RMG, de forma que cada uno de ellos se especializa en una operación marítima (embarque y desembarque) y el otro en la terrestre (recepción y entrega).

II.3.3. Pasir Panjang Terminal 1 Singapur

La terminal 1 de Pasir Panjang forma parte de un proyecto de la Autoridad Portuaria de Singapur (PSA) planificado en 1993 y puesto en marcha en 1998. El proyecto constaba de 4 fases y una inversión de 7 billones de \$. El conjunto de terminales está previsto que se finalice a finales de 2017, podrá manejar hasta 50 millones de TEU, dispondrá de 6 km de línea de atraque con un calado de 18 metros y una superficie de 500 ha.



Figura 9. Vista de aérea de Pasis Panjang Terminal.

Fuente: singaporepsa.com

La terminal 1 de Pasir Panjang tiene la característica única en el mundo de estar operadas por Overhead Bridge Cranes (OHBCs), se trata de grúas puente similares a la utilizadas en fábricas interiores pero adaptadas al tamaño y peso de los contenedores. Esta tipología tiene el inconveniente de que es una obra rígida y requiere una fuerte inversión. Además, pese a dar una gran facilidad para la automatización, la alta densidad de apilado requiere hacer gran número de remociones, por lo que se reduce el rendimiento que se podría obtener.

La terminal 1 dispone de 18 grúas STS Super Post Panamax y 6 Panamax en una línea de atraque de 2174 metros en los que se puede operar hasta 6 buques simultáneamente, el sistema OHBC opera en un patio de 88 ha de longitud.

Cabe destacar que este sistema requiere una muy alta inversión por lo que se trata de la única terminal con esta tipología, de hecho, las fases posteriores de ampliación del puerto de Singapur se realizaron con tipologías de RMGs automatizadas.

II.3.4. TTI Algeciras

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



Figura 10. Vista aérea TTI Algeciras

. Fuente: theloadstar.co.uk

contenedores, con 4.760.000 TEU en 2016 (Drewry).

Con el fin de garantizar la infraestructura portuaria necesaria para atender el crecimiento y la diversificación de sus tráficos, la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras apostó por el desarrollo de sus instalaciones, fomentando la instalación de una terminal automatizada en sus instalaciones. Se realizó una gran apuesta con la instalación en Isla Verde Exterior de una terminal semiautomática, pionera de contenedores en el Mediterráneo. Total Terminal International Algeciras S.A.U. es la empresa impulsada por la compañía surcoreana Hanjin Shipping (que entró en quiebra en 2016) para la construcción y explotación de la segunda terminal de contenedores del Puerto Bahía de Algeciras, en la actualidad es propiedad de la empresa Hyundai Merchant Marine, teniendo un tráfico anual en torno al millón de TEU.

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

II.3.5. Best Barcelona

BEST, emplazada en el Puerto de Barcelona es la primera terminal semiautomática de Hutchinson Ports Holding dentro de su red de 52 puertos en 26 países. Actualmente BEST dispone de 11 grúas de muelle Super Post-Panamax, 42 grúas automatizadas (ASC) y 26 Shuttle Carriers, operando a lo largo de 1.500 metros de muelle con un calado de 16.5 metros de profundidad. El objetivo del proyecto final de la terminal son disponer de 1500 metros de línea de atraque, 100 ha de patio y 18 grúas STS que permitan operar varios *mother vessels* simultáneamente.

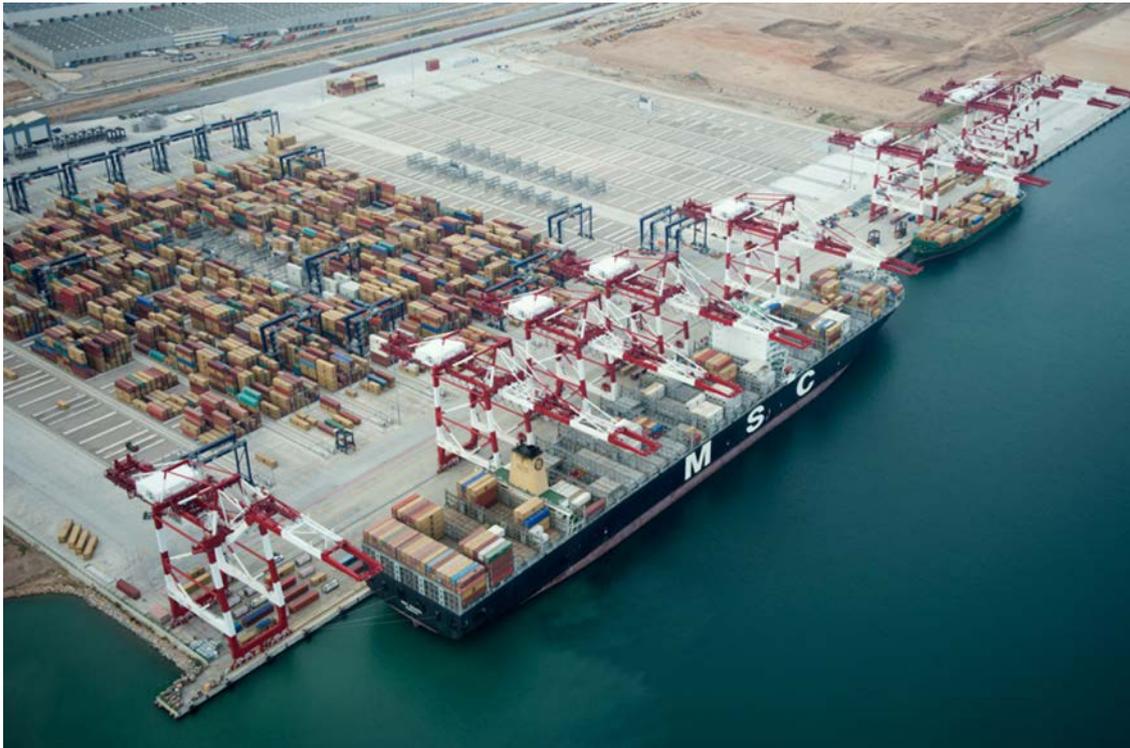


Figura 11. Vista aérea terminal BEST.

Fuente: Port de Barcelona

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

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

II.3.6. Maasvlakte II Rotterdam

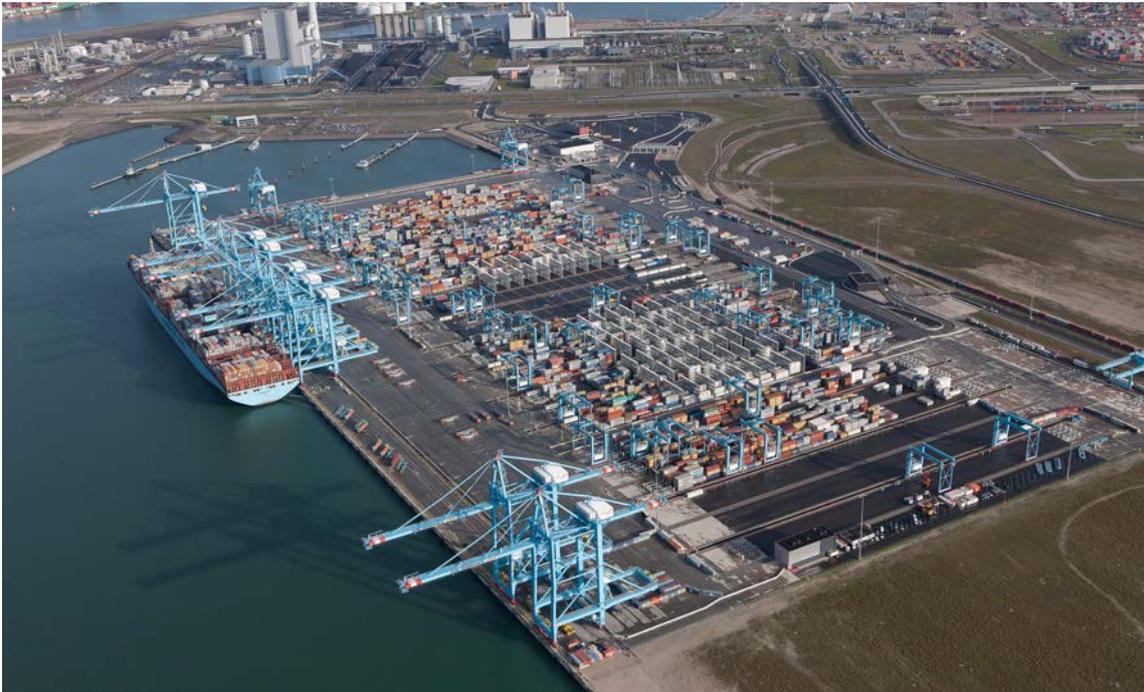


Figura 12. Vista aérea de la fase A de la terminal.

Fuente: APM Terminals

El puerto de Rotterdam se trata de uno de los mayores y más influyentes puertos de Europa, la terminal Maasvlakte II del grupo APM Terminals es un gran ejemplo. Se trata de una de las terminales más recientes, avanzadas y sostenibles del planeta. El puerto de Rotterdam ha impulsado el objetivo de liderar la innovación y la sostenibilidad en el sector portuario en Europa.



Figura 13. Vista de la superficie de la terminal y plano del proyecto final.

Fuente: Port of Rotterdam

El proyecto inauguró la fase A de la terminal en 2015 tras más de 3 años de construcción. Es la primera terminal con 0 emisiones de CO₂ y se alimenta de electricidad de centrales eólicas.

Se trata de la primera terminal en el mundo en utilizar un sistema de control remoto para la manipulación de grúas STS. El sistema de interconexión entre patio y muelle se

realiza por medio de 62 AGV con tecnología elevadora, de forma que se puede realizar el *decoupling* de las operaciones por medio de unas estructuras con forma de caballetes en el patio, denominados *cassettes*. Los contenedores se almacenan en las pilas por medio de 54 RMGs automatizados, que además depositan sobre los camiones en la zona de recepción y entrega, una vez el chófer del camión ha confirmado las medidas de seguridad de la terminal accionando un botón en una zona segura. Además, la terminal cuenta con 3 grúas para la carga y descarga de barcazas fluviales, y dos grúas puente para abastecer al sistema ferroviario de la terminal, que dispone de 4 vías.

La fase A dispone de una superficie de 86 ha, con una línea de muelle de 1000 metros y una capacidad anual de 2'7 millones de TEU, ha supuesto una inversión de 500 millones de €. Una vez completada, el recinto dispondrá de 180 ha, 2'800 metros de línea de muelle con un calado de 19'65 metros, con una capacidad anual de 4'5 millones de TEU.

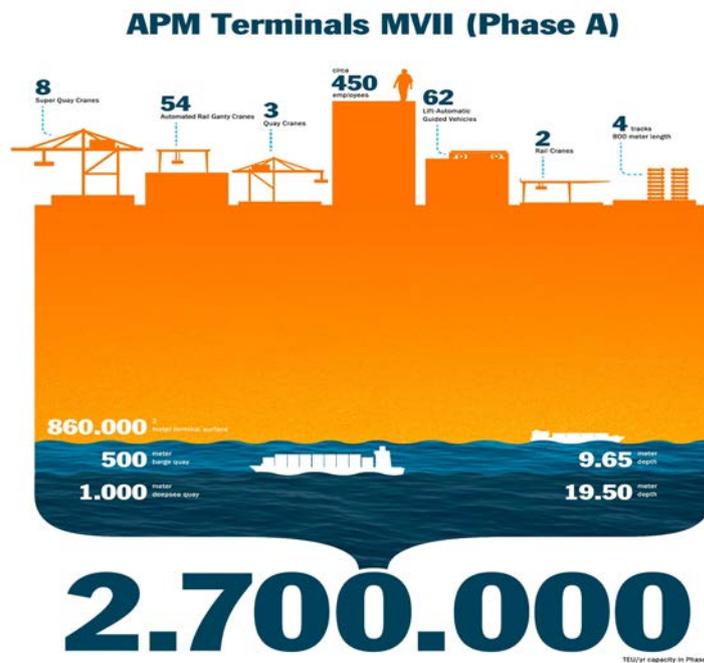


Figura 14. Características de la fase A de la terminal. Fuente: APM Terminals

III. Análisis operativo de terminales de contenedores

III.1. Funciones de una TPC

La función básica de una TPC es ser un elemento de transferencia de contenedores entre medio de transporte marítimo y terrestre, de forma que se pueda realizar con eficiencia y seguridad. La terminal sirve como un elemento almacenamiento de los contenedores mientras se espera las esperas en el cambio de medio de transporte. También sirve como plataforma de transferencia de carga entre barcos de mayor capacidad y que realizan rutas generalmente internacionales y transoceánicas, denominados *mother vessels*, y buques de menor capacidad que realizan servicios locales, llamados *feeder*, por lo que sirve como plataforma de transbordo. Función pues, como un nodo de comunicación entre distintos tipos de tráfico marítimo y también entre distintos medios de transporte.

Además, las terminales pueden tener funciones alternativas, como pueden ser:

- Almacenamiento de contenedores vacíos, si bien es económicamente más caro que un almacén externo al recinto portuario.
- Plataforma para la consolidación de cargas.
- Taller de reparación de contenedores, aunque es poco usual en la actualidad debido a los costes del suelo en los recintos portuarios en comparación con recintos externos.
- Almacén de depósito temporal ADT, según la última reglamentación del Código Aduanero de la Unión Europea las terminales deben cumplir los requisitos para ser almacén de depósito temporal y mantener en condiciones adecuadas mercancías sin el despacho aduanero y servir como en ciertos casos como almacén para inspección de mercancías.

III.2. Operaciones en TPC

Tal y como se ha citado con anterioridad, las operaciones que se llevan a cabo en una terminal se pueden organizar de diversas formas, como podría ser según los procesos (de muelle, terminal y operaciones de transporte terrestre). En este estudio se tomará como base la teoría basada en Arturo Monfort *et al* (2001), por la que entenderemos la terminal como un sistema divisible en 4 subsistemas:

- El subsistema de carga y descarga de buques.
- El subsistema de almacenamiento de contenedores.
- El subsistema de recepción y entrega de contenedores para transporte terrestre.

- El subsistema de interconexión o transporte horizontal de la terminal.

III.3. Diseño operativo de la terminal

Para el adecuado diseño de una terminal es conveniente establecer una serie de objetivos operacionales y estratégicos en función del rendimiento y capacidad que se desea para esta. Si bien debido a la heterogeneidad de las TPC resulta a veces arduo el determinar una serie de indicadores operativos y financieros para establecer conclusiones con unicidad, agravado con la amplitud de los grupos de interés que interviene en la cadena logística. Podemos establecer la serie de indicadores (Monfort, 2008):

- Rendimiento o ejecución
- Eficiencia
- Capacidad
- Nivel de servicio

III.3.1. Rendimiento operacional

A la hora de analizar una terminal, podemos tratarla como un centro de producción (De Monie 1998). Siguiendo el Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores (Monfort, 2008), podemos establecer una serie de categoría operaciones para medir el rendimiento operacional de las TPC:

- **Output**

El output expresa la cantidad de carga que una terminal manipula en un determinado período de tiempo, sin especificar el número de medios de manipulación utilizados. Las unidades en las que se miden suelen ser t/año o en el caso de TPC en TEU/año.

Indicador	Regla de cálculo	Unidad de medida	Subsistema	Perspectiva
Número de escalas	Número total de buques que han escalado en la terminal durante el periodo de referencia	escala	Carga/Descarga	Clientes
Tráfico de contenedores	Número total de contenedores que atraviesan la terminal durante el periodo de referencia; independientemente del número de movimientos que éstos sufran dentro de la terminal	contenedor	Carga/Descarga	Financiera
Tráfico de contenedores	Número total de contenedores que atraviesan la terminal durante el periodo de referencia, expresados en Twenty-foot Equivalent Units, durante el periodo de referencia; independientemente del número de movimientos que éstos sufran dentro de la terminal	TEU	Carga/Descarga	Financiera
Tráfico de unidades no containerizadas	Número total de unidades no containerizadas que atraviesan la terminal durante el periodo de referencia; independientemente del número de movimientos que estos sufran dentro de la terminal	unidad	Carga/Descarga	Financiera
Intercambio modal con ferrocarril	Número total de contenedores cargados y descargados en ferrocarril durante el periodo de referencia	contenedor	Recepc./Entrega	Financiera
Intercambio modal con ferrocarril	Número total de contenedores cargados y descargados en ferrocarril, expresados en Twenty-foot Equivalent Units, durante el periodo de referencia	TEU	Recepc./Entrega	Financiera
Intercambio modal con carretera	Número total de contenedores cargados y descargados en camión durante el periodo de referencia	contenedor	Recepc./Entrega	Financiera
Intercambio modal con carretera	Número total de contenedores cargados y descargados en camión, expresados en Twenty-foot Equivalent Units, durante el periodo de referencia	TEU	Recepc./Entrega	Financiera
Volumen de tráfico de contenedores en puerta	Número total de contenedores de tráfico cargados y descargados registrados en la puerta de acceso terrestre durante el periodo de referencia	contenedor	Recepc./Entrega	Clientes

Tabla 1. Indicadores de output de tráfico.

Fuente: Elaboración propia a partir de Valenciaport

Cabe destacar que estos son parámetros básicos a la hora de medir la capacidad de una terminal. Sin embargo, son parámetros que dejan como intangibles una serie de procesos que son significativos para observar el rendimiento operacional de la terminal, como pueden ser los procesos de *housekeeping* en el patio, los movimientos o remociones que se realizan dentro de los propios buques por parte de las grúas del muelle. En consecuencia, el número de movimientos es un parámetro de gran valor para medir el rendimiento en terminales. Cuando se pretende medir el rendimiento en términos financieros se suelen determinar en unidades de: €/t, €/TEU, €/movimiento.

- **Productividad**

Mide el desempeño productivo del sistema, se muestra la cantidad de carga manipulada por unidad de tiempo y unidad de recurso de maquinaria que es utilizada.

Indicador	Regla de cálculo	Unidad de medida	Subsistema	P. Vista
Productividad del área de la terminal	Tráfico de contenedores de la terminal (en TEUs o en contenedores, según corresponda) durante el periodo de referencia dividido por el área de la terminal	TEU/m ² cont/m ²	Todos	Procesos
Productividad del muelle	Movimientos de carga y descarga de contenedores totales que han tenido lugar en la terminal durante el periodo de referencia divididos por la longitud de muelle	mov/m	Carga/Descarga	Procesos
Productividad bruta de buque o productividad de escala	Movimientos de carga y descarga de contenedores totales que han tenido lugar en la terminal durante la escala del buque divididos por el tiempo comprendido entre la entrada del buque en aguas portuarias y su salida de las mismas	mov/(h-buque)	Carga/Descarga	Procesos
Productividad bruta del equipo	Movimientos de contenedores que ha realizado cada equipo de la terminal durante los turnos contratados para su manipulación dividido entre la duración total de dichos turnos	mov/(h-equipo)	Todos	Procesos
Productividad bruta por jornada contratada	Movimientos de contenedores que ha realizado cada estibador durante los turnos contratados para la manipulación dividido entre el tiempo que duran dichos turnos	mov/jornada	Todos	Procesos
Productividad media bruta de jornada de estibador efectiva	Movimientos de contenedores totales que se han realizado durante los turnos contratados durante el periodo de referencia divididos entre el tiempo de dicho periodo de referencia y el número de turnos en los que finalmente se ha trabajado (no los contratados) multiplicado por el número medio estibadores de la ESPECIALIDAD X en dichos turnos	mov/jornada	Todos	Procesos

Tabla 2. Indicadores de productividad

Fuente: Elaboración propia a partir de Valenciaport

- **Uso**

Mide el grado de utilización de los recursos de que dispone la terminal, a la porción de tiempo que es un utilizado un recurso frente al tiempo total que está disponible. Es muy significativo a la hora de calcular por ejemplo el uso de la línea de atraque o el rendimiento que se le da a maquinaria dentro de los ciclos de carga, para medir el grado de aprovechamiento de un recurso que usualmente implica un coste alto de adquisición y de amortización.

III.3.2. Eficiencia

Podemos determinar la eficiencia la relación entre los recursos entrantes o inputs en un sistema productivo y los que produce salientes u outputs. En referencia a estos inputs y

outputs, en el caso de terminales se deben considerar un gran número de ellos, además la heterogeneidad de las terminales ha producido que no se suelen comparar datos entre diferentes terminales, si no que se suele comparar datos de distintos períodos de tiempo de la misma terminal de estudio en sí.

III.3.3. Capacidad

La capacidad de una TPC se puede definir como el máximo tráfico que puede gestionar la terminal en un determinado escenario (Monfort, 2011). Para determinar los escenarios en los que puede encontrarse una terminal funcionando, podemos determinar una serie de condicionantes, que serán relativos a la rentabilización de las infraestructuras e instalaciones, a los determinados por la capacidad de saturación de las instalaciones y los referidos al mínimo nivel de servicio aceptado por los clientes, entendido como el máximo tráfico que puede soportar una terminal sin que los clientes aprecien una disminución en la calidad de las operaciones.

En lo que respecta a nuestros planes de estudio de la terminal, el objetivo es obtener la mayor capacidad posible a la terminal en términos de contenedores manipulados al año en TEU/año. En referencia a la capacidad de la terminal, se debe abordar de cada sistema de la terminal, determinar en función de los condicionantes significativos de la terminal cuál es la capacidad máxima crítica de cada subsistema y con ella determinar cuál es la capacidad de operación que se puede llegar a disponer de forma que se dé el mayor rendimiento posible a los recursos disponibles.

Para ello se debe analizar las diversas operaciones dentro de los subsistemas como son la carga-descarga, interconexión, almacenamiento y transferencia al transporte terrestre. Cabe señalar que se ha considerado como el criterio principal en la explotación de terminales intentar maximizar la producción de las grúas de muelle, al ser el recurso más caro de la terminal, de forma que a partir de la capacidad de carga y descarga de buques se intenta equipar a las terminales con los medios posibles para cubrir las necesidades de este subsistema para que funcione a máxima capacidad.

En los cálculos posteriores trataremos de determinar las capacidades máximas de cada operación dentro de los subsistemas y determinar cuál es la operación limitante de la terminal o cuello de botella (CdB), siempre tratando que este CdB se encuentre en la carga y descarga del muelle. Para ello determinaremos los siguientes criterios de capacidad:

- Capacidad anual de la línea de atraque: La máxima cantidad de TEU que puede manipular la línea de atraque, en función de su longitud, barco que se van a operar, número y tipo de grúas de muelle.
- Capacidad anual de almacenamiento: Máxima capacidad de TEU que puede soportar el subsistema en función de la superficie, equipos de patio y sus respectivas condiciones de operación y almacenamiento.
- Capacidad anual de recepción y entrega terrestre: Máxima capacidad anual de TEU que puede transferirse a los equipos terrestre externos en la terminal en función de los equipos de patio.

Además, se realizará otros cálculos de capacidad que se tomarán secundarios, como puede ser el de equipos de interconexión o la capacidad de acceso por puertas, que se consideran secundarios al poder incrementarse el número de equipos o unidades de forma más simple y sin que las condiciones físicas de la terminal limiten de forma crítica.

Cabe destacar el concepto de unidad TEU, *twenty feet equivalent unit*, que es una unidad para homogeneizar el transporte de contenedores debido a los dos principales largos que tienen (contenedores de 20 pies y de 40 pies, si bien también es usual el uso de 45 pies). Para el uso de esta unidad se utiliza un factor de conversión (p.e. 1'5 implica que la proporción entre 20' y 40' es 1:1) ayuda a contabilizar de forma más precisa que la unidad de contenedor, ya que en muchos aspectos un contenedor de 20' no se trata como uno de 40' (por ejemplo: en almacenamiento, manipulación a doble *twin*).

III.3.4. Nivel de Servicio

El Nivel de Servicio aporta un valor de la calidad de las operaciones del servicio en referencia a clientes y usuarios. En primer lugar, se considera como clientes a las navieras, los transportistas terrestres y los operadores logísticos.

El cliente más determinante, que condiciona tanto la terminal como el sistema de la cadena logística son las líneas navieras, los buques. En referencia al coste en terminal, las líneas navieras miden generalmente 2 valores, el coste del atraque o estancia en terminal, y el tiempo de la estancia, ya que se considera una mayor estancia de los buques en puerto, menor productividad y rentabilidad de la inversión que es el buque en sí.

Para establecer un indicador adecuado del nivel de servicio en función de la duración de la estancia en terminal con frecuencia es usado por las líneas navieras la relación entre la cantidad de carga y el tiempo del atraque (Monfort, 2011):

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

Donde:

T_p : Tiempo de la estancia en el puerto.

Q : Cantidad de carga manipulada en la estancia.

Si establecemos que T_p está compuesto por la suma de dos componentes:

T_w : Tiempo de espera, el tiempo que debe esperar un buque fuera de puerto hasta que se le permite el atraque.

T_s : Tiempo del servicio, el tiempo desde que está atracado hasta que comienza a maniobrar para la salida del muelle.

De forma:

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

Así, se puede establecer como el nivel de servicio el valor que expresa el ratio relativo a tiempo de espera ε :

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

También se puede determinar como la productividad del atraque P como:

$$P = \frac{Q}{T_s}$$

Finalmente, la fórmula principal:

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

Para los medios de transporte terrestre se puede usar fórmulas similares, sin embargo, cabe mencionar que hay un mayor número de operaciones de menor tiempo.

También se podría establecer otros indicadores adecuados para determinar el nivel de servicio, como puede ser el tiempo de estancia de un contenedor en terminal, aunque en la mayoría de casos el tiempo de estancia no es debido al servicio que provee la terminal en sí, si no a factores externos.

En lo que respecta a los estudios posteriores, se considera que la terminal siempre tiene que operar en niveles aceptables, según los criterios y estudios contenidos en la publicación Manual de Capacidad Portuaria: Terminales de contenedores (Monfort *et al*, 2011).

IV. Sistemas de manipulación en terminales de contenedores

Con anterioridad en este estudio se ha desarrollado la concepción de la terminal como un elemento formado por 4 subsistemas: Carga y descarga de buques, almacenamiento, interconexión o transporte horizontal y recepción y entrega.

En este apartado enumeraremos los distintos sistemas de manipulación que se pueden utilizar en el entorno de la terminal, sus características técnicas y posibilidades de automatización.

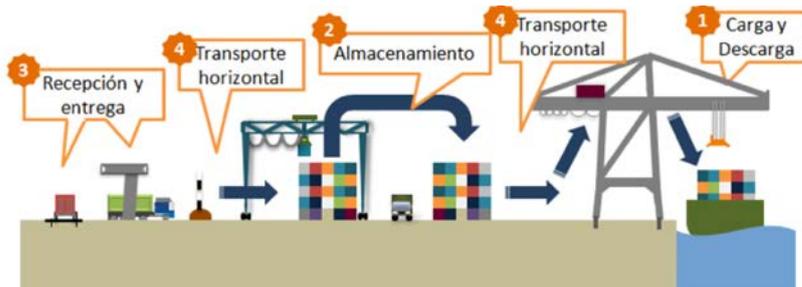


Figura 15. Esquema de subsistemas.

Fuente: Valenciaport

IV.1. Subsistema de carga y descarga de buques

El elemento que permite la carga/descarga de contenedores son las grúas de muelle, la aparición del contenedor produjo que se implantase una especialización en las grúas con respecto a las grúas convencionales utilizadas con anterioridad, de forma que pese a que las grúas convencionales se siguen utilizando en muchas terminales polivalentes, las mejoras específicas que conllevan las grúas fabricadas para contenedores STS, conllevan una ventaja significativa para terminales de contenedores, debido a sus rendimientos, precisión y seguridad en las maniobras.

Como se ha comentado anteriormente, uno de los principales indicadores del rendimiento es la capacidad de la línea de atraque y los tiempos de duración de la operación de carga/descarga del buque, para los que resulta esencial tanto el número de grúas disponibles como los rendimientos operativos de estas. Por ello, este subsistema suele ser crítico para TPC con una densidad de tráfico alta, ya que es el principal cuello de botella que determina la productividad de la terminal.



Figura 16. Spreader Tandem.

Fuente: Bromma

- **Spreader**

El *spreader* es el principal mecanismo que ha hecho posible la mejora en la tecnología de grúas de contenedores.

Es el mecanismo que conecta la grúa con el contenedor, agarra el contenedor por sus cuatros esquinas, introduciendo el sistema de *twist-locks* que bloquea y sujeta el contenedor de forma que se

pueda manipular. Esta tecnología no solo se ha aplicado a las grúas de muelle, sino que es un cabezal que se puede adaptar a grúas convencionales y a la mayoría de equipo de almacenamiento de la terminal.

La tecnología e innovación en los *twist-locks* ha provocado mejoras como puede ser la expansión para coger tanto contenedores de 20' como de 40', los sistemas de tándem y de *twin-lift* que permite manipular varios contenedores en una sola operación o la instalación de sensores en la estructura y los *twist-locks* para poder controlar las maniobras digitalmente, con la consecuente opción de recolección de datos y posibilidades de automatización del sistema.

IV.1.1. Grúas *Ship to Shore* (STS)

Las grúas STS son las más utilizadas para la carga y descarga de buques portacontenedores. Desde el primer diseño en 1958 por la empresa Paccco supusieron una revolución en la manipulación de mercancía, permitiendo que la operativa de descarga se realizase en un solo plano perpendicular, con mayor precisión, rapidez y seguridad.



Figura 17. Grúas STS en el puerto de Cape Town (RSA).

Fuente: Liebherr

Son grúas pórtico que se desplazan sobre raíles, con una pluma abatible por donde circula un carro para aproximarse en la prolongación vertical al contenedor que se desea cargar, una vez llega la posición el *spreader* desciende por medio de unos cables, hasta posicionarse sobre la tapa del contenedor y enganchar los *twist-locks*, que se accionan para cerrarse y bloquear el contenedor. Posteriormente se iza y el carrito se arrastra en prolongación horizontal hasta el punto donde se debe descender el contenedor para posicionarlo en una plataforma de interconexión de la terminal.

En la actualidad la tendencia es el crecimiento de las grúas, debido al gigantismo de los buques, por lo que es necesario disponer de plumas con mayor longitud y mayor altura para poder asistir a las nuevas dimensiones de los buques, ello también conlleva que se amplíen las distancia y se requiere de mayores velocidades de movimiento para mejorar el rendimiento.

Además de las mejoras operativas que se han llevado a cabo en los *spreaders* para la mejora operativa, se han realizado innovaciones en las grúas STS como los sistemas anti-balanceo *anti-sway*, la automatización de ciertas maniobras como puede ser el sistema *double-trolley* que permite automatizar parte de la maniobra, o el manejo de la grúa por control remoto de forma que se pueden aumentar las velocidades sin poner en peligro a los manipuladores.

Debido a su tamaño y complejidad, se trata de maquinaria de coste muy elevado (en torno 5-10 millones €) de forma que son una de las principales inversiones de la terminal y que además afecta de forma crítica al rendimiento.

- + Altas velocidad del ciclo, productividad y seguridad.
- + Espacio entre grúas reducido.
- Alto coste de inversión.
- Rigidez debido al movimiento sobre raíles.
- Requiere suelos con alta capacidad portante.

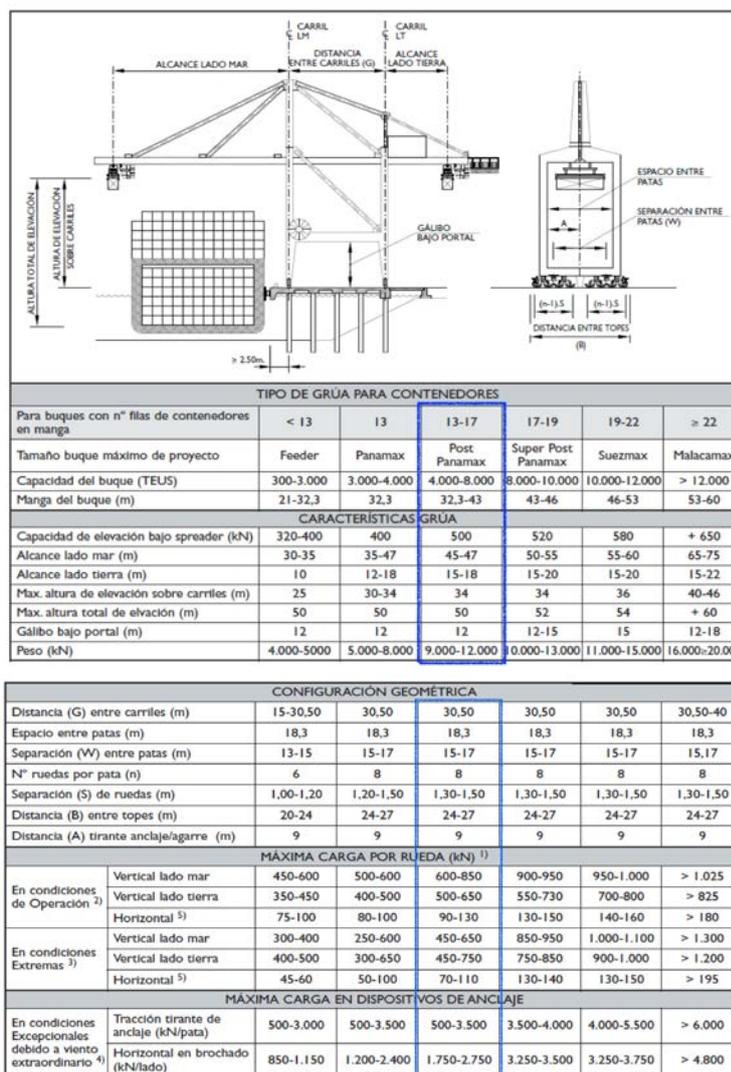


Figura 18. Características técnicas grúas STS-Portainer

Fuente:ROM 2.0-11

IV.1.2. Grúas móviles

Las grúas móviles en muelle sirven para la manipulación de todo tipo de mercancías, en la actualidad en cuanto a manipulación de contenedores se utilizan 2 métodos: el atado de los cuatro *twist-locks* superiores o mediante un cabezal de *spreader* (lo más utilizado y óptimo).



Figura 19. Grúa móvil Fuente: Konecranes

Estas grúas son ampliamente utilizadas en terminales de graneles, de mercancía general y en terminales multipropósito o polivalentes. Si bien se pueden instalar sobre raíles, lo usual es que se desplacen por medio de neumáticos, lo que provoca que tenga mayor movilidad. Por otra parte, la maniobra requiere la utilización de un plano horizontal al eje del buque y del muelle, por lo que necesita mayor espacio entre grúas para la operación.

Para la operación se debe considerar tanto el izado y el descenso de la mercancía, como el giro para posicionar el contenedor desde el muelle en el barco.

En consecuencia, el rendimiento máximo de estas grúas en una operativa de contenedores es de 38 ciclos/hora. Una opción a la hora de mejorar el rendimiento es que según el brazo de la grúa y la distancia a las pilas se podría en algunos casos evitar el transporte horizontal y de esta forma aumentar el rendimiento global de las operaciones.

En cuanto a las dimensiones, existe gran variedad de tamaños y características en el mercado, con mayor y menor capacidad de cargas y velocidades operativas. Hay que recalcar que estas grúas frente a las STS transmiten menores cargas al terreno.

- + Polivalencia y flexibilidad.
- + Menor inversión que grúas STS.
- + Posibilidad de evitar la maniobra horizontal.

- Menor rendimiento que STS.
- Zona de maniobra.

IV.1.3. Grúas de largo alcance (WSG)

Las grúas de largo alcance o *wide span gantry crane* (WSG) son una variante de las grúas STS, en las que las pilas de almacenamiento comienzan entre las piernas o pilares de la grúa. De esta forma se puede evitar el transporte horizontal, depositando los contenedores directamente en las pilas de almacenamiento.



Figura 20. *Wide span gantry crane*.

Fuente: Gottwald Port Technology.

Esta metodología se ha demostrado efectiva en puertos fluviales, donde se operan barcos *feeder* menores o barcazas y en donde las zonas de almacenamientos suelen tener dimensiones más reducidas. Debido al tamaño, el coste de adquisición es alto y las cargas transmitidas al terreno también son altas.

Para terminales de pequeñas dimensiones y que van a operar barcos pequeños se pueden obtener diseños compactos y óptimos al añadir a las pilas directamente abastecidas por las WSG pilas adicionales en dirección perpendicular al muelle, que se comuniquen con las primeras por medio de unidades de almacenamiento de patio.

- + Diseño compacto.
- + Posibilidad de salvar la maniobra horizontal.

- Rigidez.
- Complejidad de expansión.

IV.1.4. Grúas de buque

Las grúas de buque se tratan de grúas montadas sobre la cubierta del barco. Al no ser parte de los equipamientos de la terminal no los consideraremos para este estudio. Además en la actualidad no se suelen instalar en los buques portacontenedores de última generación, entre otros motivos porque reducen la capacidad de carga y almacenamiento del buque, además de que comprometen la estabilidad de los buques. En adición, las grúas realizan la carga y descarga de la misma forma que las grúas convencionales, por lo que requieren de un amplio radio de acción y tienen rendimientos inferiores a en comparación con las grúas STS de muelle.

Se siguen utilizando en terminales dónde no se dispone de la maquinaria adecuada para las operaciones de carga y descarga del buque.



Figura 21. Grúas de buque.

Fuente: Liebherr

IV.2. Subsistema de almacenamiento

El subsistema de almacenamiento es el encargado del depósito temporal de los contenedores en el patio de la terminal. Además, permite el intercambio modal dentro de una terminal, en el que intervienen medio con distinta periodicidad y capacidad de carga como son los buques, ferrocarriles y camiones.

El subsistema de almacenamiento es el que más superficie consume en una terminal de contenedores, por lo que se requiere el máximo aprovechamiento posible sin que los rendimientos operacionales sufran un descenso, por lo que se necesitan una gran densidad de almacenamiento y a su vez realizar los menores movimientos posibles en el menor tiempo posible, sin afectar a la integridad de los elementos ni a la seguridad.

Por otra parte, la configuración de la terminal está condicionado tanto del espacio disponible en la terminal como de los equipos de patio de los que se dispone para las operaciones, lo que condicionará la configuración en planta de las pilas y las alturas apilable posible, en consecuencia, condicionarán significativamente la capacidad de la terminal.

IV.2.1. Plataformas

Se trata de una plataforma donde se carga el contenedor, y que debe ser remolcada por una cabeza tractora hasta el área de almacenamiento, donde se deposita como en un aparcamiento de vehículos. Era una metodología utilizada desde los principios del contenedor para facilitar la intermodalidad con camiones.

Sin embargo, produce que se tenga una bajísima densidad de patio al poder solo cargar a 1 altura, por lo que requiere grandes dimensiones de superficie de almacenamiento. Además, en la actualidad las plataformas que se utilizan en la terminal no pueden circular fuera de éstas, por lo que su utilidad se ha visto reducida y se debe transportar el contenedor a una plataforma de camión para circular por fuera de la terminal.

IV.2.2. Carretillas

Las carretillas son un equipo con una gran variedad de modalidades y tecnologías, que les permite en mayor o menor grado el apilamiento de los contenedores en la terminal a diferentes alturas. Además, en muchos casos se puede utilizar también para la interconexión en la terminal, para recepción y entrega o para labores auxiliares.



Figura 22. Forklift.

Fuente: Kalmor

Se han desarrollado diferentes tipologías de carretillas con distintos mecanismos de carga de los contenedores, a partir de la tipología *fork-lift* que es la común que se conoce en ambientes industriales. Podemos citar algunas como: elevación con *spreader* superior, frontal con enganche lateral con *spreader*, con enganche frontal, con carga lateral o *side-loader* o la *reach stacker*.

Debido a la heterogeneidad de las carretillas, en función del tipo que se utilice se darán distintas tipologías de patio, ya que cada uno tiene una capacidad de carga, altura de apilamiento y capacidad de carga. En cualquier caso, las densidades de almacenamiento que se obtienen son bajas, por lo que se utilizan usualmente en terminales pequeñas o como equipamiento auxiliar y/o para funciones de almacenamiento auxiliar como es la manipulación de contenedores vacíos, al ser su consumo energético menor que otros equipos.

IV.2.3. Reach Stackers

La reach stacker se trata de una carretilla con un brazo telescópico inclinado con *spreader*, se trata de una mejora frente a las carretillas convencionales. Puede apilar a varias alturas y acceder a la segunda columna de apilado, siempre que la primera fila tenga una altura inferior y no sea la altura a ras de suelo. Además, se han comercializado modelos con la pluma telescópica curva que permite llegar hasta la tercera columna de apilado.

Se trata de una maquinaria polivalente, que dentro del equipo “ligero” de patio permite mayor rendimiento, pese a que las carretillas promedio permiten una altura de

apilado de 3 alturas con contenedores llenos y 4 con vacíos, habiendo modelos superiores que permiten llegar a mayores capacidades, por lo que por lo general la densidad de apilado sigue siendo baja, aunque superior a los equipos anteriores. También cabe destacar que pese a poder usarse como interconexión de patio, necesita espacios amplios para maniobrar, no puede circular a grandes velocidades y tiene algunos puntos ciegos que provocan cierto grado de peligrosidad.

En consecuencia, se utilizan como maquinaria de patio, transporte entre muelle y patio, y como recepción y entrega en terminales pequeñas. En terminales mayores se utilizan como equipamiento auxiliar. Su precio ronda los 500.000€ y su vida útil se encuentra en torno a los 8-10 años.



Figura 23. Reach Stacker.

Fuente: Intersagunto Terminales

Respecto a la automatización de equipos, su elevado número de grados de libertad producen que sean muy reducida sus posibilidades de automatización, en relación a las maniobras de movimiento y carga.

- + Flexibilidad.
- + Menor coste que otras grúas de patio.
- Complejidad para automatizar.
- Menor Rendimiento que otras grúas de patio.

IV.2.4. Straddle Carriers (SC)

Las straddle carriers (SC) son carretillas pórtico que pueden cargar contenedores a horcajadas, habiendo distintos modelos que permiten cargar varios contenedores y depositarlos a distintas alturas.

Se trata de un equipo muy móvil y dinámico que permite realizar el transporte horizontal, el almacenamiento y las operaciones de recepción y entrega de camiones. Una de sus principales ventajas es que permite realizar el sistema de trabajo llamado *decoupling*, que se trata de separar las distintas maniobras de forma que no dependan del ritmo de las otras y evitar cuellos de botella. El *decoupling* es debido a que las SC pueden cargar contenedores depositados en el suelo, por lo que se puede separar la

carga/descarga del muelle del transporte y horizontal y, en terminales donde se usan para almacenamiento otros sistemas, puede dejar en el suelo o en una plataforma los contenedores para que después otro equipamiento del patio de almacenamiento lo cargue.



Figura 24. Straddle carrier en ECT Rotterdam.

Fuente: Liebherr

Si nos centramos en un patio de almacenamiento operados por SCs, las alturas de apilado suelen ser de hasta 2 contenedores, aunque hay modelos que pueden llegar hasta 4, por lo que su densidad de apilado es baja. Una de sus ventajas es que necesitan poco espacio, por lo que entre filas de contenedores necesitan alrededor de 1'5 de ancho para circular la rueda, y su versatilidad hace que se pueda trabajar con un layout perpendicular o paralelo al muelle. Por todo ello suele ser un sistema apropiado y muy usado en terminales de tamaño medio, además su versatilidad ayuda a su rentabilidad, ya que la inversión inicial suele ser en torno a los 800.000 € y su mantenimiento del 10%.

En cuanto a las innovaciones relacionadas con automatización, existen terminales que operan con este tipo de carretillas con automatización que pueden apilar hasta 2 alturas, *AutoStrads*, de forma que no requieren operario, sobre todo para el sistema de transporte horizontal entre muelle y patio.



Figura 25. Grangemouth Port, Escocia.

Fuente: Portstrategy

- + Flexibilidad.
- + Equipamiento de patio y transporte horizontal.
- Coste alto de adquisición, consumo y mantenimiento.

IV.2.5. Grúas pórtico

Las grúas pórtico son grúas de patio en los que el *spreader* se encuentra instalado en un pórtico, que se puede desplazar mediante unas piernas con ruedas de neumáticos, raíles o sobre vigas. Las grúas cargan y descargan los contenedores sobre un transporte horizontal de la terminal o sobre los camiones de recepción y entrega.

Estas grúas tienen mayor capacidad de carga que el resto de equipos de patio y hacen un aprovechamiento más intensivo de la superficie de patio disponible, al poder apilar a más alturas los contenedores. Por lo que se utilizan en terminales donde se dispone de poco espacio de almacenamiento. Además, tienen grandes posibilidades de automatización la mayoría de tipologías, por lo que la tendencia actual es a utilizar este tipo de equipos para la automatización del patio de contenedores.

Dependiendo del sistema de traslación:

IV.2.5.a. Rubber Tyred Gantry Cranes (RTG)

Son grúas pórtico sobre ruedas de neumáticos, propulsadas usualmente por motores diésel que en la actualidad se están sustituyendo por fuente eléctricas. Las ruedas siguen trayectorias rectilíneas y se disponen lugares determinados en la terminal en las que puedan las ruedas hacer giros con seguridad y sin deteriorar la maquinaria.



Figura 26. eRTG, Port of Felixstowe.

Fuente: Vahle

El *layout* usual de patio con estos equipamientos es con bloques paralelos a la línea del muelle permitiendo la circulación de los equipos de interconexión mediante carriles entre bloques. En puertos europeos lo normal es que se tengan bloques de 6 contenedores de ancho y se apilen contenedores llenos hasta 3 o 4 alturas, en cambio en puertos más densos como los asiáticos se llega hasta 7 contenedores de altura. También cabe destacar que en muchas terminales se utilizan solo para la manipulación de contenedores llenos y se dejan otros equipos para bloques de contenedores vacíos, debido al gasto energético mayor que tienen las RTGs.

Respecto a viabilidad de la automatización, pese a en la actualidad disponer de medios para la total automatización de estas grúas, en ninguna terminal se ha puesto en práctica todavía, optándose por automatizar ciertas características u optar por un *layout* con RMGs, que al disponer de menores grados de libertad dan mayor sensación de seguridad a la operativa.

- + Buen rendimiento y aprovechamiento de patio.
- + Flexibilidad y adaptabilidad a necesidades de la terminal.

- Coste de adquisición, mantenimiento y consumos.

IV.2.5.b. Rail Mounted Gantry Cranes (RMG)

Similares a las RTGs pero sobre raíles, suelen ser de mayor tamaño por lo que tienen mayor capacidad y los bloques del patio suelen ser mayores. Son muy populares debido al control y eficiencia, pueden tener hasta el doble de velocidad de desplazamiento que las RTGs. La automatización de estas grúas ha sido la tendencia desde hace más de 20 años, debido a la simplicidad del transporte entre raíles que coarta los grados de libertad excepto el movimiento en los raíles. Sin embargo, transmiten mayores cargas al terreno debido a su peso y tamaño, además los raíles le confieren muy poca flexibilidad al *layout* de la terminal.

Los patios de las terminales de RMGs están formados por pilas perpendiculares al muelle. Esta disposición permite que las unidades de transporte horizontal y de los medios de recepción y entrega no se crucen ya que se segrega el tráfico a dos zonas: los primeros son atendidos en el extremo de pila más cercano al muelle y los camiones de recepción y entrega en el extremo más alejado, de forma que se producen menos recorridos.

En lo que se refiere a la tipología de las pilas, suelen ser de 6 contenedores de ancho como mínimo, tendiéndose a las 10-12 o incluso mayores para maximizar el espacio. Las alturas de apilado varían entre 4-5 alturas en Europa, sin embargo, en puertos asiáticos se suele apilar a mayores alturas.

- + Capacidad y rendimiento operativo.
- + Aprovechamiento de la superficie de patio.
- + Posibilidades de automatización completa.

- Coste de adquisición de unidades e instalación de raíles.

- Rigidez del *layout* por los raíles y transmisión de cargas al terreno.



Figura 27. RTGs APM Terminals Virginia (U.S.A)

Fuente: APM Terminals

IV.2.5.c. *Over Head Bridge Crane (OHBC)*

Tal como se mostró en el puerto de Pasir Panjang, se trata de grúas pórtico sobre vigas instaladas. Resultan una gran capacidad de apilamiento y de movimiento de los equipos, aunque el coste de inversión y complejidad estructural ha provocado que no se apuesten por esta tipología de grúas y del *layout* de la terminal que condiciona.

Respecto a las condiciones operativas, pese conseguir gran densidad de patio, la gran altura de apilado provoca que se tenga que hacer gran número de remociones, por lo que la velocidad de desplazamiento y de operación quedan mermadas.

- + Capacidad de apilado y aprovechamiento de patio.
- Coste de infraestructura, construcción y mantenimiento.
- Rigidez.
- Gran número de remociones que entorpecen el rendimiento.

IV.3. Subsistema de recepción y entrega

El subsistema de recepción y entrega tiene la función de transferir los contenedores desde la terminal al medio de transporte terrestre externo. Consideraremos pues, el ferrocarril y el transporte por carretera con camión.

IV.3.1. Ferrocarril

El ferrocarril utiliza listas de cargas similares a las de los buques, al ser un sistema de transporte que carga varios contenedores de una vez. Las estaciones o terminales para el ferrocarril suelen estar en los extremos de la terminal o incluso en otro recinto en la zona exterior del puerto, debido al espacio que se necesita para cargar todo el convoy de camiones. Por ello, además de la una unidad para cargar los contenedores, se necesita equipamiento que puede realizar la interconexión entre el muelle o patio y la terminal ferroviaria.

Las terminales más avanzadas cuentan con grúas pórtico similares a los RMG para cargar los camiones al tren, con la característica de que el *spreader* debe tener muchas la posibilidad de girar sobre su eje para colocar el contenedor en la posición apropiada. Para ello también necesita que un equipo de interconexión transporte el contenedor. Cabe destacar que existen terminales en las que se utilizan RTGs convencionales y RMGs.

El transporte con carretillas también es muy usual, sobre todo con *reach stackers* o carretillas *side loader*, aunque la carga es más compleja y menos eficiente, no requiere de una gran inversión en equipamiento de carga y se puede usar equipo de patio de la terminal, además de que se evita tener que usar un equipo de interconexión específico.

También en algunos casos se han llegado a usar *straddle carriers*, aunque no es un equipo correctamente adaptado y no es adecuado el uso para ello.

Con respecto a la automatización, la opción viable es la del uso de grúas RMG, en muchas terminales con asistencia.

IV.3.2. Transporte con camión

El transporte con camión es el transporte terrestre más utilizado, las tractoras con remolque puede llegar a transporte un contenedor de 40' / 45' o dos 20' en un viaje. Por ello la documentación que se debe entregar para la recepción o entrega es individual, aunque en la actualidad el mayor intercambio de documentación se hace telemáticamente gracias entre otras cosas las plataformas *Port Community System* que han tratado de introducir todos los puertos para facilitar el transporte de mercancías, así, los chóferes con una orden con código de barras o un localizador alfanumérico pueden solicitar la salida/entrada de contenedores en las puertas de la terminal, y si toda la documentación se confirma correcta por vía telemática se puede proceder a la operación.

Para la recepción y entrega en función de la tipología de patio se destinan unas áreas separadas del resto de tráfico de la terminal o se permite el tráfico interno, con el debido problema para la seguridad y saturación de la circulación interna de la terminal. Para esta operación la mayoría del equipamiento de patio de la terminal (salvo las plataformas que necesitaría otra unidad para cargar/descargar) pueden hacer la operación con un grado de seguridad y eficiencia aceptable.

IV.4. Subsistema de interconexión

El subsistema de interconexión se ocupa de la comunicación entre el resto de subsistema, siendo crítico su papel de conexión entre el muelle y patio en las configuraciones de terminales que no se encargan las grúas de muelle de la descarga/carga en pilas de almacenamiento (la mayoría).

En lo que se refiere a sus funciones clave, podemos diferenciar:

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

Además, los equipos de este subsistema se pueden ocupar de otras tareas como traslado de contenedores a zonas de inspección, de reparación o de trasvase de mercancías.

Estas funciones pueden ser realizadas por equipos de almacenamiento como carretillas, *reach stackers* o *straddle carriers* que están diseñadas para poder cumplir ambas funciones. Sin embargo, salvo en el caso de las SC, las carretillas no son óptimas para un tráfico fluido y operan a velocidades muy bajas y con poca maniobrabilidad respecto a otros equipos de interconexión. Por lo general, estas funciones las realizan equipos específicos de interconexión, formados por plataformas y mafis:

IV.4.1. Plataforma + cabeza tractora

Es el método más usado en terminales de contenedores, está formado por un binomio de plataforma y cabeza tractora, usualmente llamado mafi en España (pese a ser una marca comercial). El contenedor es depositado por los equipos de carga en la plataforma y es transportado a la zona dónde debe ser cargado por otro equipo. Estos equipos están concebidos para el trabajo en terminal y no cumplen las especificaciones técnicas para la circulación por fuera del recinto de la terminal.

Podemos encontrar multitud de sistemas que han ido aumentando el rendimiento de estos equipos, como puede ser los sistemas multiplataforma, que permiten con una cabeza tractora tirar de varias plataformas, de forma que se transportan más contenedores de una vez, o plataformas que soportan la carga en más de una altura para transportar varios contenedores. Además de los sistemas de carga, las mejoras tecnológicas en la potencia, dirección y automatización de estos equipos ha sido determinante, se debe destacar que la productividad baja por los viajes “de vacío” que realice un equipo, así como por la asignación de rutas y equipos que supla. Por todo ello, el funcionamiento y optimización del sistema operativo de la terminal es crucial para la reducción de costes y aumentar la producción de estos equipos.

- + Uso común y extendido.
- + Inversión económica inicial pequeña.

- Requiere personal de manipulación.



Figura 28. Mafis en operación de descarga de buque.

Fuente: Intersagunto Terminales

IV.4.2. Vehículos guiados automáticamente (AGV)

Los AGV se tratan de vehículos que se mueven de manera automática por una ruta establecida, concebidos para el transporte en tareas repetitivas. Los AGV de terminales se tratan de plataformas con ruedas y medios de autopropulsión.

Para sus desplazamientos se suelen utilizar dos opciones:

- Por transponedores eléctricos instalados en el suelo de la terminal, donde el AGV emite y recibe señales del transponedor de forma que se determina su localización, fue el primer sistema que se utilizaba por ejemplo en ECT Hamburgo.
- Por medio de geolocalización GPS de los sistemas de AGV, el sistema que se utiliza en Maavslakte II Rotterdam.

Estos sistemas permiten el ahorro en costes de personal de estibadores, además las operaciones al estar informatizadas se pueden controlar y obtener un gran número de datos con los que optimizar las prestaciones de los equipos y del sistema de la terminal. Sin embargo, estos equipos requieren que las interacciones con el resto de equipo estén automatizadas, por lo menos en lo que respecta al interfaz de carga/descarga de contenedores.

Desde los primeros modelos de principios de los 90 se han ido introduciendo mejoras, como el cambio de motores diésel a eléctricos o sistema de elevación de contenedores que permiten el *decoupling* de las operaciones de carga y aumentar el rendimiento operacional. (AGV-lift)

- + Reducción de costes operativos a largo plazo.

- + Operativa controlada e informatizada, posibilidad de fácil optimización de equipos.
- Inversión inicial en equipos mayor.



Figura 29. AGVs en Container Terminal Altenwerder.

Fuente: CTA

V. Automatización en terminales de contenedores

Las necesidades de crecimiento de tráfico, el aumento del tamaño de buques y las reducciones del tiempo de escala en los puertos ha producido que las terminales cada vez deban trabajar con una mayor carga de trabajo y a la vez ser más eficientes, ajustando sus costes para poder ser más competitivos con la fuerte de competencia. Además, se debe conseguir unos requisitos de seguridad en el trabajo y de sostenibilidad ambiental, todo ello conduce a tener que dar un paso más en la evolución y renovación de las terminales, y la automatización de procesos es una alternativa viable y tendente en la actualidad.

La automatización ofrece regularidad, solvencia, control y seguridad en la ejecución de las operaciones de la terminal. Permite el acceso al control pormenorizado de un gran número de variables en los procesos con lo que se permite ajustar las operaciones y los costes a los requerimientos de la terminal en cada momento, por lo que se obtiene una ventaja competitiva crucial al poder maximizar los recursos que se dispone en cada momento en la terminal.

V.1. Consideraciones iniciales en automatización de terminales

V.1.1. Planificación y desarrollo

En primer lugar, debemos considerar que pese a que ha habido ciertas tendencias a la hora de diseñar una terminal automatizada, no existe todavía un estándar en cuanto a la configuración de terminales, entre otras razones porque el desarrollo tecnológico ha ido incrementando las opciones y, por otro lado, tal y como se ha visto anteriormente en la planificación de una terminal intervienen multitud de factores que la condicionan, provocando la discretización de estas, es decir, dos terminales iguales pueden tener funcionamientos completamente distintos debido a los factores externos, por lo que lo que cada alternativa de desarrollo de una terminal es único y distinto.

Además, se debe considerar que hay dos conceptos de desarrollo de terminales automatizadas conocidas como *greenfield* o *brownfield*.

- Se considera una solución *greenfield* de terminal cuando se dispone del desarrollo de una terminal desde cero, usualmente teniendo o determinando una línea de atraque en el muelle, por lo que se puede decir que se parte de una construcción desde cero por lo que tienen menores condicionantes iniciales.
- Una solución *brownfield* se produce cuando la automatización se realiza en una terminal ya existente y operativa, en la que se debe cambiar el *layout* o cambiar sistemas para automatizar, por lo que conlleva mayores condicionantes a la hora de selección de equipo, superficie para los sistemas... además de que por lo general los operadores no desean parar la operación en una terminal de golpe ya que sufrirían graves pérdidas económicas. Por ello en este tipo de soluciones se suele realizar el desarrollo por partes de la terminal, tanto en lo que se refiere a las obras como a los distintos subsistemas y la integración de servicios al TOS de la terminal.

- También se puede considerar otra alternativa, que se trata de ampliaciones de terminales en las que se aplican soluciones automatizadas para las nuevas instalaciones manteniendo las operaciones de forma manual en el recinto antiguo.

V.1.2. Revolución vs evolución

La automatización de una terminal conlleva un cúmulo heterogéneo de operaciones, muchas veces caemos en tan sólo relacionar la faceta de las operaciones robotizadas como concepto de automatización, sin embargo, en una terminal existen un gran número de procesos que se realizan de forma manual y que su automatización en los sistemas podría conllevar un ahorro en tiempo, recursos humanos y costes los cuáles podrían dar una ventaja competitiva a la terminal frente otras.

Por ello, debemos tratar los conceptos de revolución y evolución en el contexto de terminales. El concepto de revolución se basa en la plena aplicación de procesos automatizados en la terminal desde su puesta en marcha, es un concepto que es mucho más fácil aplicar a soluciones *greenfield*.

En cambio, evolución hace hincapié al desarrollo de sistemas automatizados dentro de los procesos de una terminal, mientras otros se siguen manteniendo de forma manual o asistida debido a su coste, complejidad u otros motivos. Por ello, la terminal se va desarrollando hacia una automatización completa gradualmente, mejorando poco a poco pequeños procesos que se dejan de hacer o calcular de forma manual y pasan a ser computadorizados, ahorrando en tiempo y aumentando la precisión gradualmente.

Se debe tener en cuenta que, pese a los dos conceptos, la automatización de una terminal se trata de un proceso iterativo de mejora, ajuste y perfeccionamiento de los ciclos, procesos y sistemas. En consecuencia, la puesta en marcha de una terminal se produce con rendimientos bajos, y conforme se implementan correcciones y mejoras se consigue llegar a niveles óptimo, añadiendo las ventajas de acceso a información y control que conllevan los procesos robotizados y automatizados.

V.1.3. Configuraciones para la automatización.

En el diseño de una terminal automatizada puede tener un gran peso la disponibilidad de superficie y los sistemas de manipulación disponibles, ambos conllevan unas condiciones para la configuración de la terminal. Los *layouts* que tecnológicamente son viables desde el punto de vista de una automatización son los siguientes

V.1.3.a. Wide Span Gantry Crane + RMG

Se trata de una configuración muy usual en pequeñas terminales de puertos interiores o fluviales del norte de Europa. Se conforman por grúas de muelle de largo alcance que tienen dentro de su amplitud de maniobra parte de las pilas de almacenamiento, de forma que depositan los contenedores desde la cubierta del barco en el patio de almacenamiento sin unidades de interconexión. Estas grúas, que funcionan asistidas, se combinaría con RMG automatizadas en el patio para completar las maniobras de *housekeeping* en el patio y la recepción/entrega de contenedores con el sistema de transporte terrestre.

Se trata de un sistema compacto, con un número de equipos más reducidos que otras configuraciones y que funciona bien en puerto pequeños fluviales con un tráfico de barcas fluviales regular.

Sin embargo, el uso de grúas de tamaño medio-grande actuales, post-panamax o mayores, conllevaría un aumento de las estructuras significativo, y trabajarían con asistencia en el mejor de los casos. También, no son terminales con una gran flexibilidad a los cambios de demanda con poco margen de programación. Por último, se debe tener en cuenta que la estructura que lo conforma es rígida y apenas permite cambios en la configuración y expansión de la terminal.

V.1.3.b. STS + RMG + interconexión

Se trata de la configuración más común de terminales automatizadas, ya que las RMG son más fáciles de automatizar que otros equipos de patio, y las grúas STS en la actualidad ya están operando totalmente automatizadas en el puerto de Melbourne, aunque se utilizaban con anterioridad sistema semiautomáticos como el *double-trolley*, donde un izado de la maniobra es asistida de forma remota por un operario y la descarga en el sistema de interconexión es automático.

Como ventajas podemos decir que es el sistema más utilizado y probado, por lo que la puesta en marcha de este tipo de terminal suele ser más simple debido a la experiencia de los equipos humanos que se contratan. Además, al utilizar grúas STS se pueden adquirir grandes tamaños para operar *mother vessels* y son más flexibles que otras grúas de muelle.

Se debe considerar que se debe utilizar equipos de interconexión para enlazar los trabajos de muelle y patio, en cuanto a la automatización de estos equipos se han utilizado tanto AGVs como *straddle carriers* pequeñas denominadas Autostrads. Estos equipos operan o por medio de transponedores instalados en el suelo de la terminal o con tecnología GPS.

- AGVs

Los AGV son unidades más baratas que los Autostrads pero no permiten el *decoupling* de las actividades por lo que son menos productivos. En la actualidad la terminal de Maavslakte II de Róterdam opera con una nueva generación de AGV que pueden



Figura 30. Lift-AGV

Fuente: Gottwald Port Technology

levantar los contenedores y depositarlos en unas estructuras similares caballetes para realizar el *decoupling*, llamados *lift-AGV*, reduciendo los tiempos de ciclo y aumentando la productividad.

- **Autostrads**

Los Autostrads son *shuttle carriers* automatizados, es decir, *straddle carriers* que cargan un contenedor a horcajadas y los pueden depositar a 2 alturas. Estos equipos dan el mejor rendimiento posible en combinación con RMGs, según estudios realizados por Kalmar y Cargotec, si bien no son la mejor alternativa económica.

- **Gruás pórtico de patio**

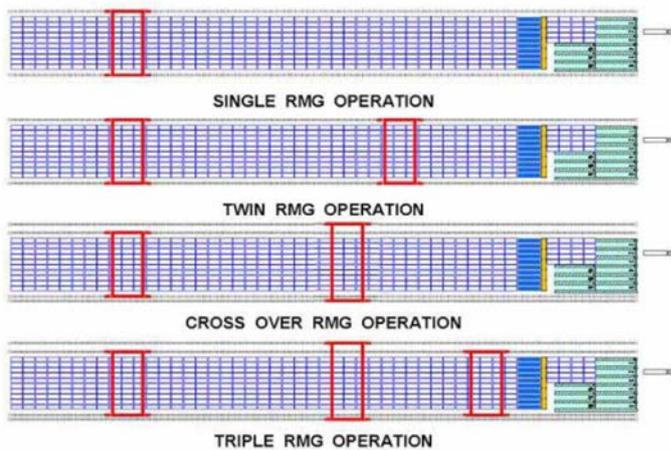


Figura 31. Tipologías de operación de RMGs

Fuente: Vu Duc Nguyen & Kap Hwan Kin A

- **ASC twins**

Se trata del uso de dos RMGs gemelas en un bloque, de forma que cada una se ocupa de la zona de un extremo, así se evita los recorridos largos y cada una se ocupa de recibir los contenedores de recepción/entrega o de los vehículos de interconexión del muelle, trabajando en zonas diferenciadas de un mismo bloque o teniendo que esperar a que una de las dos grúas deje liberadas calles del bloque.

- **ASC crossover**

Se utilizan dos tamaños de grúas, una con una altura y ancho superior, de forma que una puede pasar sobre la otra sin que se produzcan colisiones, son una derivación de las *ASC twins* convencionales, se aumenta la productividad al poder trabajar simultáneamente las dos grúas en todo el bloque.

V.1.3.c. STS + RTG + interconexión

Las grúas RTG son los equipos de patio más populares en el mundo, en la actualidad estas grúas tienen la posibilidad de semi-automatizarse, de forma que se pueden realizar las operaciones por operarios a control remoto, con un ratio de 1:3, la empresa Kalmar del grupo Cargotec ya ha aplicado esta tecnología en la fase 1 de la terminal Trapac de Los Ángeles.

La ventaja de usar RTG, pese a no ser completamente automáticas, permiten reducir los costes y ofrecen una gran flexibilidad, al desplazarse sobre ruedas, por lo que se podrían usar tanto para tipologías convencionales de patios de RTG (bloques paralelos a la línea de muelle) o utilizarse de forma perpendicular como las terminales de RMGs.



Figura 32. ASC Crossover

Fuente: Gottwald Port Technology

Al igual que sucede con las RMG, necesitan de unidades de transporte horizontal, en las que se podría considerar AGVs o Autostrads. También se están desarrollando funciones para poder utilizar los sistemas de *twins* y *crossover* con este tipo de unidades, si bien al no utilizar raíles es más problemático.

V.1.3.d. STS + Autostrads

En esta configuración, las grúas STS depositan los contenedores de los buques en el suelo de la terminal para que un Autostrad lo cargue y lo deposite en patio. Se trata de un sistema con un ciclo rápido, eficiente y más económico que otras tipologías, pero que debido a la reducción de la altura de pilas (2), requiere de una gran superficie de patio de almacenamiento, por lo que reduce la capacidad de almacenamiento de terminales que no dispongan de amplias extensiones de superficie. Además, para conseguir reducir los tiempos de ciclo, se requiere de un gran número de unidades de Autostrad ya que realizan tanto la interconexión, almacenamiento y recepción/entrega de contenedores para transporte terrestre.

V.1.3.e. OHBC

El sistema de las OHBC es un sistema concebido para la automatización de los equipos, confiere grandes rendimientos respecto a la densidad de patio y funcionamiento. Por otra parte, como se ha comentado anteriormente, se trata de un equipo muy caro, con una instalación muy compleja y que debido a la propia densidad de patio se pierden las ventajas operativas al tener que realizar un gran número de remociones.

Este se podría usar con cualquier tipología de grúas de muelle, habiéndose estudiado la alternativa de usar grúas de muelle móviles de forma que éstas supliesen la rigidez de las vigas de patio, de forma que se evitase el transporte horizontal, aumentando el rendimiento.

	Plataformas	Carretillas	Reachstackers	Straddle Carriers	RTGs	RMGs
Altura de apilado	1	3 (llenos) 6-9 vacíos	3	2 a 3	3 a 5	4 a 5
Anchura de pila	no	4 (llenos) Vacíos en bloque	4	1	6 a 10	8 a 12
Densidad Superficial	Muy baja	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Requisitos de pavimentación	Muy bajos	Muy bajos	Muy bajos	Medios	Altos	Muy altos
Coste de adquisición	Alto	Bajo	Medio	Alto	Alto	Alto
Coste de mantenimiento	Bajo	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto
Años de vida útil	5	6 a 7	8 a 10	7 a 8	10	20
Posibilidad de automatización	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Media	Alta	Muy alta
Costes de personal	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	Muy bajo
Capacitación de personal	Baja	Baja	Baja	Alta	Alta	Bajo
Integridad de contenedores	Alta	Baja	Baja	Baja	Media	Alta
Flexibilidad de operaciones	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta
Facilidad de ampliación	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Baja
Facilidad de cambio de layout	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Muy baja
Eficiencia energética	Baja	Baja	Baja	Baja	Media/alta	Alta
Posibilidad de mejoras tácticas	Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
						

Figura 33. Resumen de características de equipo de patio

Fuente: Elaboración propia a partir de Monfort *et al.*(2011)

VI. Estudio de automatización: Intersagunto Terminales

VI.1. Introducción

La terminal de Intersagunto se trata de una apuesta del Grupo Alonso y de la Autoridad Portuaria de Sagunto, dependiente de la Autoridad Portuaria de Valencia, dentro de su plan para diversificar las actividades del puerto, tradicionalmente concentrado en la industria siderúrgica.

El puerto actual, tiene su origen en la autorización administrativa otorgada el 11 de agosto de 1902 a la Compañía Minera de Sierra Menera, para construir un embarcadero en la playa de Sagunto para la carga de minerales procedentes de sus minas de Ojos Negros y Setiles, en Teruel. En la actualidad se trata de un clúster siderúrgico pese a haberse disuelto la sociedad de Altos Hornos del Mediterráneo S.A.



Figura 34. Vista aérea del puerto de Sagunto

Fuente: Valenciaport

El puerto en el presente es además de un referente de los productos siderúrgicos, un puerto polivalente donde se operan vehículos, graneles sólidos, gas, contenedores y transportes especiales. Al ser dependiente del puerto de Valencia, podríamos determinarlo como el puerto más industrial de los tres que gestiona la Autoridad Portuaria de Valencia, y que, debido a su cercanía al puerto principal, mayoritariamente de contenedores, sirve como desahogo de este o para servir a tráficos de contenedores menos atractivos o menores para las terminales de Valencia, es ahí donde reside el potencial de la terminal de Intersagunto.

Además, el puerto de Sagunto se encuentra estratégicamente en la línea ferroviaria que une Valencia con Teruel, Zaragoza y Bilbao, además de estar también en la ruta del corredor mediterráneo. Por ello y su escasa distancia a Valencia, 29 km. que se trata de menos distancia que algunas terminales de puertos europeos entre sí como Rotterdam,

se trata de un emplazamiento de gran valor estratégico y de desarrollo para la Autoridad Portuaria de Valencia.

Los principales desafíos a los que se enfrenta el puerto son:

- Polivalencia y cualificación de los estibadores, la ventaja que en primera instancia ofrece el ser un puerto polivalente y multipropósito a la hora de atraer diferentes tipos de tráfico es un problema en la parte operativa. El puerto se rige para la contratación de estibadores por el acceso a la SAGEP del puerto (SESASA), la cual está formada por una plantilla inferior a 100 trabajadores, a los que se unen menos de 50 trabajadores de bolsa los cuáles solo tienen cualificación para la descarga de vehículos y labores de estibador. Esta situación produce que no se pueda cubrir las demandas pico de personal de las terminales, provocando demoras y retrasos en las estancias de los barcos y produciendo pérdidas. Por otro lado, además esta polivalencia provoca que en muchos casos los estibadores no estén utilizando diariamente el mismo tipo de maquinaria, lo cual produce que por la falta de práctica provoque que los rendimientos de estos sean inferiores a los de otros puertos especializados en un solo tipo de mercancía.

- Instalación de un puesto de inspección fronteriza PIF, el cuál permita realizar los diversos controles fitosanitarios necesarios para poder transportar gran número de artículos de consumo, y permita acceder a un gran número de tráfico que en la actualidad no ven atractivos el puerto al tener que desplazar las mercancías para inspección a Valencia para su examen. En la actualidad la construcción del PIF se encuentra aprobada, pero sin fecha de implementación.

- Creación de una terminal ferroviaria de contenedores, el puerto se encuentra en un punto de gran accesibilidad, al confluir las líneas tanto de dirección Teruel-Zaragoza-Bilbao o Tarragona-Barcelona-Montpellier. Sin embargo, el puerto no dispone de las infraestructuras conveniente para aprovecharse de esta situación estratégica. En la actualidad, entra en los planes de la Autoridad Portuaria de Valencia la elaboración de esta infraestructura y la mejora de la línea a Teruel para incentivar la interconexión buque-ferrocarril.

VI.2. Intersagunto Terminales

La terminal de Intersagunto comenzó las operaciones en el muelle norte 2 del puerto de Sagunto en junio de 2015. Se trata de una terminal de 110.000 m² de superficie, con un calado de 16 metros en un muelle de 650 m. En cuanto a los medios para las operaciones marítimas, dispone de 6 grúas STS (5 post-Panamax y 1 Panamax) y 2 grúas de puerto móviles. Para el trabajo en patio y de recepción/entrega dispone de 3 RTGs y 12 *Reach stakers* que se conectan por medio de tractoras con plataforma. En lo que respecta al acceso de vehículos terrestres, dispone de puertas con sistema de automatización, de forma que la operación es supervisada por personal pero esencialmente no intervienen en el acceso de vehículos.

El principal mercado de la terminal son tráfico *feeder* y pequeñas líneas interoceánicas, de forma que se beneficia de su proximidad al puerto de Valencia, ya que, este genera cargas que muchas veces no son demasiado importantes o poco atractivas

para las grandes terminales de Valencia y ello crea un nicho de mercado considerable para Intersagunto. Además, la terminal es parte de un grupo empresarial logístico valenciano que dispone de una naviera con líneas a las Islas Canarias y diversas empresas transitarias y consignatarias, de modo que se crean sinergias dentro del grupo empresarial que favorecen el desempeño de la terminal.



Figura 35. Vista aérea IST.

Fuente: saguntoti.com

En cuanto al tráfico actual de la terminal, en la actualidad disponen de servicios regulares de líneas que operan en Islas Canarias, norte de África y Norteamérica. Además de estas líneas, operan varias navieras con barcos de tráfico tipo *trump*, generalmente de mercancía general, *project cargo* y graneles líquidos que se operan en el tramo auxiliar de muelle y ocupan una superficie auxiliar del patio.

VI.2.1. Marco geográfico

El Puerto de Sagunto se encuentra apenas a 29 km del puerto de Valencia, se puede adoptar su hinterland potencial como el mismo del puerto de Valencia. Valencia tiene una fuerte actividad económica y comercial, con un núcleo fuerte de empresas cerámicas en Castellón y con la conexión más directa y rápida con Madrid. En un radio de 350 km Valencia tiene de más de la mitad del PIB de España, además se ha apostado por invertir en la mejora de las comunicaciones ferroviarias con Zaragoza y el norte de España.

Por esta parte, Sagunto tiene una ventaja respecto a la accesibilidad de las conexiones con las empresas cerámicas de Castellón y las conexiones ferroviarias con el norte de España. En lo que respecta al tráfico rodado del norte, Sagunto se encuentra antes de la entrada de Valencia, por lo que camiones se evitan la distancia que hay hasta Valencia y luego la distancia y pérdida de tiempo que conlleva el acceso al puerto por el sur de Valencia. Respecto a la conexión ferroviaria norte, Sagunto se encuentra en el punto de conexión tanto con la línea Teruel-Zaragoza-Bilbao, como en la procedente de Barcelona.

En cuanto al transporte marítimo, Sagunto se beneficia de la influencia y atracción del puerto de Valencia, que se trata de un puerto muy atractivo para las navieras debido a la poca desviación de sus rutas, la carga propia del puerto y las condiciones técnicas de este. Por ello, Sagunto se beneficia de estar a la sombra de este, de forma que opera tráficos que son menos atractivos para operar en Valencia o que necesitan condiciones determinadas, además de que se posiciona en la ruta de barcos *feeder* que operan con Valencia.

VI.2.2. Situación actual

La actual terminal se encuentra en funcionamiento desde finales de 2015, por lo que es una terminal de reciente creación (si bien proviene de una terminal anterior sin muelle propio) y sufre principalmente por dos causas.

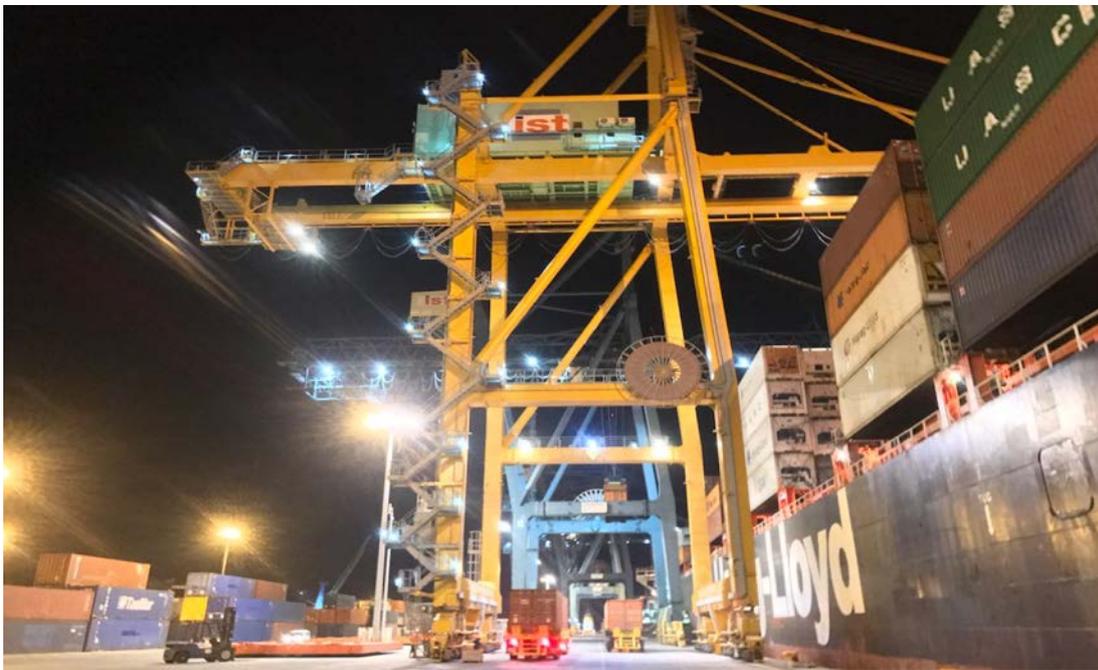


Figura 36. Descarga de contenedores en IST

Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, el puerto carece de un Puesto de Inspección Fronteriza en sus instalaciones, por lo que cualquier mercancía que requiera de inspección se debe trasladar en camión al puerto de Valencia, con el respectivo encarecimiento de los costes. La construcción de esta instalación está aprobada y además según la planificación ya debería estar en operación, sin embargo, no es el caso. En lo que respecta al estudio, estableceremos que este condicionante ya se encuentra resuelto ya que está previsto la construcción a principios de 2018.

Por otro lado, es de especial consideración la situación con el personal de estiba de la sociedad SESASA. La situación actual es que la plantilla apenas llega a los 100 miembros fijos y otro número inferior en una bolsa de eventuales los cuales solo pueden trabajar en las especializaciones inferiores (estiba y carga/descarga de vehículos). Esta plantilla es insuficiente considerando su extensión y la repartición del personal en las distintas especializaciones, por lo que es en la práctica imposible disponer de personal para dar servicio mínimo en la terminal los 365 días, 24 horas al

año. En adición, al tratarse de la primera terminal estrictamente de contenedores el personal no se encontraba formado para la utilización de maquinaria especializada para la manipulación de contenedores. La posición actual del colectivo, que se ha negado reiteradamente a la ampliación del censo en la medida que es necesaria para la actividad, conlleva buscar alternativas. En este escenario es dónde la automatización se torna especialmente atractiva, ya que se conseguiría poder operar la terminal de forma continua y con las condiciones operativas adecuadas para poder dar un servicio de calidad y rentable para la empresa estibadora.

VI.2.3. Objetivos del estudio de automatización

El objetivo principal del estudio es conseguir una alternativa con un grado de automatización alto con viabilidad operativa y económica para la terminal, de forma que aumente su eficiencia y competitividad en el mercado. Con la automatización de los medios de manipulación se querría solventar los condicionantes operativos actuales que producen que no la terminal no pueda alcanzar el tráfico potencial que podría manejar si pudiese usar de forma óptima todos sus medios y sistemas de manipulación.

En adición, la automatización pretende obtener un mayor control y acceso a la información de los sistemas, de forma que se pueda ajustar con más precisión a la demanda.

VI.2.4. Condicionantes de la terminal

Con el objetivo de determinar las posibilidades de configuración de la terminal, en primer lugar, debemos establecer los aspectos que condicionan significativamente la elección o las posibilidades de operación. Estos pueden ser de distinta naturaleza, tales como físicos debido al espacio o al calado del muelle, económicos como el coste de adquisición o de planificación, como puede ser los tamaños de los buques que se van a operar en la terminal.

Entre los principales condicionantes destacan:

- **Dimensiones de la terminal**

Se trata de una terminal de 100.000 m², con una longitud de muelle útil para las operaciones de carga y de descarga de 680 metros (más otros 250 que sirven para operaciones auxiliares), y un ancho completo de la terminal de 250 metros. Estas dimensiones condicionarán de forma significativas las posibilidades de configuración y el mayor o menos aprovechamientos de las ventajas de estas.

- **Medios de transporte terrestres**

La terminal en la actualidad recibe tan solo camiones por vía terrestre, sin embargo, esta aprobada el establecimiento de una terminal ferroviaria dentro de la superficie del buen, si bien no será anexa a la terminal, por lo que se tendrá que disponer de medio de transporte de conexión entre la terminal ferroviaria y la marítima.

- **Tamaños de los buques operados**

El tamaño de los buques es crucial a la hora de determinar los medios, capacidad y dimensiones de la terminal. En la actualidad, los buques operados llegan a un tamaño máximo de 6900 contenedores de capacidad (UASC Bubiyan), si bien el tamaño medio de los buques se encuentra en torno a los 2000 contenedores y realizan una media de 500 movimientos de carga y descarga. Se debe ser realista y tener claro la idea de que es una terminal que no va a operar grandes buques, en la actualidad tiene dificultades en el caso de buques como el UASC Bubiyan con las grúas Post-Panamax, pero no es una terminal que debiese trabajar con grúas mayores que SuperPost-Panamax ya que, ni se va a recibir buques de una capacidad mayor, ni se tiene disponible el espacio que requieren grúas de mayor tamaño. En la actualidad el rendimiento operacional de las grúas de muelle es de 20 movimientos/hora por grúa.

- **Capacidad de la terminal**

En la actualidad el tráfico de contenedores anual en la terminal se encuentra entre los 60.000-100.000 TEUs/año. Sin embargo, en el estudio se pretende considerar que los criterios operativos y externos a la terminal ya se han solventado, en especial el PIF. Siguiendo las indicaciones del capítulo 5 del Manual de capacidad para terminales de Contenedores (Monfort *et al*, 2008), con un rendimiento de 30 movimientos/hora y 2 grúas por buque, en una terminal de 650 m y capacidad para asistir 2 buques simultáneamente, obtenemos una capacidad anual superior a 300.000 TEUs/año.

VI.3. Estudio de configuración de la terminal

Como se ha visto con anterioridad, la terminal tiene una serie de condicionantes iniciales, tanto en lo que se refiere a las características físicas y espaciales, como a la situación temporal de la terminal al estar ya en uso y disponer de maquinaria.

En este apartado se estudiará los posibles *layouts* que se ajustan a las condiciones impuestas en la terminal, estudiando cada subsistema.

VI.3.1. Subsistema de carga y descarga de buques

La terminal dispone de 6 grúas STS Post-Panamax y dos grúas móviles convencionales. Las grúas STS se ajustan al tamaño de los buques que operan en la terminal, por lo que en principio es una opción muy considerable el seguir operando con estas, ya que en el caso de mayor automatización son asistidas a distancia. Además, en terminales automatizadas los accesos a las grúas están separados del resto del patio, por lo que el acceso e interacción con el resto de maquinaria automatizada sería seguro, si bien las velocidades de operación se seguirían ajustando a velocidades de seguridad con equipo humano en cabina. Esta opción tiene la ventaja de ser considerablemente la más económica, al no tener que invertir en un equipamiento sumamente caro en un primer momento, si no que se podría ir incorporando mejoras tecnológicas progresivamente.

Respecto a las grúas móviles, no lo consideraremos un equipamiento principal para la carga y descarga de muelles, debido a la velocidad baja de operación y al alcance de las grúas que se dispone que no consiguen llegar a la zona de almacenamiento y por tanto

no eliminan el transporte horizontal, lo cuál sería un punto a favor y aumento de la eficiencia. Por otro lado, no se contempla hacer una inversión en equipos nuevos de esta tipología, al no ser un equipo especializado en contenedores, y que se obtendría en el mejor de los casos rendimientos operacionales similares a los de las grúas STS actuales de la terminal.

En relación con las otras opciones de maquinaria de muelle estudiadas con anterioridad como las grúas de largo alcance y OHBC, no los consideramos favorables para la solución. Las razones son la escasa flexibilidad y el alto coste de implementación, añadido a que estas configuraciones no han tenido éxito en otras ocasiones y el riesgo comparado con otras tipologías es muy alto.

En conclusión, la mejor opción para una terminal de contenedores consideramos que es operar con grúas STS, y en el caso de la terminal sería continuar con las grúas actuales, si bien salvo por el aspecto económico asumimos que en la parte operacional no nos afecta el hecho de que sean semi-automatizadas o manuales. Además, el incremento en mayor tamaño de las grúas supondría ocupar más superficie, sobre todo en la dimensión normal al muelle, en el que la longitud ya es reducida y provocaría una disminución en la superficie del patio de almacenamiento que no es asumible.

VI.3.2. Subsistema de recepción y entrega

En el subsistema de recepción y entrega debemos considerar dos procesos:

Por un lado, el acceso de los camiones a la terminal. Este proceso ya se encuentra automatizado en la terminal, con asistencia manual en el caso de incidencias, pero mayoritariamente funciona de forma automática gracias a los lectores OCR y a la comunicación del TOS de la terminal con la plataforma ValenciportPCS.

En segundo lugar, se debe considerar el proceso de transferencia de patio al camión, este proceso se debe realizar de forma regulada semi-automática en una zona de la terminal, si bien esta zona tendría unas características en función de la configuración de los equipos de almacenamiento, por lo que su análisis se realizará con el siguiente subsistema.

VI.3.3. Subsistema de almacenamiento

El subsistema de almacenamiento tiene como condicionante principal el reducido ancho de la terminal, que es aproximadamente de 175 metros y que provoca que se tenga aproximadamente 130 metros de ancho disponible para el almacenamiento, y en nuestro caso asumiremos 125 metros, que con los 450 que se disponen de largo obtenemos un espacio algo superior a 56.000 m².

Debido a este ancho, las soluciones con disposición perpendicular al muelle se quedarían con una longitud muy reducida, al tener además del espacio de las pilas que contar con zona para las maniobras de recepción/entrega y transporte horizontal, de forma que habría que invertir en disponer de más equipos para cubrir toda la longitud paralela, y estos al desplazarse en la prolongación perpendicular (más corta en nuestra terminal) al muelle realizarían recorridos muy cortos, por lo que el aprovechamiento

de los equipos con respecto a la superficie que pueden operar sería escasa. Por ello en cuanto a la disposición de las pilas sería más adecuado una disposición paralela al muelle.

En consecuencia, las disposiciones de la zona de almacenamiento que más se adaptan sería:

Patio con pilas paralelas al muelle, con segregación de tráfico en los extremos inicial y final para alojar los búferes de transporte horizontal y de recepción y entrega respectivamente. De esta forma se pueden establecer tanto el formato convencional de RTGs o un formato alternativo de RMGs en disposición paralela.

Patio con sección rectangular con la mayor longitud paralela al muelle, con morfología adaptada a *straddle carriers* y con zona de transferencia en recepción y entrega separada de las operaciones internas de la terminal.

VI.3.4. Subsistema de interconexión o transporte horizontal

Las elecciones de equipo en este sistema vendrán determinadas en combinación con el sistema de almacenamiento y sus equipos:

Por un lado: los sistemas con RTGs o RMGs en la zona de almacenamiento necesitan equipos de interconexión con el sistema de carga y descarga de buques, para ello necesitarán AGVs, y para mejorar el rendimiento sería adecuado que tuviesen capacidad para desacoplar las operaciones (*lift* o *side-loaders*). También se podrían utilizar Autostrads, si bien su precio es menos económico y en este caso perderían funcionalidad al no usarlas para almacenar contenedores en patio.

En el caso de un patio para *straddle carriers* automatizadas (Autostrads), las unidades realizan tanto tareas de almacenamiento, interconexión como recepción y entrega.

VI.3.5. Conclusiones

En función de la viabilidad de las configuraciones de patio y de las condiciones físicas de la terminal se escogen como alternativas analizables las siguientes:

Con respecto a la carga y descarga se dispondrán de grúas STS Post Panamax, las actuales de la terminal. Subsistema de puertas automáticas seguirá como se encuentra en la situación actual, si bien se puede abrir otra salida en función de la configuración final. En lo que respecta a los sistemas de patio e interconexión, se estudiarán en el análisis operativo la viabilidad de las siguientes alternativas:

- RTGs automatizadas con unidades de transporte horizontal, con disposición de las pilas paralelas al muelle.
- RMGs automatizadas con unidades de transporte horizontal, con disposición de las pilas paralelas al muelle.
- *Shuttle carriers* automatizadas o autostrads.

VI.4. Cálculos operativos

En este apartado se analizaremos la capacidad de contenedores que puede operar cada subsistema y con ello determinar cuál es la capacidad de tráfico que puede sostenerse en la terminal, con el fin de poder establecer los mejores escenarios con los distintos equipos de patio.

Para ello determinaremos la capacidad de cada subsistema y estableceremos cuál es la capacidad limitante de la terminal que determinará la configuración final de los equipos. Cabe destacar que en cuanto al desempeño de los distintos equipos, el principal objetivo es conseguir la mayor productividad de las grúas de muelle, por lo que lo conveniente es que éstas no paren su operativa debido a otros subsistemas.

En la elaboración de los cálculos siguientes se han seguido las indicaciones del Manual de capacidad portuaria: Aplicación a Terminales de Contenedores (A. Monfort *et al*, 2008).

VI.4.1. Capacidad anual por línea de atraque

La capacidad por línea de atraque depende de varios factores clave, como pueden ser factores operativos del terminal relacionados con la eficiencia y calidad del servicio, el tamaño de las instalaciones que pueden atender a varios buques o el régimen de llegadas de los buques a la terminal. En la siguiente figura elaborada por la Fundación Valenciaport se ilustran los factores a considerar a la hora de calcular la capacidad de una terminal.

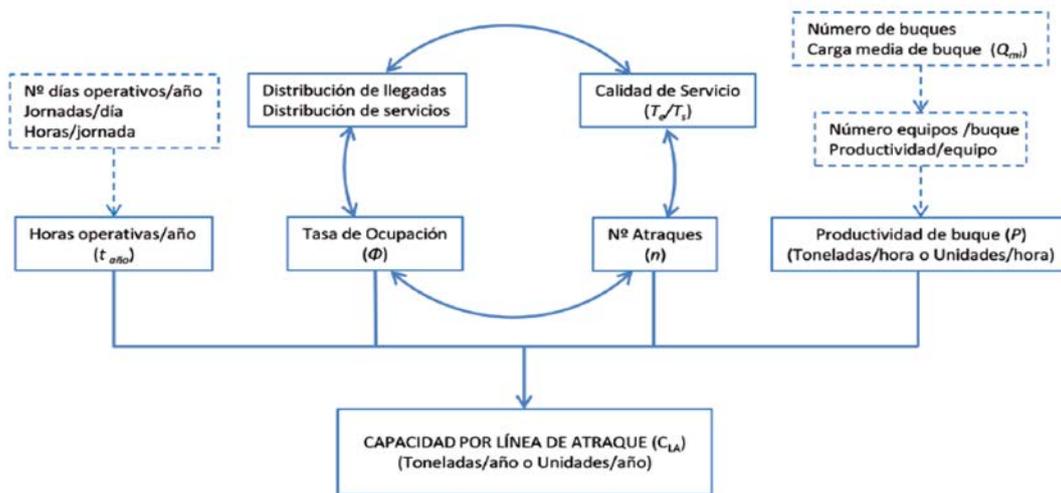


Figura 37. Capacidad por línea de atraque de una terminal.

Fuente: Valenciaport

Seguendo a Monfort (2008), la capacidad anual por línea de atraque es igual:

$$C_{LA} = n * \Phi * t_{año} * P$$

Donde:

$C_{i,a}$: Capacidad anual por línea de atraque (TEUs/año, en nuestro caso).

n : número de puesto de atraque.

\emptyset : Tasa de ocupación admisible. Es función del número de puestos de atraque, de la calidad de servicio asociada a la espera relativa y de la caracterización de las llegadas y los tiempos de servicio.

$t_{año}$: Horas operativas de la terminal al año. Es función de los días y horas que opera el puerto al año. En nuestro caso, 24 h*365 días.

P : Productividad anual media de buque atracado. Resulta el cociente entre el volumen anual de mercancías a manipular y la suma de los tiempos brutos anuales de atraque estimados.

- **Número de puestos de atraque:**

Para establecer el cálculo, estableceremos un buque tipo de 270 metros de eslora, que se trata de un valor extremal de los buques que han operado hasta la actualidad en la terminal (UASC Bubián: 270 m de eslora), además el buque que opera en la actualidad con mayor frecuencia en la terminal se encuentra en torno a los 240-245 metros de eslora pertenecientes al modelo Express de Hapag-Lloyd (Barcelona Express: 244 m de eslora) y se espera que sea el tamaño medio del buque tipo que opere en la terminal. La fórmula que emplearemos para el cálculo es:

$$N = \frac{\text{Longitud línea de atraque}}{\text{eslora buque tipo} * (1 + K_{\text{Separación}})}$$

Donde K es un coeficiente de resguardo de separación de los buques, que se puede coger un coeficiente (10%) o un valor fijo. En nuestro caso tomaremos un 10%.

Con lo que obtenemos

$$N = \frac{\text{Longitud línea de atraque}}{\text{eslora buque tipo} * (1 + K_{\text{Separación}})} = \frac{650}{270 * (1 + 0.1)} = 2.18$$

- **Tasa de ocupación admisible**

La tasa de ocupación resulta de considerar tanto la distribución de llegadas de los buques, la distribución de los tiempos de servicio al buque en el muelle y la calidad del servicio vinculada al concepto de espera relativa.

Para el análisis de la tasa de ocupación se requiere el conocimiento de la distribución de llegadas de buques al muelle y la distribución de tiempos de servicio en la terminal, con el fin de poder hacer un análisis analítico. En esto análisis el muelle es tratado como un sistema con n atraques, con una función de distribución de probabilidades de llegadas de buques f_i y otra función de distribución de probabilidades de tiempo de servicio f_s .

En la ausencia de unos datos más precisos de la caracterización del muelle, de las llegadas y tiempos de servicio se recomienda utilizar los siguientes sistemas en función de la tipología de la terminal (Manual de capacidad portuaria: terminales de contenedores, Monfort *et al*, 2008).

Para el caso de terminales de contenedores públicas:

$M/E_i/n$ (distribución de llegadas aleatorias / tiempos de servicio según distribución de Erlang de orden K / n atraques). Siguiendo la teoría de que las terminales públicas siguen una distribución de llegadas aleatorias (M) y los tiempos de servicio se ajustan a una distribución de Erlang de orden 4 o superior, y en nuestro caso con 2 atraques – $M/E_i/2$.

Además, la tasa de ocupación se relaciona significativamente con la espera relativa, que se trata de un coeficiente que relaciona el tiempo de espera del buque en terminal con el tiempo de operación. En el caso del funcionamiento actual de la terminal, el único factor significativo de espera de los buques en terminal es la hora de llegada respecto a los turnos de trabajos de los estibadores portuarios programados a las 2,8,14 y 20 horas del día. Si contamos que con usualmente las jornadas de trabajo de los buques en la terminal son de 4 turnos, es decir cubren 24 horas, el mayor coeficiente de espera relativo sería de 0'25 ($t_e < 6h / 24 h = 0'25$), siendo los datos de tiempos de espera actuales de 1'25 h, un tiempo de espera adecuado y con margen sería de una espera relativas de 0'10, además según Agerschou (2004) la tasa de ocupación para terminales de contenedores no debe sobrepasar ese 0'10. Tomando los resultados de la Fundación Valenciaport:

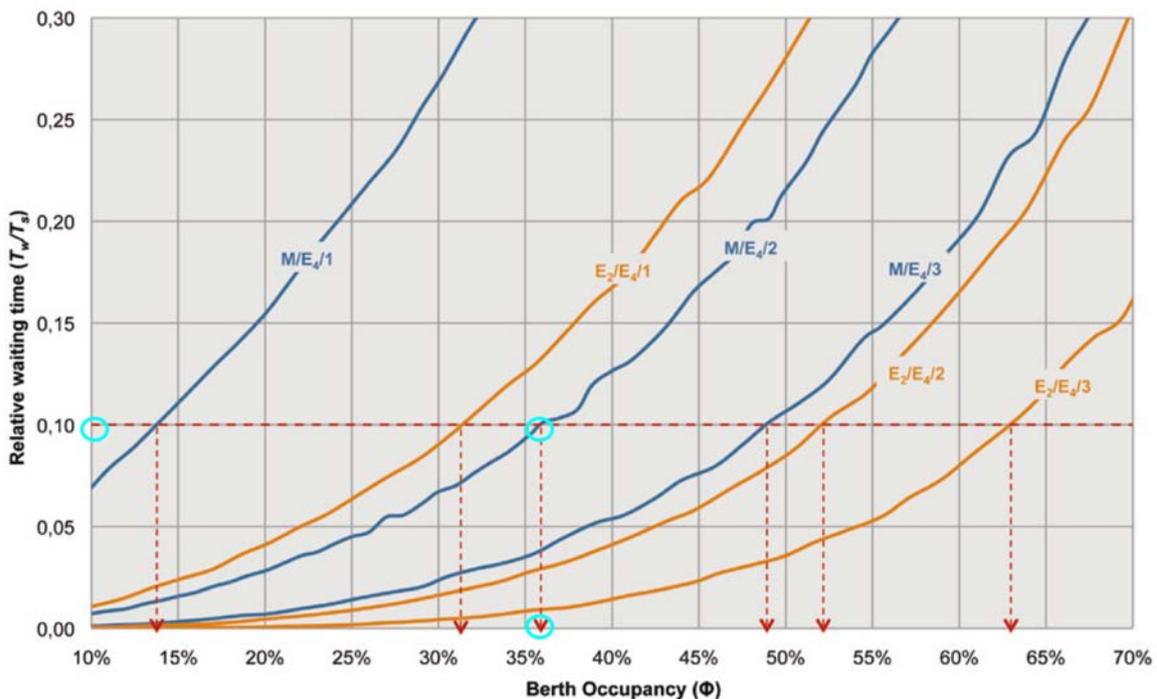


Figura 38. Espera relativa y tasa de ocupación en función de $(M/E_i/n)$ y $E_i/E_i/n$

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

Como se aprecia en el gráfico, para una espera de 0'10, 3 atraques y $M/E_i/2$, el resultado para la tasa de ocupación Φ sería aproximadamente 36%.

- **Productividad del buque**

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, se tomará la productividad actual de las grúas STS de la terminal en la carga y descarga del buque, que es de 22'5 TEUs/h por grúa, teniendo disponibilidad de 2 grúas por buque y un factor de TEU/FEU en la terminal actual de 1'5.

Además, se considera que de la terminal opera 360 días (en los puertos de la APV se cierra en 5 festividades fijas: 1 de enero, 19 de marzo, 1 de mayo, 16 de julio y 25 de diciembre), 24 horas, por tanto 8640 horas al año.

- **Resumen**

En conclusión, la siguiente tabla enumera los resultados de aplicar el valor cada factor a la fórmula:

Capacidad anual por línea de atraque		$C_{LA} = n * \phi * t_{año} * P$	
Descripción	Símbolo		Valor
Número de atraques	n	ud	2
Tasa de Ocupación	ϕ	coef	0,36
Tiempo	$t_{año}$	h	8640
Productividad por buque	P	TEUs/h	45
Capacidad anual por LA	C_{LA}	TEUs/año	373248

Tabla 3. Capacidad anual por línea de ataque.

Fuente: Elaboración propia

VI.4.2. Capacidad de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento de una terminal portuaria se puede calcular por dos caminos, en función del dato que se quiere obtener:

En función de un tráfico, qué superficie se necesita para atenderlo.

En función de la superficie disponible, qué tráfico se puede atender.

En nuestro caso, el componente más limitante es la superficie de almacenamiento disponible, que se trata de 61.577 m². Con este dato estudiaremos si es posible atender a la capacidad por línea de atraque obtenida anteriormente.

La fórmula para el cálculo se basa en la ROM 2.1 (González Herrero *et al.*,2006) particularizada para terminales de contenedores:

$$C = N^{\circ}huellasTeu * H * \frac{365}{T_a} * K$$

Donde:

C: Capacidad anual de almacenamiento, los contenedores de transbordo solo contarán una vez.

Nº huellas Teu: Número de huellas o *ground slots* a nivel de suelo para un TEU que tiene la terminal, se considera que un TEU necesita 15 m2.

H: Altura máxima de apilado

T_e: Tiempo medio de estancia del contenedor en la terminal, en la terminal de estudio el promedio es de 7 días (contabilizando contenedores llenos y vacíos).

K: Factor operacional, que minorra la altura máxima, debido a la reducción según condiciones operativas y para evitar excesivas remociones, en función del tipo de maquinaria.

No obstante, se debe tener en cuenta que los orígenes pueden tener distinta naturaleza respecto al tipo de tráfico, por lo que se debe considerar la proporción de tráfico de import/export (O/D) y la de transbordo (TB) para calcular una capacidad de almacenamiento equivalente, en nuestro caso el % de transbordo (TB) es de un 20%:

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

Donde K_{PTB} es un coeficiente:

$$K_{PTB} = \frac{200}{2 * \% \left(\frac{O}{D} \right) + \% (TB)} = \frac{200}{2 * 80 + 20} = 1'11$$

Por otra parte, debemos tener en cuenta que se han determinado tres alternativas para el equipo de almacenamiento. De forma que cada tipo de maquinaria tendrá una densidad superficial distinta, ya que el área de almacenamiento neta sería diferente debido al espacio necesario para circular la maquinaria, es decir, según el tipo de maquinaria se dispondrán de más o menos huellas según el espacio que requiera para desplazarse. Para ello tomaremos datos de la densidad operacional (huellas_teu/hectárea de patio) obtenidos por la Fundación Valenciaport a partir de Google Earth para terminales similares

Densidad Superficial	SC (1, 1 sobre 3)	RTG (6,1 sobre 4)	RMG (9, 1 sobre 4)
Huellas_Teu/Ha	283 Eurogate	300 Trapac LA	372 London Thamesport

Tabla 4. Densidad superficial de almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia

A continuación se refleja los cálculos para obtener la capacidad de almacenamiento:

Los datos de auxiliares para el cálculo obtienen de la tabla 27 del Manual de capacidad portuaria: terminales de contenedores (Monfort *et al*, 2008):

Capacidad anual de almacenamiento		TEUs/año	$C = N^{\circ}huellasTeu \cdot H + \frac{365}{T_a} \cdot K$	
Valor/Tipo de maquinaria	ud	SC (1,1-3)	RTG(6, 1-4)	RMG (9, 1-4)
densidad superficial	TEU/ha	283	300	372
n ^o huellas_teu	ud (teu/15m2)	1743	1848	2292
altura máx apilado (H)	alturas	3	4	4
factor operacional apilado (k)	coef	0,6	0,7	0,7
Terminal				
Superficie Total	ha	10,00		
Superficie Almacenamiento Terminal	ha	6,16		
Factor de almacenamiento neto	coef	0,62		
Tiempo estancia contenedor (ta)	días	6,00		
Capacidad anual de almacenamiento Cp	TEUs/año	190859	314776	390404
Terminal equivalente		$C_{p\ eq\ LA} = K_{PTB} \cdot C_p$	$K_{PTB} = \frac{200}{2 + \% \left(\frac{O}{D}\right) + \% (TB)}$	
Kptb	Coef	1,11		
Capacidad anual eq. (Cp eq La)	Teu año	212066	349751	433782

Tabla 5. Capacidad anual de almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia

VI.4.3. Capacidad de operaciones de recepción y entrega terrestre

La capacidad de las operaciones de recepción y entrega determina las posibilidades de operación en la transferencia de los contenedores entre el sistema de almacenamiento y los medios terrestres (ferrocarril / camión) de la terminal. Saanen (2004) determina la capacidad de las operaciones terrestres en función de los movimientos por hora que son necesarios para satisfacer una capacidad anual limitante de la terminal:

$$C_{RE} = \frac{(1 - \mu) \cdot C_{lim}}{f \cdot u \cdot T}$$

Siendo:

C_{RE} : Capacidad de las operaciones de recepción y entrega o terrestres (movs/h).

μ : Factor de transbordo.

C_{lim} : Capacidad limitante de la terminal (TEUs/año).

f : factor proporción FEU/TEU.

u : factor de utilización de los equipos en picos diarios. Se trata de un factor para determinar el uso de la maquinaria en el pico diario de demanda, se establece que la

necesidad de equipos para cumplir el intervalo de mayor sobrecarga de la terminal es de 0'8 para los equipos de recepción y entrega.

T: número de horas anuales que opera el sistema. (52 semanas, 5 días/sem, 12 horas/día).

Para el cálculo, consideraremos en picos horarios el factor u será un 40%, que además es un valor similar al establecido como valor de coeficiente pico para terminales similares y con una distribución temporal de entradas y salidas correlativo. El resto de datos se han utilizado previamente:

De esta forma podemos tomar dos caminos para la determinación de las necesidades de la terminal:

- A partir de la capacidad que determinemos limitante en la terminal, en nuestro caso la capacidad por línea de atraque, determinar los movimientos por hora necesarios y en consecuencia el nº de equipos requeridos:

Capacidad operaciones terrestre R-E		mov/h	$C_{RE} = \frac{(1 - \mu) * C_{lim}}{f * u * T}$
			Valor
μ factor de transbordo	coef		0,20
C_{lim} capacidad limitante de la terminal	TEUs/año		373248
f factor prop. FEU/TEU	coef		1,50
u: facto utilización equipos en pico diario	coef		0,80
T horas anuales de operación	h		3744
C_{R-E}	mov/h		67

Tabla 6. Capacidad operaciones de recepción y entrega.

Fuente: Elaboración propia

- Determinar el nº de equipos disponibles y establecer una producción bruta por hora, calculando la capacidad límite anual de la terminal, se han determinado la posibilidad de tener trabajando 10 SCs, 5 RTGs o 4 RMGs simultáneamente en función del ancho del patio de almacenamiento:

$$C_{lim r-e} = \frac{C_{RE} * f * u * T}{(1 - \mu)}$$

- **Conclusión:**

En primer lugar, para poder dar salida y entrada en el sistema a los contenedores que puede soportar el subsistema de carga y descarga de buques necesitarían poder realizar 67 mov/hora en el sistema de recepción y entrega. Esta cifra es inferior al rendimiento que se podría alcanzar con el mayor número de equipos que se podrían instalar en la terminal en función del espacio disponible. Además, superan la capacidad de la línea de atraque de la terminal.

Capacidad de Lim R/E		Autostrad (SC)	AutoRTG	ASC (RMG)
μ factor de transbordo	coef	0,20	0,20	0,20
Clim r-e	TEUs/año	561600	561600	561600
f factor prop. FEU/TEU	coef	1,50	1,50	1,50
u : facto utilización equipos en pico diario	coef	0,8	0,8	0,8
T horas anuales de operación	h	3744	3744	3744
C_{RE}	mov/h	100	120	125
Clim r-e	TEUs/año	561600	561600	561600

Tabla 7. Capacidad limitante de operaciones de recepción y entrega Fuente: Elaboración propia

VI.4.4. Capacidad limitante de la terminal

La capacidad limitante de la terminal será la menor de las capacidades máximas de cada subsistema que se ha establecido, es decir será la capacidad máxima del subsistema que sea el cuello de botella de la terminal y que trabajará a su capacidad total.

En función de las distintas configuraciones será diferente y podrá variar la localización del cuello de botella de la terminal. En la siguiente tabla se ilustran los distintos

Capacidad limitante de la terminal	Autostrad (SC)	AutoRTG	ASC (RMG)
C la anual	373248	373248	373248
C alm anual	212066	349751	433782
C re anual	561600	673920	702000
C limitante anual	212066	349751	373248

Tabla 8. Capacidad limitante de la terminal

Fuente: Elaboración propia

resultados:

A la vista de los resultados anteriores se pueden obtener varias conclusiones:

En primer lugar, la alternativa que permite mayor capacidad es la configuración con grúas de patio sobre raíles (ASC-RMG), siendo significativamente mayor que la opción de usar Autostrads y algo superior al de Autortgs. Además, es la única alternativa que permite amortizar por completo la capacidad de la línea de atraque y por ello maximizar el rendimiento de las grúas de muelle, que por su coste suele el equipo que se busca amortizar lo máximo posible y es el cuello de botella tradicional que se busca en una TPC.

VI.4.5. Requisitos de equipamiento del sistema

Una vez que se determina la capacidad anual limitante de la terminal, se puede establecer una estimación de los equipos necesarios que se necesitan para las operaciones de la terminal. Se debe considerar que además de las necesidades operativas, se debe tener una reserva de equipos para sustituir a las máquinas

averiadas, también se suele seguir una rotación cuando no se opera a máxima capacidad para que el uso de los equipos y el desgaste sea equitativo.

En lo que se refiere al transporte horizontal, se considera que exclusivamente para esta operación los rendimientos de shuttle carriers o AGVs con *decoupling* es la misma (5 movs/hora), además se establecerá un número de equipos para esta tarea en la alternativa 1 (patio de SCs) a pesar de que estos equipos cubren diversas funciones.

- **Equipos de carga y descarga de patio**

Productividad equipo de patio (bruto)	Autostrad (SC)	AutoRTG	ASC (RMG)
Prod Ops. Marítima	10	20	25
Prod. Ops. R/E	15	20	25
Prod. Grúa Muelle mov/h*nº grúas	120	120	120
Prod R/E mov/h	75,5	120	125
Equipos requeridos OM	12	6	5
Equipos requeridos R/E	3	4	3
Total equipos de patio	15	10	6

Tabla 9. Equipos de patio necesarios.

Fuente: Elaboración propia

- **Equipos de interconexión**

Productividad Equipos Interconexión	Autostrad SC	AutoRTGs	ASC (RMG)
Tipo	SC	AGV	AGV
Productividad bruta movs/h	5	5	5
Prod. Ops marítima	11	18	19
Equipos requeridos de interconexión/Grúa	3	4	4

Tabla 10. Equipos de interconexión necesarios.

Fuente: Elaboración propia

- **Puertas**

En lo que se refiere a las puertas de la terminal, se necesitan los suficientes carriles de entrada y salida para que puedan acceder el número de vehículos por hora en función de las operaciones. En lo que respecta a esta operación, el tiempo medio que se invierte en la terminal es de 60 segundos, además, se permiten realizar más de una operación a la vez (se permite cargar y descargar sin tener que salir de terminal), con un ratio de 1'5

Configuración Puerta	Prod. Max.	Autostrad (SC)	AutoRTG	ASC (RMG)
Movimientos R-E	130,00	100,00	120,00	125,00
Factor de entrada	1,50			
Prod mov/h*puerta	60,00	2,17	1,67	2,08
nº Puertas	3	2	2	3

Tabla 11. Configuración de las puertas de la terminal.

Fuente: Elaboración propia

camiones con 2 movimientos por cada camión que realiza

Por lo que la terminal requiere de 2 puertas de acceso aproximadamente, si bien es recomendable la previsión de otra puerta de entrada, ya que la alternativa de ASC es algo superior y se tiene un resguardo para el caso de averías o de aumento del tráfico de la terminal.

VI.5. Propuesta de diseño operacional

A la vista de los resultados del apartado anterior, se puede establecer que la alternativa más viable y efectiva es la configuración de un patio operado con ASCs sobre raíles y ALVs para el transporte horizontal. Sin embargo, se debe tener en cuenta todas las necesidades para la operación de la terminal como puede ser el espacio para almacenes para repuestos y mantenimiento, superficie viaria complementaria, superficie para el puesto de control de explotación y superficie para aparcamiento o acceso a las instalaciones del personal. Por ello, los cálculos anteriores son estimativos para obtener una decisión y a continuación se determinará las características reales de la terminal.

Características nueva terminal		
Tipología línea de muelle	Grúa Portainer STS	
Número de atraques	2,00	ud
Tasa de Ocupación	0,36	Coef.
Productividad por buque	60,00	mov/h
Capacidad anual por línea de atraque	373248	Teu/año
Tipología Patio	RMG (10 ancho, 1 sobre 4)	
nºhuellas	1992	ud
altura máx apilado (H)	4	ud
factor operacional apilado (k)	0,7	Coef.
Capacidad anual operacional de almacenamiento	377004,00	Teu/año
Productividad necesaria de R-E	66,46	mov/h
Capacidad anual R-E	561600,00	Teu/año
Capacidad limitante de la terminal	373248,00	
Nº puertas	3,00	ud
Equipos de interconexión	Lift-AGV	
Prod. unitaria equipos de interconexión	10	mov/h
Nº equipos de interconexión	12	ud

Tabla 12. Características técnicas de la nueva alternativa.

Fuente: Elaboración propia

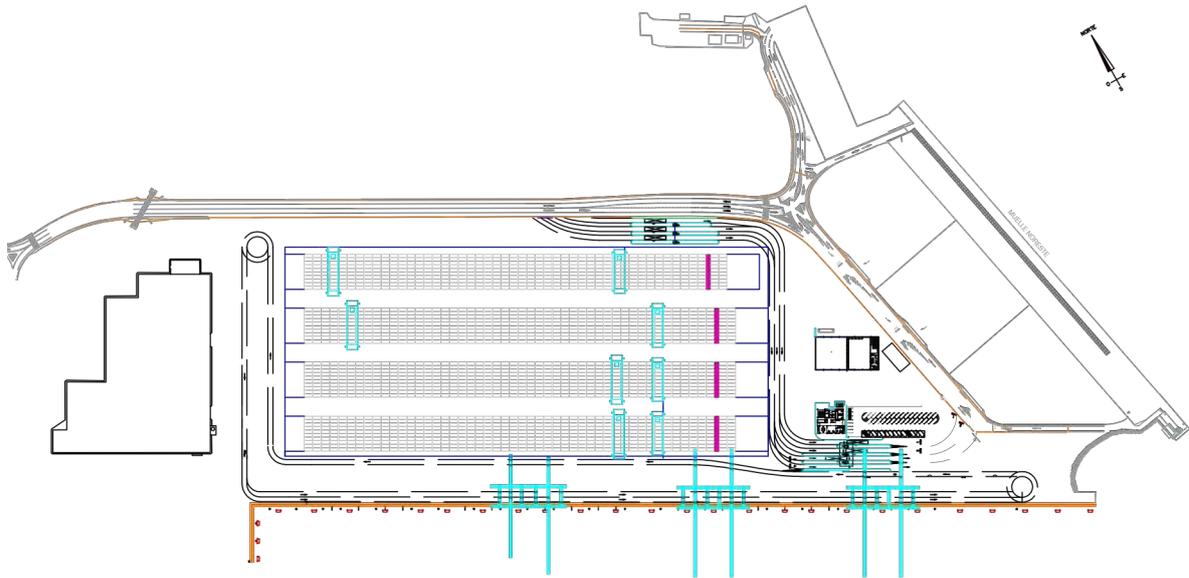


Figura 39. Nueva configuración de la terminal

Fuente: Elaboración propia

Tal y como se ha estudiado con capítulos anteriores, la combinación más recomendable es la utilización de RMGs paralelas a la línea del muelle, debido a la necesidad de los distintos subsistemas y en especial para satisfacer las posibilidades de la línea de atraque se han establecido 8 ASC con sistema de *crossover*. De esta forma en cada bloque hay dos RMGs con distinto tamaño de forma que pueda trabajar simultáneamente en todo el bloque y se pueda cubrir los picos de trabajo tanto en OM como en R/E.

En cuanto al subsistema de carga y descarga de buques, se han mantenido el tipo y tamaño de grúas, ya que con las grúas *Portainer STS Post-Panamax* se puede atender óptimamente al rango de tamaños de buque que se esperan en la terminal. Este subsistema podría tener mejoras en cuanto al control de las grúas a distancia, de forma que se pudiese aumentar la velocidad operativa al tener menores limitaciones de cara a la seguridad.

El transporte horizontal de contenedores entre el patio y el muelle se realizará por medio de *lift-AGVs*, en uno de los extremos del bloque con tráfico segregado y depositando los contenedores en *cassettes* para poder desacoplar la operativa. En el otro extremo las propias grúas de patio depositan los contenedores de recepción y entrega en los camiones, en una zona dispuesta para la maniobra. Además, se ha segregado las puertas de entrada y salida, de forma que solo se tenga un sentido dentro de la terminal para disponer de mayor espacio para el resto de operaciones.

Además, se ha dispuesto de un espacio complementario en la zona reservada para una ampliación ferroviaria.

VII. Estudio económico de explotación

El objetivo de este capítulo es determinar una estimación de los costes de implementación y explotación de la terminal automatizada, en comparación con los costes que se obtendrían en la terminal con el mismo nivel de tráfico, pero operando de forma tradicional.

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

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

El objetivo del estudio es doble, por un lado, comparar el coste unitario del paso del contenedor por terminal en función de la alternativa de terminal convencional y la automatizada, y analizar las diferencias que se encuentre. Segundo, poder establecer la viabilidad de realizar una inversión para automatizar la terminal.

VII.1. Metodología de cálculo

Para realizar el cálculo económico, determinaremos el coste de manipulación del contenedor por la terminal. En primer lugar, partiremos de la premisa de que las dos alternativas tienen la misma capacidad, además se les imputará un coste inicial igual debido a las instalaciones y obras ya realizadas, el coste de inversión en la terminal es aproximadamente de 25 millones de €, si bien la alternativa de automatización requiere de otros costes para las nuevas instalaciones que se deben computar.

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

Costes directos

- Costes de personal estibador.
- Coste de maquinaria, amortización.
- Consumo energético de maquinaria.
- Coste de mantenimiento.
- Tasas de actividad de estiba (1,30 €/unidad) y ocupación (0'65 €/ Tm, media por contenedor de 15 Tm).

Costes indirectos

- Costes de instalaciones e infraestructura.

- Personal indirecto de la terminal.
- Déficit de amortización de equipos (si los hubiese).
- Consumo energético general.
- Gastos financieros.
- Gastos generales.
- Costes de los sistemas de hardware y software operativo de la terminal (TOS).
- Costes de seguros.
- Canon de ocupación

En cuanto a las fuentes de la información, se han usado las bases de precios del PREOC y del Port de Barcelona, así como las tasas publicadas por la Autoridad Portuaria de Valencia y otros estudios de misma índole que el actualmente estamos tratando.

VII.2. Desglose de costes asociados a la terminal

VII.2.1. Obras e infraestructura de la terminal

Tal y como se ha comentado con anterioridad, la alternativa de terminal convencional se encuentra ya elaborada y el coste de construcción fue de 25 millones €:

Instalaciones y obras convencional				
	Unidades	Coste unitario	Medición	Coste total
Inversión inicial	Ud	25000000	1	25000000
Subtotal	Ud			25000000
Coste total				25.000.000 €

Tabla 13. Coste de instalaciones y obras terminal convencional. Fuente: Elaboración propia

En cambio, la terminal automatizada requiere la reconfiguración del patio, construcción de raíles para ASC y su correspondiente instalación eléctrica, carriles auxiliares, adaptaciones de estaciones *reefer*, etc:

Instalaciones y obras automatizada				
	Unidades	Coste unitario	Medición	Coste total
Inversión inicial	Ud	25000000	1	25000000
Carril ASC	m	1500	1160	1740000
Sistemas reefer	u	2500000	4	10000000
Carril auxiliar	m	350	640	224000
Cableado	m	50	1400	70000
Puertas	Ud	150000	3	450000
Subestación eléctrica	Ud	1500000	1	1500000
Oficina	Ud	800000	1	800000
Software y TOS	Ud	500.000	1	500000
Taller	Ud	1000000	1	1000000
Subtotal	Ud	150000	3	41284000
Contingencias	%	0,25		10321000
Coste total				51.605.000 €

Tabla 14. Costes de instalaciones y obras terminal automatizada Fuente: Elaboración propia

VII.2.2. Coste de personal de estiba

Los costes de manipulación de mercancías por parte del personal de las sociedades de estibadores impactan de forma crucial sobre el coste del paso del contenedor por terminal. Cabe destacar que las diferencias entre el personal que se debe contratar para las llamadas “manos” de estiba debido a los acuerdos que se establecen con este colectivo es significativamente mayor al que sería necesario para funcionar en condiciones óptimas en una terminal semiautomática. A continuación, se desglosa las distintas especialidades que se han establecido en el Puerto de Sagunto para la operativa de carga/descarga de contenedores de buque y para la realización de las tareas de recepción y entrega:

Mano convencional de estiba				
	Unidades	Coste unitario	Medición	Coste total
Capataz	Ud	350	1	350
Grua Portainer I	Ud	350	1	350
Grua Portainer II	Ud	350	1	350
Clasificador informática	Ud	350	1	350
Clasificador campa	Ud	350	1	350
Carretilla	Ud	350	1	350
Mafi	Ud	350	3	1050
Estibador	Ud	350	2	700
Trincador	Ud	350	2	700
Subtotal	Jornada 6h	3150	13	4550
Capataz general	%	375	0,25	93,75
Coste total	Jornada 6h			4.644 €

Tabla 16. Costes de mano de caga/descarga de personal de estiba convencional. Fuente: Elaboracion propia

Mano recepción y entrega convencional				
	Unidades	Coste unitario	Medición	Coste total
Carretilla	ud	350	1	350
Clasificador campa	%		0,25	87,5
Coste total	€			437,5

Tabla 15. Costes de mano de r/e de personal de estiba convencional. Fuente: Elaboración propia

El coste del capataz general de la operativa marítima se ha imputado un porcentaje entre las cuatro manos que pueden trabajar simultáneamente y que para el cálculo de la capacidad máxima sería el conveniente. También, cabe destacar que no se han tenido en cuenta las horas de remate u “overtime” para el cálculo de los costes que acarrearán a lo largo de todo un año, por lo que el coste por contenedor manipulado de la mano será en ocasiones mayor al descrito.

En lo que se refiere a la mano automatizada, en primer lugar, se eliminan todas las especialidades de mafistas y carretilleros al ser tareas automatizadas, además, al simplificarse la operativa se puede precisar de un solo oficial clasificador, que además cubriría el papel de capataz, además la mano de recepción y entrega desaparece:

Mano automatizada				
	Unidades	Coste unitario	Medición	Coste total
Grua Portainer I	Ud	350	1	350
Grua Portainer II	Ud	350	1	350
Estibador	Ud	350	2	700
Trincador	Ud	350	2	700
Clasificador /Capataz	Ud	350	1	350
Subtotal	Jornada 6h	1750	7	2450
Coste total	Jornada 6h			2.450 €

Tabla 17. Costes de mano de personal de estiba automatizada. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el coste es casi de la mitad que la suma de las dos manos convencionales que se requieren en una terminal, por lo que influirá de forma crucial a los costes de una terminal.

VII.2.3. Maquinaria de manipulación

En lo referente a la maquinaria de manipulación empleada para una terminal, distinguiremos tres conceptos: el del coste de adquisición y amortización, que se repartirá a lo largo de la vida útil de esta; el coste de consumo energético, bien sea combustibles fósiles o energía eléctrica, se considerara el consumo para las horas requeridas para alcanzar la capacidad máxima de manipulación anual de la terminal; el coste de mantenimiento, que se realizará una aproximación al coste anual, si bien se podría calcular también a razón de las horas de mano de obra y repuestos.

Se observa que se cumplen las expectativas y la maquinaria para la terminal automatizada es superior a la de una terminal convencional, principalmente el coses de los *lift*-AGV es superior al de los equipos tradicionales de cabeza tractora y plataforma.

Coste de adquisición Maquinaria convencional					
	Unidades	Coste unitario	Amortización	Medición	Coste total
STS Portainer Post-Panamax	Ud	4.000.000	20	6	24.000.000
Grúa RTG	Ud	1.200.000	20	12	14.400.000
Tractora Mafi	Ud	80.000	10	24	1.920.000
Plataforma	Ud	20000	6	30	600.000
<i>Reach-stacker</i>	Ud	350000	8	2	700.000
Containera vacíos	Ud	250000	8	2	500.000
Vehículo turismo servicio	Ud	15.000	10	3	45.000
Vehículo furgoneta servicio	Ud	28.000	10	3	84.000
Subtotal					42.249.000
Contingencias	%	0,2		1	8.449.800
Total					50.698.800 €

Tabla 18. Costes de adquisición maquinaria terminal convencional. Fuente: Elaboración propia

Coste adquisición Maquinaria automatizada					
	Unidades	Coste unitario	Amortización	Medición	Coste total
STS Portainer Post-Panamax	Ud	4.000.000	20	6	24.000.000
Grúa RMG-ASC	Ud	2.500.000	20	10	25.000.000
Lift-AGV	Ud	400.000	10	15	6.000.000
Reach-stacker	Ud	350000	8	2	700.000
Containera vacíos	Ud	250000	8	2	500.000
Vehículo turismo servicio	Ud	15.000	10	3	45.000
Vehículo furgoneta servicio	Ud	28.000	10	3	84.000
Subtotal					56.329.000
Contingencias	%	0,2		1	11.265.800
Total					67.594.800 €

Tabla 19. Costes de adquisición maquinaria terminal automatizada.

Fuente: Elaboración propia

Las diferencias principales en cuanto al consumo energético se explican debido a que los equipos con los que se trabajan en la actualidad requieren de combustibles fósiles, exceptuando las grúas STS, por lo que la eficiencia de estas fuentes de energía es inferior que el de los mismos equipos funcionando con fuentes eléctricas, su mejora requeriría de una fuerte inversión en mejoras.

Gasto energético Maquinaria convencional por hora						
	Unidades	Coste unitario	Medición	Coste /ud	nº equipos	Coste total €/h
STS Portainer Post-Panamax	/h	0,12	145	17	6	104,4
Grúa RTG	/h	0,70	15	11	12	126
Tractora Mafi	/h	0,70	7,5	5	24	126
Plataforma	/h	0,00	0	0	30	0
Reach-stacker	/h	0,70	7	5	2	9,8
Containera vacíos	/h	0,40	7	3	2	5,6
Vehículo turismo servicio	/h	0,10	1	0	3	0,3
Vehículo furgoneta servicio	/h	0,10	1	0	3	0,3
Subtotal				41		372
Contingencias	%	0,2	1	8		74
Total	€/h			49		446,88

Tabla 20. Gasto energético horario de maquinaria terminal convencional.

Fuente: Elaboración propia

Gasto energético Maquinaria automatizada por hora						
	Unidades	Coste unitario/h	Medición	Coste total	nº equipos	Coste total €/h
STS Portainer Post-Panamax	Ud	0,12	145	17,40	6	104,4
Grúa RMG-ASC	Ud	0,10	75	7,50	12	90
Lift-AGV	Ud	0,10	15	1,50	15	22,5
Reach-stacker	Ud	0,70	7	4,90	2	9,8
Containera vacíos	Ud	0,40	7	2,80	2	5,6
Vehículo turismo servicio	Ud	0,10	1	0,10	3	0,3
Vehículo furgoneta servicio	Ud	0,10	1	0,10	3	0,3
Subtotal				34,30		233
Contingencias	%	0,20	1	6,86		47
Total	€/h			41		279,48

Tabla 21. Gasto energético horario de maquinaria terminal automatizada. Fuente: Elaboración propia

Por último, los costes de mantenimiento son superiores en la terminal automatizada, siendo determinante los costes de los *lift-AGV*:

Mantenimiento Maquinaria Convencional						
	Unidades	Coste adquisición	Medición	Coste total adquisición	Mantenimiento	Total coste mantenimiento
STS Portainer Post-Panamax	Ud	4.000.000	6	24.000.000	0,03	720.000
Grúa RTG	Ud	1.200.000	12	14.400.000	0,04	576.000
Tractora Mafi	Ud	80.000	24	1.920.000	0,08	153.600
Plataforma	Ud	20.000	30	600.000	0,01	6.000
Reach-stacker	Ud	350.000	2	700.000	0,06	42.000
Containera vacíos	Ud	250.000	2	500.000	0,06	30.000
Vehículo turismo servicio	Ud	15.000	3	45.000	0,02	900
Vehículo furgoneta servicio	Ud	28.000	3	84.000	0,02	1.680
Subtotal						1.530.180
Contingencias	%	0,2	1			306.036
Total	€/año					1.836.216

Tabla 22. Costes de mantenimiento de maquinaria terminal convencional. Fuente: Elaboración propia

Mantenimiento Maquinaria Automatizada						
	Unidades	Coste adquisición	Medición	Coste total adquisición	Mantenimiento	Total coste mantenimiento
STS Portainer Post-Panamax	Ud	4.000.000	6	24.000.000	0,03	720000
Grúa RMG-ASC	Ud	2.500.000	10	25.000.000	0,03	750000
Lift-AGV	Ud	400.000	15	6.000.000	0,05	300000
Reach-stacker	Ud	350000	2	700.000	0,06	42000
Contenera vacíos	Ud	250000	2	500.000	0,06	30000
Vehículo turismo servicio	Ud	15.000	3	45.000	0,05	2250
Vehículo furgoneta servicio	Ud	28.000	3	84.000	0,05	4200
Subtotal						1.848.450
Contingencias	%	0,2	1			369690
Total	€/año					2.218.140

Tabla 23. Costes de mantenimiento de maquinaria terminal automatizada. Fuente: Elaboración propia

VII.2.4. Costes generales

Los costes generales de la terminal se pueden dividir entre el coste del personal general de la terminal y los costes asociados al funcionamiento general de la terminal que no influye de forma directa a la actividad.

El personal de una terminal automatizada suele ser mayor que en una terminal convencional debido a que se deben controlar un mayor número de procesos informatizados, por lo que se reduce en manipuladores y se crece en personal operativo de la terminal

En referencia a los costes generales, podemos considerar los costes de mantenimientos de oficina e instalaciones, sus consumos energéticos, los gastos financieros de la terminal y los seguros pertinentes, y cualquier servicio de la terminal que se tenga que contratar como puede ser el soporte informático y de facturación.

Coste personal anual €/año	Coste personal anual €/año	
	Convencional	Automatizada
Personal fijo terminal	600000	900000
Personal mantenimiento	600000	900000
Total	1.200.000	1.800.000

Tabla 24. Costes de personal general por año.

Fuente: Elaboración propia

Costes generales convencional	€/año
Servicios externos	100.000
Mantenimiento general instalaciones	75.000
Comunicaciones	50.000
Mobiliarios	10.000
Dietas y desplazamientos	10.000
Mantenimiento oficina	20.000
Material oficina	100.000
Soporte TOS	50.000
Seguros generales	200.000
Total	615.000 €

Tabla 26. Costes generales terminal convencional.

Fuente: Elaboración propia

Costes generales automatizada	€/año
Servicios externos	150.000
Mantenimiento general instalaciones	75.000
Comunicaciones	50.000
Mobiliarios	10.000
Diestas y desplazamientos	10.000
Mantenimiento oficina	20.000
Material oficina	100.000
Soporte TOS	75.000
Seguros generales	200.000
Total	690.000 €

Tabla 25. Costes generales terminal automatizada.

Fuente: Elaboración propia

VII.3. Costes asociados a las operaciones del contenedor en terminal

Con el fin de poder comparar los costes de ambas alternativas se ha realizado el reparto unitario de los costes asociados a la terminal anualmente en función del tráfico máximo esperado, de forma que se puede obtener una idea aproximada del coste global que supone el paso del contenedor por la terminal y se pueda cuantificar un margen respecto a los precios máximo ofertados por el puerto.

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

VII.3.1. Terminal convencional

El coste principal del paso de un contenedor por la terminal es el coste de la mano estibadora, que suponen un 54% de los costes, podemos establecer que esta aproximación se ajusta a otros estudios (51%, Dobner *et al*, 2001):

Coste directos	€/TEU	%
Mano estiba	39,4 €	48%
Maquinaria	7,6 €	9%
Consumo energético	13,0 €	16%
Mantenimiento	4,9 €	6%
Tasas actividad	10,3 €	13%
Subtotal	75,32	92,64%
Costes indirectos		
Costes Generales	1,7 €	2%
Coste personal general	1,6 €	2%
Infraestructura	2,7 €	3%
Subtotal	5,99	7,36%
Total	81,31	

Tabla 27. Reparto de costes por TEU terminal convencional.

Fuente: Elaboración propia

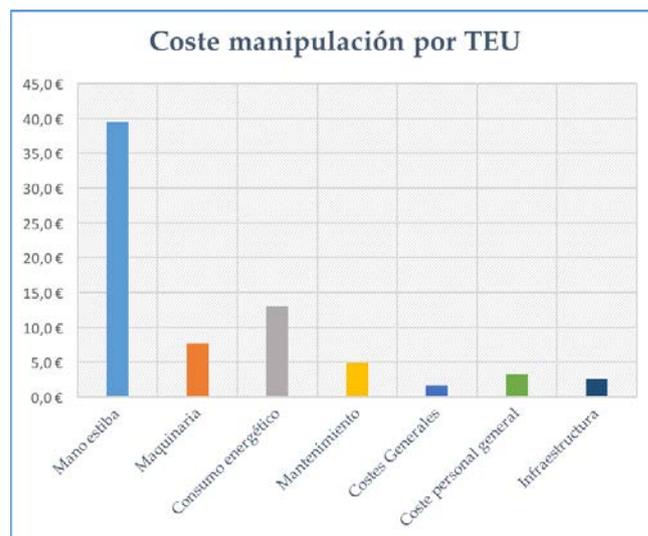
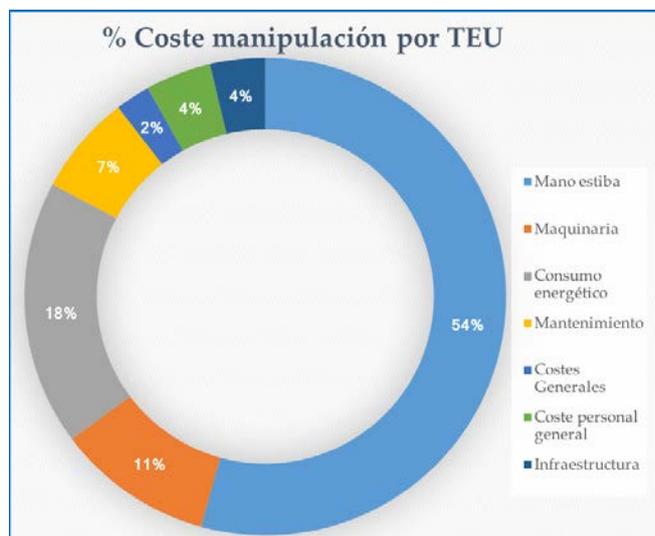


Gráfico 2. Análisis costes por TEU terminal convencional.

Fuente: Elaboración propia

VII.3.2. Terminal automatizada

En este caso los costes se reducen, en especial el coste de la mano de estiba, al haberse reducido el número operarios, de forma que además, se reduce su porcentaje en el coste. También cabe destacar que el coste de la maquinaria crece significativamente y el resto de costes directos que no son la mano de estiba aumentan su peso en el coste global. Todo ello son consecuencias del encarecimiento de los equipos y del aumento de necesidades de mantenimiento. En adición, los costes indirectos son mayores en consecuencia al aumento de los costes de implantación y a los servicios de apoyo a la operativa que se requiere.

Coste directos	€/TEU	%
Mano estiba	20,4 €	30%
Maquinaria	10,3 €	15%
Consumo energético	11,5 €	17%
Mantenimiento	5,9 €	9%
Tasas actividad	10,3 €	15%
Subtotal	58,44	85,58%
Costes indirectos		
Costes Generales	1,9 €	3%
Coste personal general	2,4 €	4%
Infraestructura	5,5 €	8%
Subtotal	9,84	14,42%
Total	68,28	

Tabla 28. Reparto de costes por TEU terminal automatizada.

Fuente: Elaboración propia

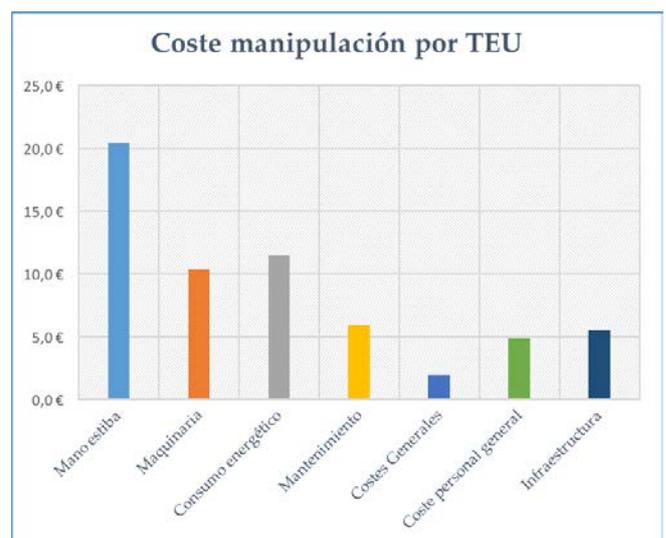
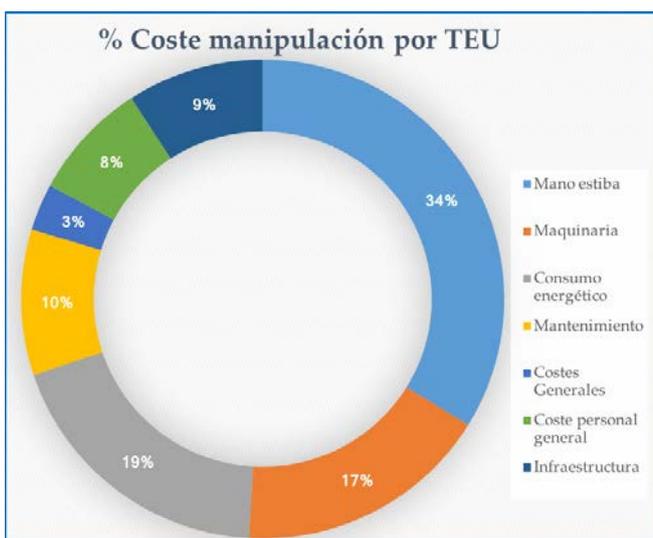


Gráfico 3. Análisis costes por TEU terminal automatizada.

Fuente: Elaboración propia

VII.3.3. Conclusiones

En primer lugar, debemos especificar que se van a comparar los costes de ambas alternativas y estimaremos un cálculo de ingresos por contenedor en función de la capacidad máxima de tráfico de la terminal. Para ello hemos estimado un coste medio por TEU de 88'76 € que viene establecido por los precios máximos de manipulación en terminales de contenedores publicados por la APV y por un estudio del Benchmark en terminales de contenedores realizado por Saanen, Dobner y Rijsenbrij (2001) aplicándoles un coeficiente de inflación.

	Por TEU	Anual	Ingreso/TEU	Ingresos anual	Margen/TEU	Margen anual
Total Automatizada	60,40	22.542.332	88,76	33.130.486	28,37 €	10.588.154 €
Total Convencional	72,61	27.102.930	88,76	33.130.486	16,15 €	6.027.556 €
Diferencia Auto-Conv	-12,22	-4.560.599			12,22 €	4.560.599 €

Tabla 29. Resumen comparación de costes por TEU.

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia una diferencia considerable entre los costes del personal de estibadores portuarios entre las dos alternativas que supone casi 20€ de diferencia por TEU, de forma que el coste de la automatizada es muy favorable pese a tener mayores costes en el resto de aspectos. En el global, el ahorro en la alternativa automatizada es algo superior a los 12€, que con los tráficos máximos que hemos establecido como posibles en la terminal provocaría un beneficio mayor a 4'5 millones de €. Por lo que debido a ser favorable la alternativa de automatización, se debería estudiar la rentabilidad de la inversión en función de una estimación de tráfico en el período de la concesión.

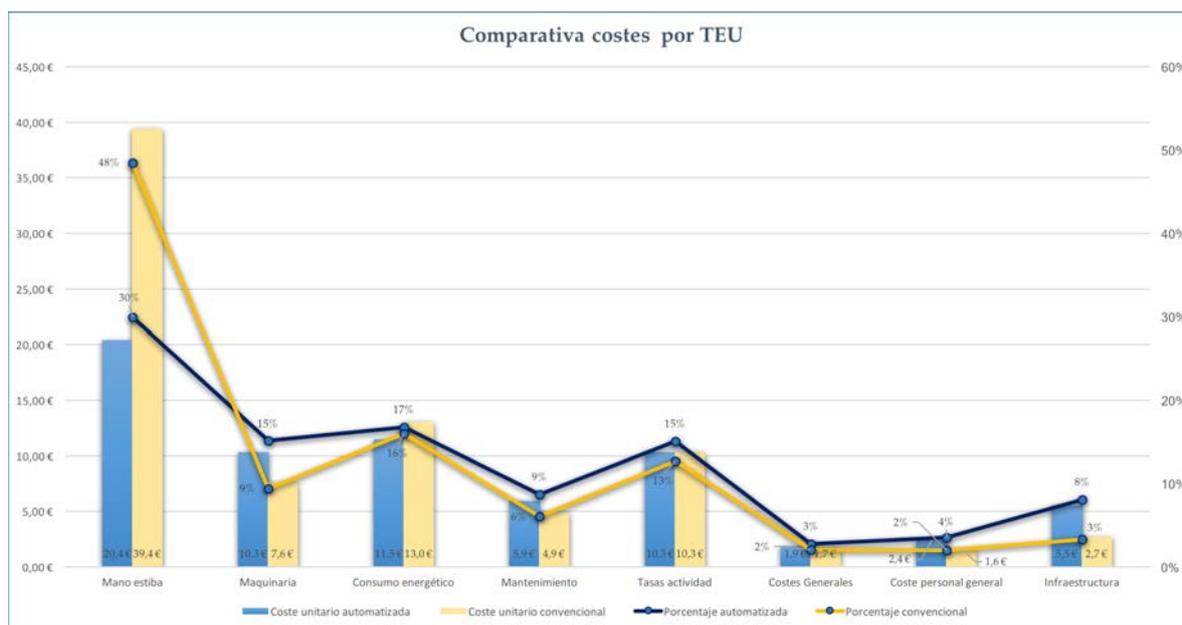


Gráfico 4. Comparación de costes de alternativas.

Fuente: Elaboración propia

VII.4. Análisis de viabilidad de inversión

En este capítulo analizaremos la viabilidad de la inversión en la automatización de la terminal. Para ello, tomaremos los costes calculados en el apartado anterior, y realizaremos una estimación de los ingresos obtenidos en cada año en función de una aproximación de la evolución del tráfico hasta conseguir el tráfico máximo de la terminal, y determinaremos si la inversión inicial y el retorno de esta es viable.

En el siguiente gráfico se pueden observar las previsiones de tráfico que se han estimado, con el crecimiento relativo anual hasta alcanzar el objetivo de maximizar la capacidad limitante de la terminal, con estos datos determinaremos los ingresos totales por tráfico, basándonos en el precio por las operaciones de manipulación (C/D y R/E) y las ocupaciones.

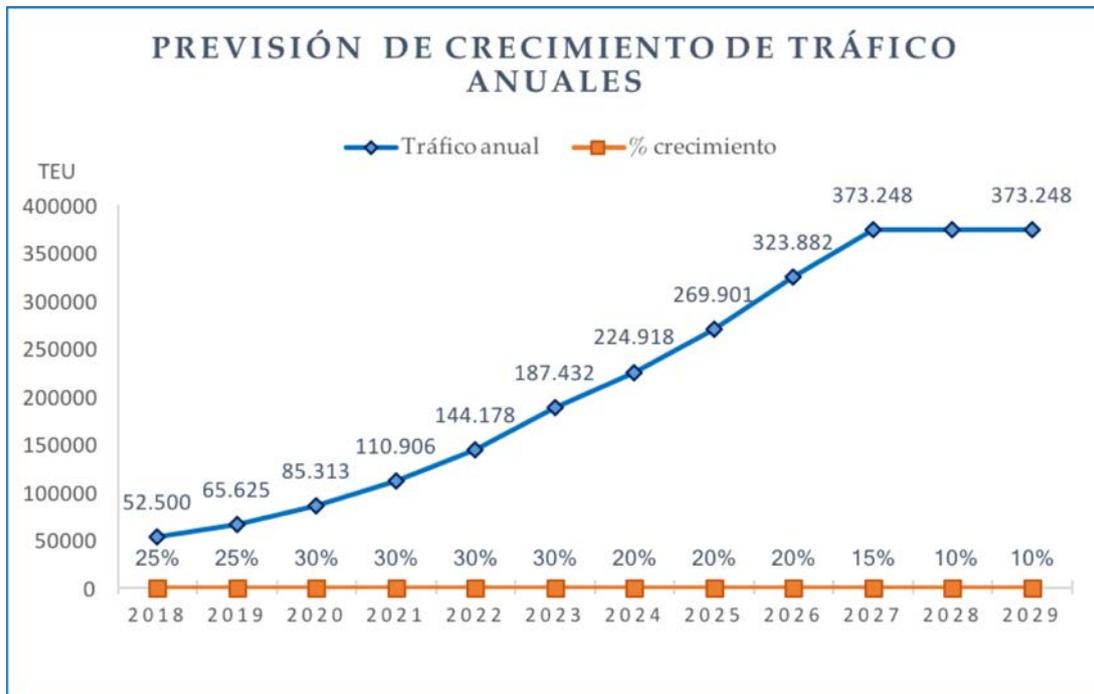


Gráfico 5. Previsiones de crecimiento de tráfico anuales.

Fuente: Elaboración propia

Con esta previsión de tráfico podemos realizar una facturación esperada aproximada, para ello determinaremos las tarifas de transbordo, carga y descarga del buque, r/e y ocupaciones (t de estancia media igual a 7 días). Para ello, tomaremos las tarifas máximas estipuladas por la APV para cada terminal como se ilustra en la siguiente tabla:

Tarifas	OM	OM	OT r/e	Ocupaciones
	Transbordo	Import/Export		
20' Lleno	64,5 €	66,5 €	37 €	1 €
20' Vacío	55,5 €	75,5 €	28 €	1 €
40' Lleno	90,0 €	99,5 €	46 €	1 €
40' Vacío	71,5 €	80,0 €	36 €	1 €

Tabla 30. Estimación de tarifas de la terminal

Fuente: Elaboración propia a partir de APV

De esta forma calculamos la facturación de cada año, multiplicando por un coeficiente de inflación del 2'5% por año:

Año	TEU/año	Cont/año	40'	20'	OM Tb	OM I/E	R/E	Storages	Inflación	Total OM TB	Total OM I/E	Total R/E	Total facturación
2019	65625	43750	29167	14583	6563	37188	37188	37.188	1,025	506.959	3.220.902	1.491.653	5.256.701
2020	85313	56875	37917	18958	8531	48344	48344	48.344	1,051	675.522	4.187.173	1.939.148	6.850.188
2021	110906	73938	49292	24646	11091	62847	62847	62.847	1,077	900.133	5.443.325	2.520.893	8.927.198
2022	144178	96119	64079	32040	14418	81701	81701	81.701	1,104	1.199.428	7.076.322	3.277.161	11.634.612
2023	187432	124954	83303	41651	18743	106211	106211	106.211	1,131	1.598.238	9.199.219	4.260.309	15.163.977
2024	224918	149945	99964	49982	22492	127453	127453	127.453	1,160	1.965.832	11.039.063	5.112.371	18.244.720
2025	269901	179934	119956	59978	26990	152944	152944	152.944	1,189	2.417.974	13.246.876	6.134.845	21.952.639
2026	323882	215921	143947	71974	32388	183533	183533	183.533	1,218	2.974.108	15.896.251	7.361.814	26.415.705
2027	373248	248832	165888	82944	37325	211507	211507	211.507	1,249	3.513.109	18.319.167	8.483.906	30.527.690
2028	373248	248832	165888	82944	37325	211507	211507	211.507	1,280	3.600.936	18.319.167	8.483.906	30.615.517
2029	373248	248832	165888	82944	37325	211507	211507	211.507	1,312	3.690.960	18.319.167	8.483.906	30.705.541
2030	373248	248832	165888	82944	37325	211507	211507	211.507	1,345	3.783.234	18.319.167	8.483.906	30.797.815
2031	373248	248832	165888	82944	37325	211507	211507	211.507	1,379	3.877.815	18.319.167	8.483.906	30.892.396
2032	373248	248832	165888	82944	37325	211507	211507	211.507	1,413	3.974.760	18.319.167	8.483.906	30.989.341
2033	373248	248832	165888	82944	37325	211507	211507	211.507	1,448	4.074.129	18.319.167	8.483.906	31.088.710
2034	373248	248832	165888	82944	37325	211507	211507	211.507	1,485	4.175.982	18.319.167	8.483.906	31.190.563
2035	373248	248832	165888	82944	37325	211507	211507	211.507	1,522	4.280.382	18.319.167	8.483.906	31.294.963
2036	373248	248832	165888	82944	37325	211507	211507	211.507	1,560	4.387.391	18.319.167	8.483.906	31.401.972
2037	373248	248832	165888	82944	37325	211507	211507	211.507	1,599	4.497.076	18.319.167	8.483.906	31.511.657
2038	373248	248832	165888	82944	37325	211507	211507	211.507	1,639	4.609.503	18.319.167	8.483.906	31.624.084

Tabla 31. Previsión de facturación anual.

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos de facturación y el análisis de costes anterior podemos se puede realizar una aproximación a lo largo del período contabilizando la necesidad de inversión inicial y durante el período, así establecer conjunto con los datos de facturación y los costes anuales generados un flujo de caja, y con ello poder estudiar si la inversión es rentable en el período restante de la concesión (20 años).

Para ello determinaremos el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de rentabilidad (TIR). Estos dos conceptos son indicadores para evaluar la viabilidad de una inversión.

- TIR: La Tasa Interna de Retorno es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.
- VAN: El Valor Actual Neto de un proyecto de inversión es una medida de la rentabilidad absoluta neta que proporciona el proyecto, mide en el momento inicial del mismo el incremento de valor que proporciona a los propietarios en términos absolutos, una vez descontada la inversión inicial.

De este modo, se ha estimado una inversión inicial de 119.199.800 € además de añadir a los flujos de caja anuales los costes de renovación de equipos. En la tabla siguiente se ilustran ambos indicadores calculados y las conclusiones:

DATOS		TIPO DE INTERES				
PERIODOS	FLUJO DE CAJA	0%	1%	5%	9%	10%
0	-119199800	-119199800,00	-119199800,00	-119199800,00	-119199800,00	-119199800,00
1	1059000,976	1059000,98	1048515,82	1008572,36	971560,53	962728,16
2	-406455,9773	-406455,98	-398447,19	-368667,55	-342105,86	-335914,03
3	-1928225,148	-1928225,15	-1871516,33	-1665673,38	-1488943,61	-1448704,09
4	-275322,8838	-275322,88	-264579,88	-226508,82	-195045,67	-188049,23
5	11141974,3	11141974,30	10601206,24	8730028,41	7241518,80	6918289,42
6	4128673,221	4128673,22	3889396,94	3080879,53	2461792,95	2330528,40
7	15385498,24	15385498,24	14350331,99	10934186,35	8416394,41	7895193,32
8	17886688,36	17886688,36	16518056,60	12106414,74	8976725,74	8344272,13
9	23179130,06	23179130,06	21193601,70	14941473,91	10672315,38	9830213,85
10	26793014,14	26793014,14	24255366,17	16448586,48	11317658,72	10329866,80
11	25379168,62	25379168,62	22747950,77	14838674,27	9835261,56	8895243,78
12	28632543,66	28632543,66	25409928,69	15943671,69	10179863,54	9123210,80
13	28672992,73	28672992,73	25193886,32	15205900,23	9352517,97	8305544,65
14	28714453,03	28714453,03	24980510,83	14502750,01	8592698,56	7561412,93
15	28756949,83	28756949,83	24769783,64	13832584,56	7894876,68	6884185,15
16	28800509,06	28800509,06	24561686,49	13193845,04	7253977,38	6267829,90
17	28845157,26	28845157,26	24356201,41	12585046,57	6665342,12	5706860,59
18	28890921,67	28890921,67	24153310,74	12004774,69	6124694,54	5196286,21
19	28937830,19	28937830,19	23952997,10	11451682,05	5628109,04	4731566,47
20	28985911,42	28985911,42	23755243,43	10924485,17	5171981,97	4308571,04

RESULTADOS	VAN	262.380.613	214.003.631	80.272.906	5.531.395	-7.580.664
	TIR	9,41%	8,32%	4,20%	0,37%	-0,54%

RENTABLE RENTABLE RENTABLE RENTABLE NO RENTABLE

Tabla 32. VAN y TIR de la inversión.

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que la inversión es rentable con un tipo de interés de un 9% o inferior. Por lo general, este tipo de inversiones se suelen financiar al 5%, con el que se obtendría un VAN superior a 80 millones de € y un TIR de 4,2 %.

Cabe destacar que para este análisis se ha asumido que la totalidad de la inversión inicial se financia, de modo que si se aporta capital no financiado los resultados serían más positivos.

De todas formas, hasta un interés del 9% la inversión sería viable, si bien poco rentable si no se estudian otras alternativas de financiación. En cualquier caso, a partir del quinto año con un tráfico en torno a 190.000 TEU el flujo de caja se torna positivo.

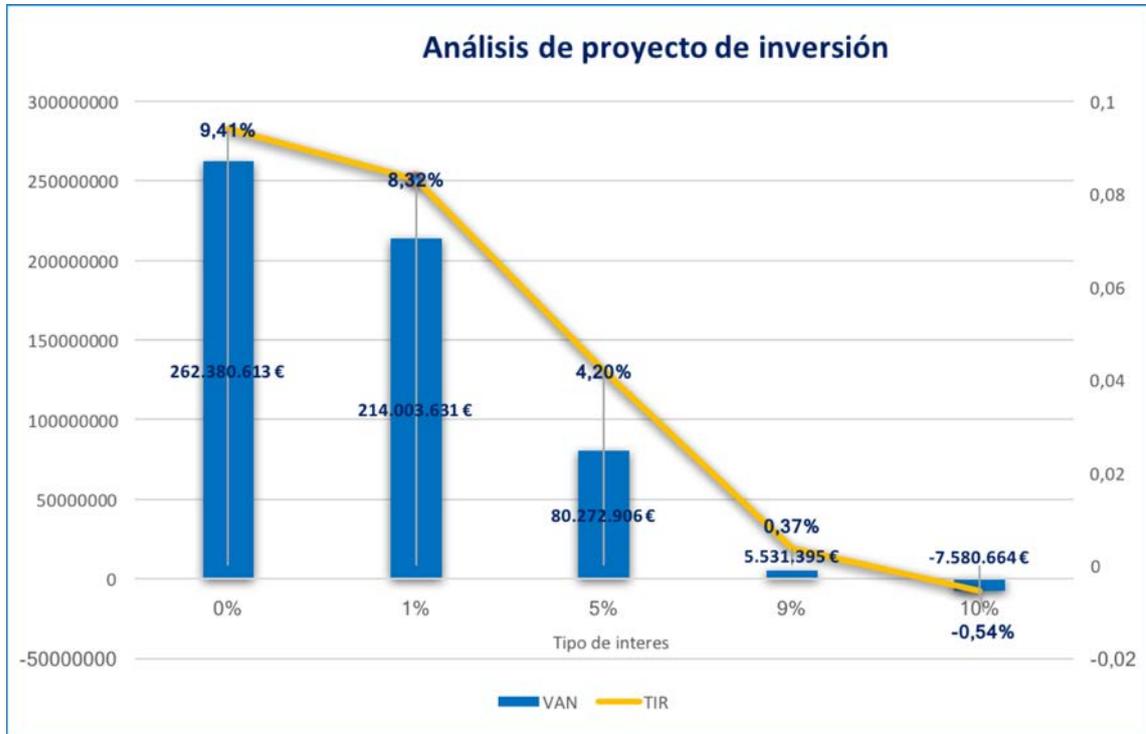


Gráfico 6. VAN y TIR.

Fuente: Elaboración propia

VII.5. Conclusión del estudio económico

Como perspectivas finales del análisis económico podemos concluir que la semi-automatización abarata los costes directos del contenedor, de forma que se obtiene una ventaja decisiva, en especial en referencia a los costes de la mano de estiba que se reducen del peso global casi un tercio.

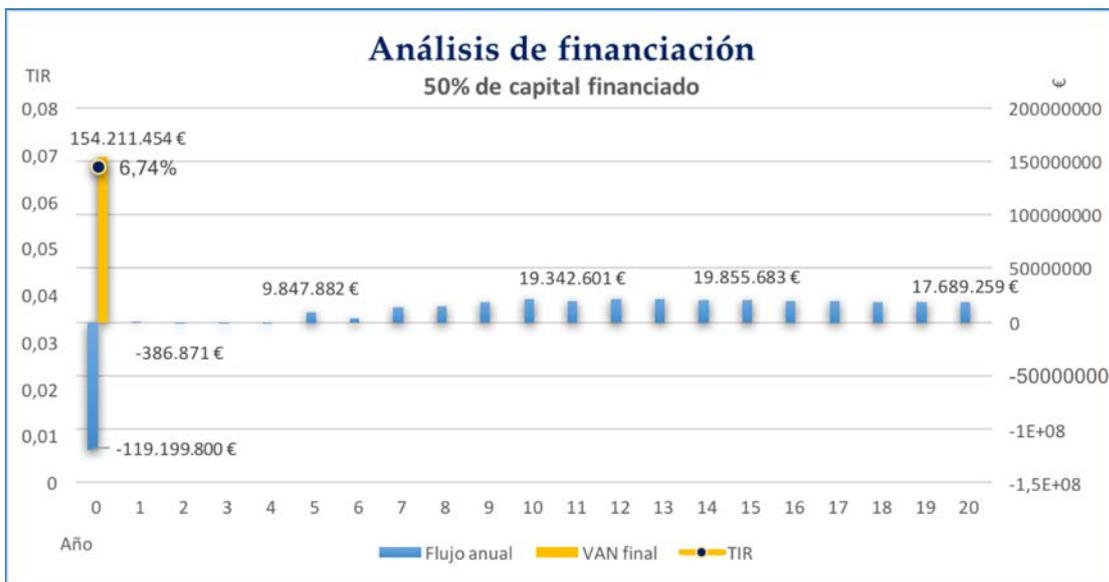


Gráfico 7. Análisis financiación 50 % del capital al 5%.

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, si la inversión se financiase en su totalidad sería viable en la mayoría de casos, pero podría no ser rentable el riesgo de la inversión frente al beneficio esperado, por lo que una alternativa más viable sería aportar una parte en capital sin financiación.

VIII. Conclusiones finales

En primer lugar, se ha podido establecer una configuración adecuada y fiable para las operaciones en la terminal, acorde con las limitaciones geométricas y operativas de ésta. La automatización de grúas pórtico RMG es la configuración probada más eficiente y segura con las limitaciones actuales. Además, la nueva generación de lift-AGV confiere una alta productividad al poder desacoplar operaciones, y unos costes de mantenimiento y de vida útil más favorables que otras unidades automatizadas. Si bien, la configuración paralela al muelle puede no parecer la más adecuada al tipo de tráfico de la terminal, se debe tener en cuenta que al ser una terminal de dimensiones más reducidas provoca que los ciclos de las unidades de interconexión sean similares a los de terminales mayores con disposiciones de los bloques es perpendicular al muelle. El empleo de estas ASC favorece el tener una mayor densidad de patio y a la vez mayor capacidad para suplir las necesidades de recepción y entrega en la terminal, por lo que se puede maximizar la capacidad de la línea de atraque, de forma que pasaría a ser el cuello de botella del sistema. Además, se tiene una puerta abierta a expansiones futuras en el muelle contiguo a la terminal, todavía inacabado, de forma que se pudiese tener dos configuraciones de patio distintas, una enfocada a tráfico de transbordo, la terminal actual, y otro para el tráfico *import/export*, la nueva, similar a otros proyectos con condicionantes similares.

Por otra parte, la reducción de las necesidades de personal de estiba por mano de un 46% (de 13 a 7 operarios) provoca que se pueda paliar uno de los principales problemas y objetivos de la terminal, el tener suficiente personal para poder operar sin interrupciones en los turnos de operación. A su vez, esta reducción de personal produce que los costes directos operativos sean menores, aumentando el margen de beneficio que se obtiene por contenedor en la terminal. En adición, esta reducción en los costes por contenedor le confiere margen para poder ofrecer precios más competitivos y facilitar la atracción de clientes.

En lo referente a la rentabilidad de la inversión, si bien es viable, el TIR obtenido es algo bajo para el capital que se debe invertir, por lo que el riesgo que conlleva la inversión frente a los beneficios esperados son modestos. Sin embargo, si se llevasen a cabo otras alternativas que no fuese aportar el 100% del capital financiado, se podría aumentar considerablemente los beneficios y la rentabilidad de la inversión.

Se debe considerar que la configuración de la terminal y el desempeño de los equipos deben ser objeto de simulación, de forma que se puedan encontrar deficiencias o incidencias en el funcionamiento global del sistema en su fase de diseño, con lo que se podría solventar estas eventualidades y volver a analizar, en un proceso iterativo hasta optimizar la solución.

Por último, hacer notar que las terminales de un tamaño discreto deben hacer frente a una serie de retos considerables como son la fuerte competencia en el sector agravada con los intereses de gran número de núcleos urbanos costeros en desarrollar servicios marítimos de transporte que provoquen externalidades; necesidad de tener grandes rendimientos y disponibilidad para ser atractivos para navieras; conseguir tener una eficiencia y rentabilidad adaptada a las escalas de tráfico y a las fuertes inversiones que conlleva las mejoras en este sector.

Por todo ello, las terminales pequeñas y medias se enfrentan a unos desafíos de gran envergadura desde una posición ardua y sin embargo admirable.

REFERENCIAS

AGERSCHOU, H. (2004). Facilities requirements. Planning and design of ports and marine terminals. Thomas Telford Ltd, London.

AUTORIDAD PORTUARIA DE VALENCIA (2012). Referencial de calidad de servicio para el tráfico de contenedores.

COMISIÓN TÉCNICA DE LA ROM 2.0. ROM 2.0-2011 (2012) Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre. Puertos del Estado, Madrid.

DE MONIE, G. (1988). Medición y evaluación del rendimiento y de la productividad de los puertos. Monografías UNCTAD. Naciones Unidas, Nueva York.

DE MONIE, G.; THOMAS, B. J. (1998) Improving port performance: measuring container terminal performance. l'Institut Portuaire d'Enseignement et de Recherche (IPER) Notes, Le Havre.

DREWRY (1998). World container terminals. Drewry Shipping Consultants Ltd., London.

DREWRY (2016a). Annual review of global container terminal operators. Drewry Shipping Consultants Ltd., London.

DREWRY (2016b). Container terminal capacity and performance benchmarks. Drewry Shipping Consultants Ltd., London.

ESCUTIA, R.; MONFORT, A. (1990). Análisis económico-financiero de la Ampliación Sur del Puerto de Valencia. Puerto Autónomo de Valencia.

GONZÁLEZ MATEOS, R.; JIMÉNEZ BAYO, P. (2016). Diseño de una terminal de contenedores semiautomatizada en la ampliación norte del puerto de Valencia. Trabajo de Final de Máster. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

FOURGEAUD, P. (2000). Measuring Port Performance. The World Bank.

HAM, H.C van; RIJSENBRIJ, J. (2012). Development of Containerization: Success through Vision, Drive and Technology. IOS Press BV, Amsterdam

IMAI, A.; NISHIMURA, E.; PAPADIMITRIOU, S. (2007). "Berthing Ships at a MultiUser Container Terminal with a Limited Quay Capacity". , Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 44.

KIM, K.H.; LEE, H. (2015). Handbook of Ocean Container Transport Logistics. International Series in Operations Research and Management Sciecie 222. Springer International Publicing. Switzerland.

MILIND DESAI, P.E., S.E. (2015). Trapac Automated Terminal-Port of Los Angeles. AAPA Facilities Engineering Seminar. San Diego.

MOHSENI, N.S. (2011). Developing a Tool for Designing a Container Terminal Yard. Tesis Final de Master. Delf Univeristy of Technology & Royal Haskonig UK. Delft.

MONFORT, A.; MONTERDE, N.; SAPIÑA, R. MARTÍN-SOBERÓN, A; CALDUCH, D.; VIEIRA, P. (2011A). La terminal portuaria de contenedores como sistema nodal en la cadena logística. Fundación Valenciaport, Valencia.

MONFORT, A.; AGUILAR, J.; VIEIRA, P.; MONTERDE, N.; OBRER, R.; CALDUCH, D.; MARTÍN, A. M.; SAPIÑA, R. (2011B). Manual de Capacidad Portuaria: Aplicación a Terminales de Contenedores. Fundación Valenciaport, Valencia.

MONFORT, A.; MONTERDE, N.; SAPIÑA, R.; MARTÍN-SOBERÓN, A.; CALDUCH, D.; VIEIRA, P. (2012). Innovaciones tecnológicas y de gestión en terminales 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 concesionamiento. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

PUERTOS DEL ESTADO (2012). Referencial de calidad de servicio para el tráfico de contenedores.

RADEMAKER, W.C.A. (2007). Container terminal automation: Feasibility of terminal automation for mid-sized terminals. Final report. Delft University of Technology & Royal Haskoning UK. Delft.

RISENBRIJ, J.C.; Dobner, M. (2001) Automation: Challenges for smaller and medium sized terminals. TOC-Asia conference.

SAPIÑA, R (2007). Indicadores de calidad en terminales de contenedores. Boletín de la Fundación Valenciaport, núm. 34, p. 1.

SAPIÑA, R. (2008). Indicadores de productividad en terminales de contenedores. Boletín de la Fundación Valenciaport, núm. 45, p: 1-2.

SAANEN, Y.A.; VAN MEEL, J.; VERBRAECK, A. (2003). The design and assessment of next generation automated container terminals. SCS European Council/ SCS Europe BVBA. 15th European Simulation Symposium.

SAANEN, Y.A. (2004). An approach for designing robotized marine container terminals. Tesis doctoral. Delf University of Technology. Delf.

SAANEN, Y.A.; DE WAAL, A. (2006). Optimizing automated container terminals to boost productivity. Port Technology International, 51-06/8.

UNCTAD (2015). Review of maritime transport. Nueva York y Ginebra.

UNCTAD (2016). Review of maritime transport. Nueva York y Ginebra.

VIS, I. F. A., and R. DE KOSTER, R. "Transshipment of Containers at a Container Terminal: An Overview". European Journal of Operational Research, 147.

WARD, T. (2013). Container Terminal Planning & Operations. American Association of Port Authorities. Marine Terminal Management Program. Long Beach.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS:

APM TERMINALS

<http://www.apmterminals.com/en>

AUTORIDAD PORTUARIA DE LA BAHÍA DE ALGECIRAS

<http://www.apba.es>

AUTORIDAD PORTUARIA DE VALENCIA

<http://www.valenciaport.com>

BARCELONA EUROPE SOUTH TERMINAL

<http://www.best.com.es>

CARGOTEC

<https://www.cargotec.com>

DREWRY

<https://www.drewry.co.uk>

EUROPE CONTAINER TERMINAL

<http://www.ect.nl/en/content/ect-delta-terminal>

HAMBURGEN HAFEN UND LOGISTIC AG

<https://hhla.de/en>

KALMAR GLOBAL

<https://www.kalmar.es>

KONECRANES

<https://www.konecranes.com>

LIEBHERR

www.liebherr.us

PACECO ESPAÑA

<http://www.paceco.es>

PORT TECHNOLOGY INTERNATIONAL

<https://www.porttechnology.org>

PORT OF ROTTERDAM

<https://www.portofrotterdam.com/en>

PORT STRATEGY

<https://www.portstrategy.com>

TBA

<https://www.tba.group>

TEREX CORPORATION

<https://www.terex.com/es>

TOTAL TERMINAL INTERNATIONAL ALGECIRAS

<http://ttialgenciras.com>

Progress lies not in enhancing what is, but in advance toward will be.

-Khalil Gibran