

TERMINALES AUTOMATIZADAS Y SEMIAUTOMATIZADAS. OPERATIVA Y EQUIPAMIENTOS

Jaime Rodrigo de Larrucea
Universidad Politécnica de Cataluña



Imagen 1: DP London Gateway

0.- Introducción

El presente estudio en línea con otros trabajos del autor pretende mostrar en clave panorámica y con finalidades pedagógicas el estado del arte y las principales novedades en el ámbito de la operativa portuaria, los equipamientos y otras cuestiones conexas en relación con la automatización de las terminales portuarias y los nuevos sistemas de la estiba¹.

El autor debe agradecer a un conjunto de amigos, ex alumnos y colegas una parte muy importante de las reflexiones aquí contenidas y en igual sentido la aportación de imágenes y materiales. Los errores o insuficiencias son sólo atribuibles al autor.²

Palabras clave: Automatización. Estiba. Terminales automatizadas. Operativa portuaria.

¹ Nos remitimos in extenso a *Manual de Transporte en contenedor* (2018); *Transporte en contenedor* (2014) y *El transporte de contenedores terminales operatividad y casuística* (2003).

² Entre otros y de manera muy especial y sentida a Oscar Rodríguez; Ivan Deosdad y a Carlos Martí.

1.- Terminales automatizadas y semiautomatizadas

Los costes en mano de obra, el incremento de la competencia en la industria portuaria y el hecho de que el tráfico contenerizado implique la estandarización en los sistemas de manipulación de cargas (con la consecuente aparición de procesos estandarizados y sistemas asistidos por tecnologías de la información), han dado como resultado la automatización de las terminales de contenedores. A su vez, estas terminales se han ido equipando progresivamente con maquinaria más sofisticada y con mayor capacidad productiva.

La automatización de las terminales hasta la fecha se ha centrado principalmente en el sistema de transferencia horizontal y el sistema de apilamiento de patio.

Las terminales se describen típicamente como **totalmente automatizadas** si tanto la transferencia horizontal entre el muelle y el patio, como el sistema de apilamiento del patio están automatizados.

Si sólo se automatiza el sistema de apilamiento de patio (y la transferencia horizontal permanece con equipo operado manualmente), se describe una terminal como **semiautomática**.

Sin embargo, lejos de ser un proceso terminado las nuevas automatizaciones tienen también dentro de su ámbito la operación de carga y descarga de buques, así como otras automatizaciones de operaciones auxiliares a la terminal (como por ejemplo las terminales ferroviarias o los servicios de amarre de los buques).

Desde 1984, cuando se empezó a automatizar la terminal de Europe Container Terminals (ECT), en Rotterdam, numerosas terminales han apostado por sistemas automatizados en mayor o menor grado. En 2012 había 33 terminales automatizadas, distribuidas en países con mano de obra con un coste elevado (Australia o EEUU) o más competitivos (Corea o Singapur). Este hecho también ha sucedido, además de en Rotterdam, en otros puertos del entorno europeo, como Amberes, Hamburgo, Londres, Algeciras o Barcelona.

Desde la primera edición hasta marzo de 2018, el número ha crecido hasta las 44 terminales automatizadas repartidas por todo el mundo, siendo 30 de ellas semiautomatizadas y 14 de ellas completamente automatizadas. Hay que tener muy en cuenta que la tendencia sigue al alza, habiendo planes de iniciar proyectos de automatización en otras 10 terminales. Ejemplos de los nuevos desarrollos son:

- VICT: Victoria, AU. ICTSI.
- LBCT: Long Beach, US. CY TUNG.
- RWG: Rotterdam, NL. DP World en *joint venture* con diferentes navieras
- APMT Maasvlakte II. Rotterdam, NL. APMT
- APMT Tangermed II. Tanger, Mo. APMT
- SY. Shanghai, CN. SIPG.

Puede apreciarse que la automatización no es un proceso ya focalizado en países con la mano de obra más cara, sino que se ha extendido a los grandes centros de carga del mundo.

Sin embargo, aunque los principales nodos (*hubs*) y puertos de carga local (*gateways*) están optando por la automatización, en términos absolutos aún queda un largo camino para que la automatización se convierta en un hecho común, ya que el 97% de las terminales de contenedores utilizan todavía maquinaria convencional, siendo solamente el 2% y el 1% para terminales semiautomáticas y automáticas respectivamente.

Una terminal automatizada precisa de una inversión de capital (*capital expenditures* o *capex*) más o menos elevada, con el objetivo de conseguir un alto retorno de la inversión mediante una reducción de los costes operativos (*opex*) en el medio o largo plazo. El nivel de inversión vendrá determinado por el grado de automatización de la terminal portuaria y por el estado inicial (inversión «desde cero», *greenfield*, u opción de cambio sobre una terminal ya existente). Por otro lado, el ahorro en costes operativos dependerá, además del tipo de terminal, básicamente del coste de la mano de obra y de la tipología de los tráfico.



Imagen 2. Terminal de Europe Container Terminals (ECT) en Rotterdam.

1.1 Ventajas y debilidades de una terminal automatizada

De forma muy general, y dependiendo de los condicionantes derivados del lugar de implantación, las terminales automatizadas se caracterizan por:

- Debilidades

- Una fuerte inversión, que en muchos casos puede limitar la viabilidad del proyecto al no proporcionar el retorno esperado por el inversionista o por la capacidad financiera del inversor. Se debe tener en cuenta que el equipamiento de patio y transporte horizontal debe ser agregado en grandes cantidades y de inicio, en lugar de efectuarse de manera gradual como en una terminal convencional.
- Posibilidad de conflicto social. La migración de trabajo convencional hacia el automatizado puede topar con una difícil negociación con los agentes sociales, dado que disminuye mucho la demanda de mano de obra, y ello tiene fuerte impacto social. La negociación final de las condiciones de trabajo de la terminal automatizada puede dificultar el alcance total de la reducción de personal que ofrece la automatización, determinando si la automatización tiene sentido o no.
- Criticidad de la falta de redundancia operativa. La avería en una grúa apiladora de contenedores que funcione de manera automatizada (con carácter general, grúa ASC, siglas de *Automatic Stacking Cranes*) influye en la operatividad del bloque de contenedores, ya que las grúas ASC no pueden cambiar su posición de un bloque a otro, posibilidad que sí ocurre con las grúas pórtico sobre neumáticos o RTG.
- Las terminales automatizadas carecen de flexibilidad. Su el diseño físico es difícil de cambiar una vez decidido y normalmente se mantiene para el a largo plazo. Las decisiones que deben tomarse en la etapa de diseño requieren prever las necesidades de la terminal en el largo recorrido, sin embargo, tanto la actividad de la terminal como las necesidades de sus clientes pueden cambiar de forma significativa durante el tiempo de concesión de la terminal.
- Si los niveles de actividad caen temporalmente, una terminal manual es más capaz de economizar y adaptarse a las nuevas circunstancias, ya que, en caso necesario, el personal adscrito a la terminal puede ser reubicado, o en su caso, aplicarse medidas de empleo.
- Los procesos llevados a cabo por una terminal no son necesariamente estables y homogéneos. Estos, pueden ser volátiles y cambiar con el tiempo. Se debe tener muy en cuenta que la automatización requiere y busca un alto grado de repetición y predictibilidad.
- La automatización no necesariamente supone una manipulación más rápida y mayores niveles de servicio.
- Los proyectos de automatización tienen un mayor riesgo y son más difíciles de implementar, mientras que las terminales manuales están sobradamente probadas y contrastadas³.

³ Ver Drewry. (2014). *Container Terminal Capacity and Performance Benchmarks* (Inf. Téc.). London: Shipping Consultants Drewry

- Fortalezas
 - Mayor predictibilidad y consistencia de las operaciones.
 - Potencial ahorro de costes operativos, por menor coste de mano obra, al sustituir el OPEX por el CAPEX⁴. El objetivo es disminuir el coste operativo en su conjunto, así como evitar la incertidumbre que el trabajo manual puede ocasionar (por ejemplo, los incrementos salariales debido a la inflación, los problemas derivados de las negociaciones con los agentes sociales y la posibilidad de disputas y huelgas).
 - Incremento de los aspectos de Seguridad e Higiene en el trabajo, debido a la no presencia humana en las áreas de operaciones.
 - Menor tiempo de inactividad debido a la influencia de factores externos factores externos (por ejemplo, fuertes vientos).
 - Incremento de las jornadas de trabajo, debido a que las máquinas pueden funcionar 24/7 sin necesidad de cambio de turno).
 - Mayor eficiencia energética (más equipos eléctricos y menos equipos de combustión), siendo una opción potencialmente más ecológica.
 - Menor coste de mantenimiento, derivado de una reducción de los equipos de combustión y una menor probabilidad de accidente.
 - Mayor precisión y prevención del error humano, debido a que se elimina el factor humano, reduciendo la variabilidad en el proceso.
 - Reducción de daños en equipos y cargas.
 - Disminución del factor de pico (los movimientos de reordenación del patio de contenedores tienen un coste muy bajo y se puede trabajar a alta capacidad sin incidir en la estructura horaria: costes de nocturnidad, festividades, etc.).
 - Mayor densidad de contenedores. Los bloques pueden ser de 8 hasta 11 contenedores de ancho (e incluso más, ya que las grúas ASC se adaptan a las características de la terminal). También se apila a más altura promedio (5 y 6 alturas), debido al casi nulo coste de la remoción de patio.

⁴ El acrónimo CAPEX se deriva de la expresión “Gastos de Capital” y, por lo tanto, se desarrolla a los gastos e inversiones asociados con bienes físicos. En otras palabras, son todos los bienes comprados por la empresa. OPEX por otro lado, significa “Gasto Operativo”. Por lo tanto, se relaciona al costo relacionado con las operaciones y servicios.

1.2 Maquinaria vinculada con la automatización

Las siglas ASC se refieren a cualquier tipo de grúa apiladora de contenedores que funcione de manera automatizada⁵⁶. Estas grúas normalmente son del tipo pórtico sobre raíles ARMG o C-ARMG, esta última de carga lateral. La diferencia entre ambas reside, básicamente, en que las primeras cargan y descargan los camiones y los vehículos de transferencia interna (TT, AGV, L-AGV o ALV) única y exclusivamente en las cabezas de las calles (hooks), mientras que las C-ARMG lo hacen en el costado de las pilas de contenedores. La necesidad de un tipo u otro de maquinaria viene determinado por la tipología del tráfico y la disposición de las pilas a lo largo del patio de operaciones. AGV, L-AGV y ALV son las siglas con que se identifican los distintos vehículos de transferencia desde la pila de contenedores a pie de buque (o entre distintos bloques).

MAQUINARIA EMPLEADA EN TERMINALES AUTOMATIZADAS		
Grúa pórtico para operaciones buque-tierra	STS	<i>Ship to shore gantry crane</i>
Grúa pórtico sobre raíles	RMG	<i>Rail mounted gantry crane</i>
Grúa apiladora automatizada	ASC	<i>Automated stacking crane</i>
Vehículo de transferencia interna	ITV	<i>Internal transfer vehicle</i>
Vehículo de guiado automático	AGV	<i>Automated guided vehicle</i>
Vehículo de transferencia automático	ALV	<i>Automated lifting vehicle</i>
Grúa pórtico sobre neumáticos	RTG	<i>Rubber tyred gantry crane</i>
Grúa pórtico sobre raíles automatizada	ARMG	<i>Automated rail mounted gantry</i>
Grúa pórtico sobre raíles de carga lateral	C-ARMG	<i>Cantilever automated rail mounted gantry)</i>
Tractor-remolque de terminal	TT	<i>Terminal tractor trailer</i>
Vehículo de transferencia autoguiado con plataforma elevadora	L-AGV	<i>Lifting AGV</i>

Tabla 1. Identificación de la maquinaria que se emplea en terminales de contenedores automatizadas.

Dentro de las nuevas tendencias, y en la búsqueda de soluciones que minoren las inversiones en obra civil para terminales de nueva construcción (*greenfield*) así como para posibilitar la automatización de terminales ya existentes en manual (*brownfield*), se está trabajando mucho en la búsqueda de soluciones de automatización de los RTGs. Aunque existe un ejemplo muy particular en Japón para el trabajo con RTGs automáticos (Tobishima) que funciona desde hace muchos años, la automatización está limitada, por razones de prevención, al trasbordo, evitando la interacción con los camiones de la calle para las cargas de import/export. Sin embargo, las nuevas

⁵ Para facilitar la lectura de este apartado, el desarrollo de las siglas con las que se identifica habitualmente la maquinaria empleada en terminales automatizadas se resume en la tabla 1.

⁶ Normalmente, los bloques de contenedores son de 250 m de longitud (unos 40 slots de 20'), con dos grúas ASC por bloque. Las configuraciones paralelas al muelle pueden disponer de mayor número de grúas ASC, manejando un grupo de grúas de forma conjunta en varios bloques u otro en caso de congestión o avería. La versión C-ARMG permite un mayor número de unidades por bloque, ya que la carga lateral no implica la necesidad de que la grúa llegue a un extremo u otro del bloque.

soluciones de los A-RTGs, buscan cómo automatizar todos los tipos de tráfico de la terminal (trasbordo e import/export).

1.3 Tipología de terminales automatizadas

Las terminales automatizadas se pueden diferenciar según su grado de automatización, su distribución física y el tipo de maquinaria utilizada.

Los diferentes tipos de terminales, total o parcialmente automatizadas, son las siguientes:

- Terminales semi-automatizadas: La diferenciación básica entre las terminales totalmente automatizadas de las semi-automatizadas reside en el proceso de transferencia desde las pilas del patio de contenedores hacia el cantil del muelle o viceversa.

Mientras que las terminales totalmente automatizadas disponen de vehículos autoguiados para la transferencia de contenedores desde las pilas (*stacks*) hasta el cantil de muelle (*apron area*) o viceversa, las terminales semiautomatizadas continúan usando tractores-remolque (TT) o carretillas pórtico manuales (*straddle carriers*) para dicho trayecto. Ejemplos de terminales parcialmente automatizadas son las situadas en los puertos españoles de Barcelona y Algeciras, por ejemplo, aunque ambas podrían convertirse en automatizadas completamente mediante la implantación de sistemas de control en los *runners* o *straddles*.



Imagen 3. Detalle de un camión siendo cargado por una ASC. Los conductores han de confirmar que nadie se encuentra en la cabina del camión durante la carga.

- Las terminales totalmente automatizadas son aquellas en las que la transferencia desde la pila de contenedores hasta el costado de buque (a pie de grúa) se realiza mediante vehículos autoguiados (AGV, L-AGV o ALV). Una excepción de esta norma sería la terminal de Brisbane (Australia), que está provista de carretillas pórtico automatizadas (*auto-straddlecarriers*), por lo que los medios mecánicos de apilado y transferencia funcionan ambos de manera autoguiada. Ejemplos de terminales totalmente automatizadas en Europa son HHLA, en Hamburgo, y ECT, en Rotterdam.
- Una nueva categoría en terminales totalmente automatizadas es el caso de aquellas que el proceso de descarga/carga de buque está también automatizado (grúas STS automáticas). Es el caso de RGW en Rotterdam, la terminal de APMT Maasvlakte II (también en Rotterdam) o la terminal prevista para entrar en funcionamiento en 2020 en Tánger, de APMT. Estas experiencias han tenido un difícil arranque en cuanto a las producciones de muelle, y aunque no funcionan de forma automática al 100% (sino en control remoto) cada vez se está mejorando la consistencia operativa y la fiabilidad de los equipos de muelle automáticos (grúas STS).



Imagen 4. Grúa apiladora automatizada en el puerto de Amberes (Bélgica)

- Elementos diferenciales entre terminales:
 - Inversión en equipos de transporte horizontal. Mientras que el coste de un tractor-remolque de terminal puede ser de 100.000 €, los precios de cada elemento de transporte autoguiado son mucho más elevados (AGV, 0,5 M€, L-AGV, 0,6 M€, y ALV, 0,75 M€). Además, son necesarios más

vehículos de transferencia, dado que la velocidad de transporte es mucho menor en los vehículos automáticos.

- Inversión en sistemas informáticos e infraestructuras de autoguiado y control de tráfico (transpondedores, 3 DGPS [*differential global positioning system*] o radar). Además de la inversión, el diseño de las reglas de tráfico y seguridad de los vehículos autoguiados y la resolución de incidencias, son los principales inconvenientes de la terminal automatizada, y tienen un impacto significativo en la capacidad productiva de la misma.
- Por otro lado, el ahorro en costes de personal más relevante se produce en el uso de los vehículos de transferencia interna, ya que normalmente cada uno de estos equipos de trabajo (excluyendo las labores de trincado y el manejo de las grúas RTG o ASC) ocupan entre 9 y 12 personas, de las cuales entre 4 y 6 se dedican a la conducción de los vehículos.⁴ En las terminales semiautomatizadas, la reducción de personal sólo se produce en la sustitución de manipuladores de grúas pórtico RTG (relación 1:1 o 1:1.25), por el controlador de grúas apiladoras automatizadas, realizando el último tramo de carga/descarga en vehículos convencionales por motivos de seguridad, en proporciones que oscilan de 1:3 a 1:8.

1.4 Vehículos en terminales totalmente automatizadas

El AGV es el primer tipo de vehículo de transferencia interna autoguiado que prestó servicio en las terminales de contenedores⁷. Consiste en una plataforma no articulada con capacidad de carga de 1×20', 2×20', 1×40' y 1×45'. Excepcionalmente, también pueden cargar 1×30' en diseños especiales. Su velocidad de transporte oscila entre 3 y 6 m/s, básicamente por razones de seguridad. No dispone de ninguna otra funcionalidad que el transporte de contenedores y su uso representa el principal cuello de botella de las operaciones en una terminal⁸.

Dada su baja velocidad y la enorme cantidad de reglas de tráfico necesarias para poder gestionar el sistema de manera segura, se pueden producir retrasos si no hay un vehículo AGV disponible a pie de buque en la descarga de un contenedor, o en la transferencia desde la pila de contenedores en la cabeza de la calle. De la misma manera, el AGV queda atrapado con un contenedor encima hasta que no es liberado por la grúa STS en la operación de carga al buque, o por la grúa apiladora si hay que apilar el contenedor en el patio, recibido desde una descarga o en una remoción entre calles.

Es lo que se conoce como operación completamente acoplada. La cola de trabajos de la grúa apiladora depende completamente de la disponibilidad de vehículos autoguiados en las cabezas de las calles, mientras que el rendimiento de éstos depende enteramente de la eficiencia de la grúa ASC en una cabeza de calle y de la grúa STS en el otro extremo. A su vez, el rendimiento de esta última depende de la disponibilidad de vehículos AGV.

⁷ El transpondedor es un dispositivo interconectado en serie que se utiliza en sistemas de localización, navegación o posicionamiento.

⁸ Mención aparte merecen las terminales equipadas con carretillas pórtico, desde las de manejo manual a las automatizadas, por tratarse de casos aislados que previsiblemente no tendrán continuidad.

Por tanto, cualquier alteración en el ritmo de trabajo en cualquiera de los sistemas, influye directamente en los otros sistemas, ya que no existe espacio de amortiguación para absorber los picos. Una posible solución a este problema es la creación de una reserva de vehículos AGV (es decir, vehículos que actúan como amortiguadores del flujo irregular de trabajo en cualquiera de los dos otros sistemas, STS o ASC). Esto supone una solución costosa, dado que requiere una inversión adicional para poder gestionar momentos puntuales.



Imagen 5. Vehículo de guiado automático operando en el puerto de Hamburgo (Alemania).



Imagen 6. Representación de un vehículo de guiado automático tipo L-AGV.

Como alternativa a esta problemática se han desarrollado dos tecnologías, conocidas como L-AGV y ALV, para gestionar, respectivamente, las operaciones parcialmente desacopladas y las totalmente desacopladas. Ver en las páginas siguientes: Tablas 2 y 3, un estudio comparativo.

Un vehículo L-AGV es una evolución del tipo AGV, pero con una funcionalidad añadida, consistente en la capacidad de izar la plataforma que acarrea los contenedores. Este izado permite depositarlos en estructuras metálicas situadas en las cabezas de las calles, con la finalidad de liberar el vehículo sin necesidad de que exista operación coordinada con la grúa apiladora. Es decir, la estructura donde se apoya el contenedor actúa de amortiguador del posible flujo irregular de trabajo. Sin embargo, a pie de la grúa STS, el vehículo L-AGV actúa como un vehículo de guiado automático tradicional, y debe esperar a que la grúa le descargue el contenedor para quedar listo para la siguiente orden de trabajo.

También se ha desarrollado una tecnología de automatización de carretillas pórtico que permite al vehículo portear, cargarse y auto descargarse el contenedor, tanto en los espacios de cabeza de calle de la grúa ASC como a pie de la grúa STS. Por tanto, los tres ciclos operativos quedan totalmente desacoplados, por lo que las ineficiencias de uno afectan mínimamente en el resto.



Imagen 7. Carretilla pórtico elevadora-apiladora, tipo straddle carrier, automatizada (Automated Lifting Vehicle o ALV).

Cuadro de pros y contras AGV/L-AGV

Pros	Contras
CAPEX	Proceso acoplado en áreas de transferencia (para AGVs) y proceso acoplado en STS (para L-AGVs)
Coste Operativo	No se puede almacenar extensivamente en WSTP
Proceso desacoplado en WSTP (para los L-AGVs)	Se necesita espacio en el "apron" para posicionar las unidades en espera
Limitación de peso de 60 toneladas en modo twinlift Diesel Electric	Flexibilidad limitada en STS
Sistema de navegación sobradamente probado	Enrutamiento inflexible debido al sistema de navegación de transpondedor
Sistema de gestión de tráfico sobradamente probado	Tamaño de flota alto
Capacidad de hacer movimientos de cangrejo	Gran cantidad de situaciones de congestión
	Elevada relación STS / AGV (1/6)
	Manejo difícil de excepciones

Tabla nº 2

Cuadro de pros y contras ALV

Pros	Contras
Proceso desacoplado completo en las áreas de transferencia	CAPEX
No se necesita espacio en el "apron" para posicionar las unidades en espera	Coste Operativo
Puntos de transferencia flexibles en STS	Limitación de peso de 50 toneladas
Se puede almacenar extensivamente en los WSTP	Manejo difícil de excepciones
Se puede operar manualmente y automatizar más tarde	
Diesel eléctrico	
Sistema flexible de gestión de tráfico	
Tamaño de la flota reducido	
Menos situaciones de congestión	
Baja relación STS/ASH (1/2,5 – 1/3)	

Tabla nº 3

1.5. Otros elementos

1.5.1 Mesa de control remoto

Aunque no se trata de un medio mecánico, las mesas de control remoto están directamente conectadas con las ASCs. Cada terminal tendrá un número de mesas de control acorde con el número de grúas. A modo indicativo, una terminal con 10 módulos (20 grúas automatizadas) tendrá 2 mesas de control remoto. Típicamente, entre un 10% y un 15% de los trabajos no pueden ser completados por las grúas automatizadas. Esto puede ser debido a varios motivos tales como fallas mecánicas, fallos en los escáneres o suciedad en los mismos. En estos casos el sistema de control de la terminal conectara automáticamente la grúa con la mesa de control remoto para completar el movimiento.

1.5.2 Cassettes:

Los cassettes son unas estructuras metálicas que se utilizan para el transporte interno de contenedores en la terminal. Están operados por camiones internos mediante un sistema de translifter acoplado a la cabeza tractora. El translifter consiste en un dispositivo hidráulico operado remotamente desde el camión, que se desliza debajo del cassette y lo eleva para su transporte. Si bien su uso está extendido en terminales portuarias en los Estados Unidos algunas terminales europeas están empezando a utilizarlos por sus ventajas operativas.

La principal ventaja de los cassettes es que no es necesario que el conductor se espere a ser cargado o descargado. De esta forma el conductor no tiene demoras al estar siempre en tránsito completando movimientos para la operativa.



Imagen 8. Detalle de un camión dejando un cassette en almacén para descarga del contenedor.

1.6 Disposición paralela al cantil o perpendicular al cantil

En las operaciones en el patio de contenedores, mientras que las grúas pórtico sobre raíles de carga lateral (C-ARMG) provienen del concepto tradicional de la carga sobre vehículo convencional en el costado de la pila, las grúas ASC funcionan con la carga/descarga de los vehículos (tanto camiones como vehículos de transferencia interna) en las cabezas de bloque. La grúa C-ARMG se ha utilizado en terminales semiautomatizadas y con disposición paralela al muelle, aunque también se emplea en terminales totalmente automatizadas. La disposición perpendicular al cantil del muelle es debida a los siguientes factores:

- Una proporción elevada de tráfico local (no trasbordo) implica que el volumen de trabajo de las grúas ASC se distribuya de manera uniforme en trabajos de carga o descarga de buque o de recepción o entrega de contenedores (es decir, la interfaz terrestre y la marítima demandan la misma carga de trabajo). Por este motivo, tiene sentido disponer los bloques perpendiculares al cantil del muelle, y atender la demanda de tráfico marítimo desde la parte más próxima a la zona de maniobra, y los camiones externos desde la zona más próxima a la puerta.



Imagen 9. DP London Gateway



Imagen 10. Terminal automatizada de HHLA en Hamburgo (Alemania), diseñada con una disposición de las calles de contenedores perpendiculares al cantil del muelle.



Imagen 11. Terminal automatizada de Busan (Corea), equipada con grúas pórtico sobre raíles de carga lateral (C-ARMG) y diseñada con una disposición de las calles de contenedores paralela al cantil del muelle.

- En las terminales totalmente automatizadas se consigue que los camiones no automatizados no interfieran la operación de los vehículos autoguiados.
- Además, se disminuye la distancia de tránsito de los vehículos autoguiados, ya que la entrega desde la pila hasta dichos vehículos se hace desde la zona más próxima al muelle (y cabe recordar que son vehículos que trabajan a velocidad más reducida que los de manejo manual).

Sin embargo, en las terminales con las calles dispuestas de manera perpendicular al muelle que tienen un elevado número de trasbordos, las cabezas de las calles de contenedores más apartadas del cantil del muelle se desaprovechan para la operación más demandada (operación marítima), por lo que es más recomendable la disposición en paralelo al cantil. De hecho, el cuello de botella que supone un número limitado de cabezas de la calle se resuelve en muchos casos con la carga lateral, utilizando grúas pórtico sobre raíles automatizados de carga lateral.

La utilización de grúas de carga lateral permite mayor densidad de maquinaria por bloque, ya que la opción de grúas pórtico sobre raíles (con enganche en las cabezas de bloque) implica la división de las cargas de trabajo en el bloque para dos máquinas, sin posibilidad de solapamiento y con el potencial problema en caso de avería de una de ellas. Este hecho fue solventado en la terminal automatizada de HHLA, en Hamburgo, mediante el uso de la tecnología *cross over*, debido a que las grúas pórtico sobre raíles son de tamaños distintos y la mayor de ellas puede circular por encima de la menor o menores (con un máximo de una mayor y dos menores), aunque ello implica una mayor

inversión en obra civil (doble sistema de raíles) y de equipos (dos tipos de equipos con una grúa ASC con estructura sobredimensionada para poder sobrepasar el gálibo de las grúas menores). No obstante, esta solución no permite disponer de más de tres unidades en cada bloque, ya que dispararía los costes de inversión y la maquinaria que se utilizara tendría un tamaño desproporcionado.

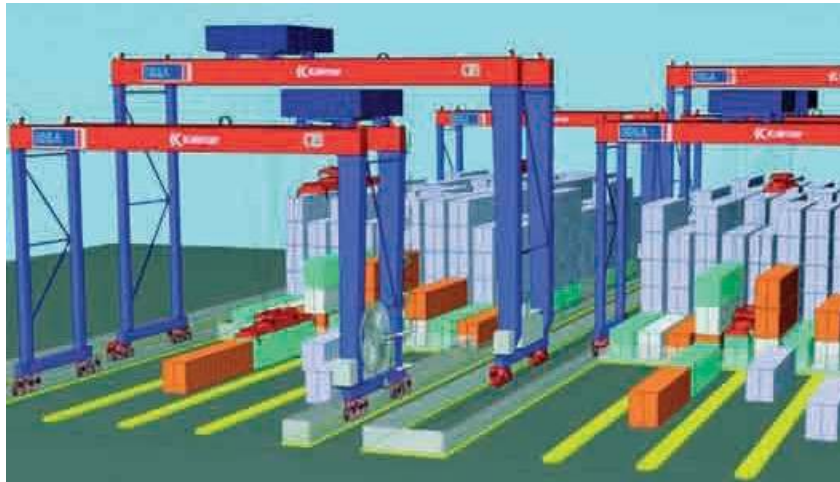


Imagen 12. Representación de grúas apiladoras automatizadas equipadas con un sistema de grúas pòrtico sobre raíles de tamaños distintos (cross over).



Imagen 13. Terminal de contenedores del puerto de Brisbane (Australia) equipada con carretillas pòrtico tipo straddle carrier, guiadas con radar de precisión centimétrica.

1.7 Sistema Operativo, sistemas de guiado y de control de tráfico

El Sistema Operativo de la Terminal o TOS es una parte clave de la cadena de suministro y tiene como objetivo principal el controlar el movimiento y el almacenamiento de la carga dentro de una terminal de contenedores. Proporciona un conjunto de procedimientos computarizados que permiten hacer un mejor uso de los activos, entendiéndose como la mano de obra y el equipamiento, planificar la carga de trabajo, para administrar de manera eficiente y efectiva la instalación. Por otra parte, permite la obtención de información actualizada a tiempo real, con lo que se consigue una toma de decisiones más precisa y rentable.

La automatización de las operaciones debería garantizar un rendimiento ejemplar y un modo de operación estable. Sin embargo, la alta complejidad del día a día de la terminal plantea las mismas altas expectativas y demandas sobre el control del equipo automatizado. Esta tarea recae tanto sobre el TOS como sobre el *Equipment Control System (ECS)*, un software de control basado en algoritmos heurísticos que juega un papel crucial en el cumplimiento de las promesas que la automatización de terminales puede brindar, ya que debe garantizar que el equipamiento pueda usarse a la máxima expresión de su potencial operacional. El ECS, proporciona a los operadores portuarios un sistema de gestión avanzado de la flota de sus vehículos automatizados y autoguiados, tales como AGV, lift-AGV, ALV, ASC y A-STS. Su misión es integrarse con el Sistema Operativo de la Terminal (TOS) y traduce las instrucciones de trabajo de este en planes óptimos de trabajo, incluyendo el enrutamiento de los vehículos, logrando los siguientes objetivos:

- Ejecución eficiente de las órdenes de trabajo
- Rutas rápidas y sin situaciones de bloqueo
- Rutas libres de colisiones
- Uso eficiente del equipamiento, asegurando su longevidad
- Minimización de los tiempos de inactividad y averías

Los sistemas de guiado están basados en la utilización de transpondedores enterrados en el pavimento, sistemas de radar con balizas en la terminal, y la tecnología GPS, obteniendo una localización muy certera, con precisiones de menos de 3 cm y de menos de 1 cm, respectivamente.

1.8. Otros procesos automatizados: otros subsistemas susceptibles de automatización

Considerando la terminal de contenedores como un “sistema” configurado por diversos sub-sistemas, los procesos de automatización no se ciñen de forma exclusiva al sistema principal de la terminal (proceso de carga/descarga de buques). Como hemos comentado, existen procesos y subsistemas de la terminal que se han automatizado, ya sea en terminales denominadas automáticas e incluso en aquellas que tradicionalmente se han considerado manuales. En la industria de las terminales se denomina en inglés “*Automation for non-automated terminals*”. Entre estos sistemas y procesos cabe destacar:

a) Sistema de puertas o “gates”:

Se han automatizado los siguientes procesos del sistema de aceptación de contenedores vía puertas (recepción y entrega vía camión)

- a. Identificación de contenedores (lectura de matrícula), tipo ISO y tamaño. Inclusive, en algunos casos, la lectura de precintos electrónicos (e-seals)
- b. Identificación de camiones: Matrícula de camión y transportista
- c. Identificación de etiquetajes y marcas: Ante todo, y casi de forma exclusiva, las etiquetas IMO de MMPP
- d. Pesaje (incluyendo el taraje)
- e. Contrastación con la información recibida por parte de PC system o de las ordenes de la naviera
- f. Revisión de daños (tanto toma de fotografías para tener un registro “forense” en caso de reparación, así como avisos de forma proactiva
- g. Gestión de incidencias

Es uno de los sub-sistemas de las terminales que se han implantado con un mayor grado de automatización, confiriendo de una gran fiabilidad a una de los procesos más críticos del tráfico marítimo, la transferencia de la carga entre la terminal y el embarcador o receptor. Cabe añadir a las bondades descritas que también elimina el factor humano en un sistema altamente peligroso en lo que se refiere a la prevención de los trabajadores, ya que la interacción hombre- camión supone un riesgo altísimo. Por el contrario, la eliminación de la intervención humana de forma total, implica que el poco o nulo éxito de los e-seals implique que la verificación de los precintos a la exportación no sea posible, lo que supone un reto en cuestiones de seguridad (alusión al concepto *security* inglés).



Imagen 14. Gates

b) Sistema de reconocimiento en descargas y cargas de buque

Si en el párrafo anterior hablábamos de lo delicado que es el momento de la transferencia de la custodia de la mercancía en el sistema de puertas, mucho más crítico y difícil se hace en un sistema mucho más estresado y con factor de pico como es la descarga y carga de buques. Los problemas de reconocimiento adecuados de las numeraciones de los contenedores, su estado de daños, su correcto etiquetado, posición, etc... en el momento de transferencia entre terminal y buque conlleva un alto coste en mano de obra para certificar que la carga se reciba o expide por vía marítima en condiciones (*tally*). La implantación de cámaras en las grúas STS, con sistemas OCR muy precisos, han conseguido hacer que la intervención manual en este proceso pueda eliminarse o reducirse a la gestión de incidencias. A día de hoy la fiabilidad en las lecturas es superior al 97% y el almacenaje de imágenes protege a las terminales de potenciales reclamaciones por daños de los contenedores. Además, de forma combinada entre varias terminales, ofrece una herramienta muy útil a las navieras para buscar la trazabilidad en los daños a los contenedores y responsabilizar al causante real del daño.



Imagen 15. Cámara de reconocimiento

c) *Automated pin-station*, o estación automática para la colocación/extracción de twist locks.

Con mayor o menor fortuna, se prodigan estaciones automáticas donde se colocan los twist-locks en los contenedores, aunque la gestión de este tipo de unidades es más compleja por el hecho de tener que gestionar los stocks de twist-locks de cada barco. Es una de las operaciones con mano de obra más intensiva y con una potencialidad de mayor ahorro de costes y de accidentes.



Imagen 16. Twist looks

d) *Automated reefer monitoring*

La lectura de temperaturas, settings y alarmas de los contenedores reefer ha sido una tarea manual que ha llevado adjunta la necesidad de mucha mano de obra y, sobre todo farragosos procesos de lectura durante 3 o 4 veces al día. La evolución de los equipos frigoríficos ha hecho que, en primera instancia, las terminales (y los buques durante su estancia a bordo) puedan acceder a todos los datos de registro (*reefer log*) del reefer sin necesidad de ir físicamente a comprobarlos, sino con la transmisión de datos vía el cable de suministro eléctrico. Sin embargo, la evolución ha ido un paso más allá y los equipos ya van dotados de un sistema transmisión GSM de los datos, por lo que la monitorización puede hacerse de forma remota directamente por el operador del contenedor, sin necesidad de contratar los servicios de la terminal. Esto afecta de forma directa a las relaciones contractuales y a los servicios ofrecidos por la terminal, con impacto en la cuenta de explotación de la misma.

e) Sistema automático de amarre.

Mediante sistemas de vacío u otros sistemas de adherencia del casco del buque al muelle, se evita el uso de amarradores, servicio que en muchos lugares fuera de España ofrece directamente la terminal.



Imagen 17. Amarre Automático por vacío

2. Operativa de la Terminal

2.1. La operativa de terminal

El mundo del contenedor se desarrolla en torno a la idea de que los buques deben estar navegando en todo momento y la estancia en la terminal es percibida como una pérdida de tiempo en la que el buque no rinde para la naviera. Es por esto que una buena forma de atraer el negocio de una naviera a la terminal es mediante unas buenas estadísticas de rendimiento.

Las estadísticas de rendimiento son conocidas como los KPIs – del inglés - *Key Performance Indicators* o Indicadores de Productividad –. Toda terminal de contenedores que se precie lleva un control de sus estadísticas, ya que se trata de un recurso valiosísimo en la evaluación del rendimiento de la misma. A menudo las terminales crean KPIs nuevos para medir partes específicas de la operativa con los que luego se puedan implementar mejoras en los procesos.

Típicamente los KPIs que interesan más a las navieras son el BMPH – *Berth Moves Per Hour* o Movimientos por Atraque a la Hora – y el TTT – *Truck Turnaround Time* o Media de Tiempo en servir a un camión (carga o descarga). Ambos pueden ser indicativos de una terminal bien organizada y con una operativa fluida.

2.2. El BMPH (*Berth Moves per Hour*)

El BMPH es el total de movimientos en la operativa de un buque concreto dividido por el total de horas que el buque está atracado. Una terminal con BMPHs altos, por ejemplo de 90, será más atractiva al significar que las operativas de buque se completaran en menor tiempo. Por el contrario, un BMPH bajo es indicativo de una terminal que no rinde a nivel óptimo.

$$\text{BMPH} = \frac{\text{Total de movimientos (carga + descarga + remociones)}}{\text{Horas de atraque}}$$

El BMPH está relacionado con el número de grúas o manos portuarias destinadas a trabajar un buque y con las productividades individuales de cada grúa. A modo de ejemplo un buque trabajado por 4 manos portuarias de principio a fin con una productividad media de 22,5 mph (movimientos por hora) produciría un BMPH de 90. Asimismo, el mismo buque trabajado por 3 manos portuarias con el mismo rendimiento por grúa produciría un BMPH de 67.5

La realidad como veremos a continuación es muy distinta a este ejemplo, ya que cada grúa tendrá una productividad distinta dependiendo de las bahías donde trabaje y del programa de trabajo. En general una grúa que trabaje en descarga alcanzara una productividad mayor que una grúa trabajando en carga.

Cabe destacar que la mayoría de las terminales de hoy en día disponen de grúas con spreaders con capacidad para cargar en modo Twin Lift (2 contenedores de 20' en una

misma izada). Por tanto en las bahías con gran cantidad de contenedores de 20' esperaremos mayores productividades, ya que la grúa deberá realizar la mitad de izadas para cargar el mismo número de contenedores que una grúa cargando contenedores de 40'. Hay muchos otros factores que causaran retrasos como pueden ser las averías de grúa. Averías de la maquinaria de carga que maneje contenedores con destino a la grúa.

2.3. Con cuantas grúas se trabaja un buque

Son varios los factores que determinan el número de grúas. En primer lugar nos hemos de remitir al *Service Level Agreement* (SLA). El SLA es un contrato que vincula a la naviera y la terminal y en el que se acuerdan entre otras cosas, el número mínimo de grúas que la terminal destinara para trabajar los buques del servicio en cuestión.

Otros puntos importantes del SLA serán la ventana de atraque y los movimientos por escala de buque. En estos la naviera se comprometerá en arribar el buque en un día de la semana y en una franja horaria determinada. El número de movimientos hace referencia al límite mínimo y máximo de movimientos por escala. Ambos puntos muy importantes para la organización de los recursos y la operativa en la terminal.

Una vez conozcamos el número mínimo de grúas según el SLA tendremos que mirar la localización física de los contenedores a descargar y donde deberemos cargar. Normalmente donde hayamos descargado primero. Esta es una tarea que corresponde al central planner o planner de la naviera, esto es, reservar y asignar los espacios del buque de manera que la terminal pueda trabajar con el número de grúas acordado en el SLA.

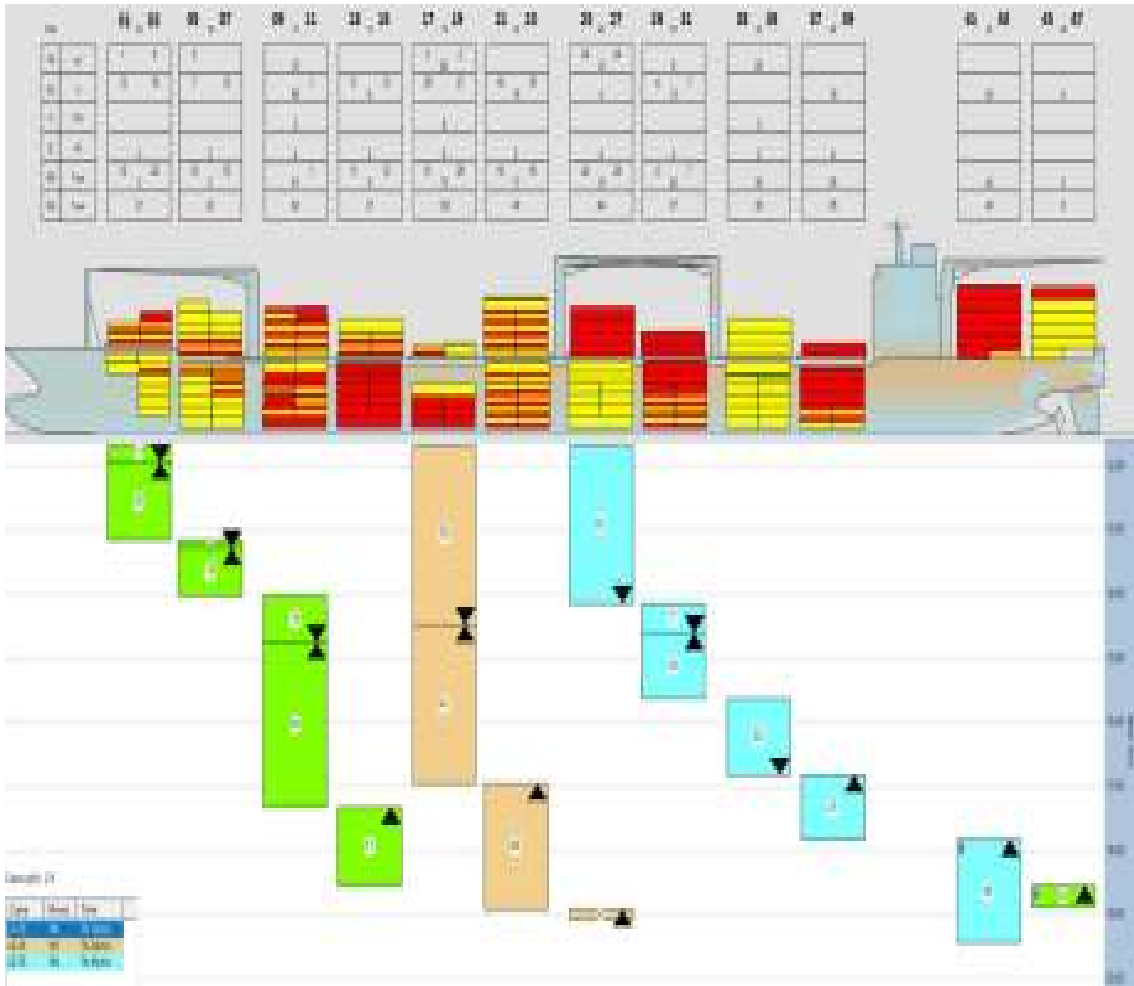


Imagen 1. Planificación Operativa

En la figura superior podemos ver una operativa planificada para 3 grúas. Este documento producido por el central planner también se conoce como *crane split* o distribución de grúas. Cabe destacar, y esto es común en la mayoría de las terminales que trabajan con grúas pórtico, que dos grúas no podrán trabajar en bahías continuas. Al contrario, es necesaria una separación de una bahía de 40' entre dos grúas. En el ejemplo superior, la grúa que trabaja las bahías de proa no podrá trabajar en la bahía 13/15 al mismo tiempo que la grúa central trabaja en la bahía 17/19.

Una mala planificación en la que gran cantidad de los movimientos se encontrasen en las bahías centrales del buque haría imposible el trabajo de las 3 grúas al mismo tiempo. En este sentido es común que las terminales soliciten cambios en el plan al central planner con el objetivo de mejorar las posibilidades de mantener un número determinado de grúas trabajando en todo momento.

2.4. El TTT (*Truck Turnaround Time*)

El TTT es la media de tiempo que un camión externo tarda en ser servido en la terminal. El tiempo se calcula desde que el camión accede a las instalaciones hasta que sale por puerta. Todos los camiones se incluyen en el cálculo sin importar cuantos contenedores

transportaran. Algunos camiones tan solo recogerán un contenedor de importación mientras que otros llevaran dos contenedores de 20' de exportación y recogerán dos contenedores de 20' de importación.

El TTT no incluye el tiempo de espera fuera de la terminal. Esto es importante ya que en muchas terminales se organizan largas colas de espera para acceder a las instalaciones, en especial, en franjas horarias concretas. Normalmente las horas de más afluencia de camiones son a primeras horas de la mañana de 05:00 a 09:00, y de 15:00 a 19:00 de la tarde (según horarios de puerta de cada terminal). Esto es, empresas transportistas que buscan completar dos servicios en un mismo día.

Esta gran afluencia de camiones causa congestión en las carreteras colindantes de la terminal y esto tiene un impacto en la comunidad portuaria. Por otro lado no está en el interés de la terminal sobrepasar un cierto número de camiones en las instalaciones al provocar congestión y retrasos en la operativa de carga, que también pueden impactar negativamente la operativa de buque.

Es por este motivo que cada vez son más las terminales que optan por un sistema de reserva de turnos (VBS – *Vehicle Booking System*). Cada hora de puerta tiene asignada un número máximo de turnos. Cada empresa transportista que quiera acceder a la terminal debe registrarse en el sistema para poder reservar su turno. Una vez se alcanza el límite horario las compañías transportistas deben optar por un horario distinto. Los turnos se deben reservar con antelación, ya que si no se corre el riesgo de no tener acceso a la terminal.

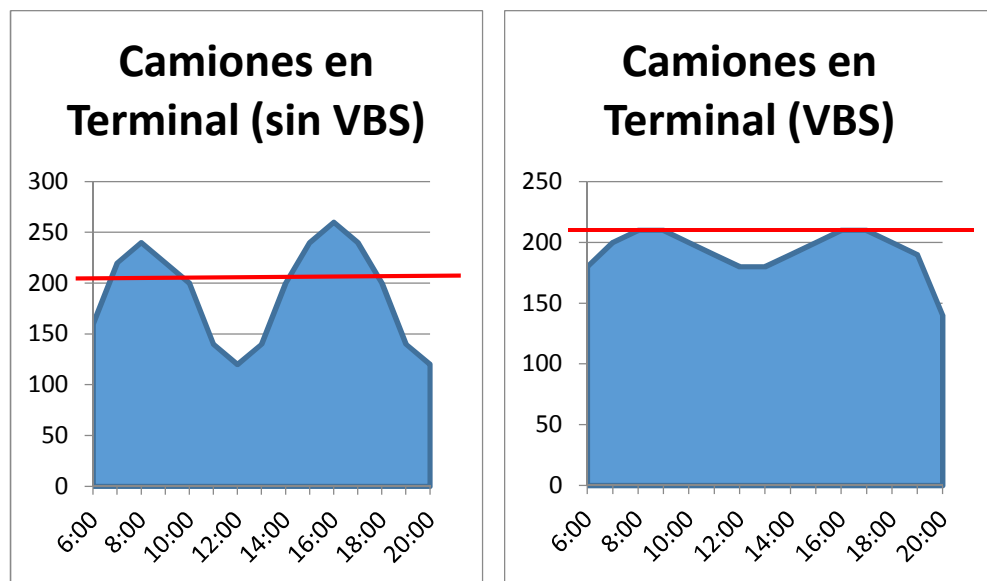


Imagen 15. Comparativa con o sin Sistema de turnos

Este sistema evita largas colas a la entrada de la terminal y un acceso más organizado a la vez que también permite una mejor organización de la operativa de la terminal. Al conocer con antelación los contenedores a entregar la terminal puede efectuar las remociones necesarias para desenterrar y preparar para entrega los contenedores de importación, o bien se pueden destinar más recursos si por ejemplo se espera una gran recepción de vacíos en un hora concreta.

2.5 Los cuellos de botella en la operativa

En toda operativa inevitablemente se producen imprevistos o situaciones no bien anticipadas que terminan en una demora de las operaciones. Hay infinidad de eventualidades que retrasaran la operativa de buque o de la terminal.

En el caso de la operativa de buque se puede producir una demora de la tripulación en desenchufar los contenedores frigoríficos de descarga. Demora de las manos de trinca en destrincar las cubiertas de descarga. Congestión en la campa si esta está mal gestionada. Errores humanos de la mano portuaria o de los planners de la terminal tales como cargar contenedores en lugares equivocados. Mal tiempo que imposibilite o dificulte el trabajo como pueden ser días de mucho viento y un largo etcétera. Todas ellas son situaciones que pararan a la grúa o disminuirán el ritmo de carga o descarga.

Como hemos visto con anterioridad, está en el interés de la terminal mantener unas productividades elevadas y sostenidas en el tiempo que le permitan atraer nuevos negocios. Es por esto que uno de los principales cometidos de los equipos que dirigen la operativa de la terminal es avanzar y atajar cualquier tipo de demora.

Pero más allá de las distintas eventualidades que se puedan dar, toda operativa siempre tendrá un cuello de botella. Esto es, un factor determinante que limitara la productividad de la grúa. La terminal ya puede disponer de las grúas más nuevas y con las últimas tecnologías, pero si no le llegan contenedores desde la campa con fluidez no podrá rendir de forma óptima.

Por esto es determinante que la terminal tenga una campa bien gestionada, con una estrategia de planificación bien definida que de fluidez a las operaciones. Por otro lado la mano portuaria deberá contar con recursos suficientes para mantener un buen rendimiento. Una grúa con un solo camión para transportar contenedores desde la campa a buen seguro no podrá realizar un buen rendimiento. Por último es igualmente importante contar con un gruista experimentado.

Bibliografía

Aguilar Herrando, José., Arnau Vinaixa, Emilio., Gomez-Ferrer Boldova, Ramón., Martínez Alarcon, Julio., Monfort Mulinas, Arturo., Monterde Higuero, Noemí., Palomo Toralva, Pablo. 2001. "Terminales marítimas de contenedores: el desarrollo de la automatización." Instituto portuario de estudios y cooperación de la comunidad Valenciana IPEC.

Bryfors, Uno, Cederqvist, Hans, Henriksson, Björn., and Spink, Andrew. 2006. "Grúas Inteligentes." Revista ABB 3/2206. ABB Process Automation. Vasteras.

Burgers, Joppe.; De Jong, Michiel.; Veeke, H. P. M.; and Vellinga, Tiedo. 2011. "Developing a Tool for Designing a Container Terminal Yard". Royal Haskoning Enhancing Society.

Calduch Verduch, David., Martín Soberón, Ana María., Monfort Mulinas, Monterde Higuero, Noemí., Arturo., y Sapiña García, Rafael. 2014. "Automatización en terminales portuarias de contenedores." Fundación Valenciaport.

Camarero A.- Cazalla R. en "Automatización de Terminales Portuarias: Evolución Tecnológica". (Disponible en www.cidessport.com.br/sites/default/files/a52693.pdf).

Cederqvist, Hans. 2012. "Container terminal yard automation". Port equipment manufacturers association, London, England.

Cederqvist, Hans. 2007. "Equipment for yard Automation." AAPA Facilities Engineering Seminar.

De Koster, M. B. M.; Gupta, Akash.; Parhi, Sampanna.; and Roy, Debjit. 2014. "Optimal Stack Layout in a Sea Container Terminal with Automated Lifting Vehicles".

De Souza, Adalmir J., Marí Sagarra, Ricardo., Martín Mallofré, Juan., and Rodrigo de Larrucea, Jaime. 2003. "El transporte de contenedores terminales operatividad y casuística." Ediciones UPC.

DREWRY, 2014. *Container Terminal Capacity and Performance Benchmarks*. London: Shipping Consultants Drewry

Ho Yang, Chang, Seok Choi, Yong., and Young Ha, Tae. 2004. "Simulation-based performance evaluation of transport vehicles at automated container terminals." Shipping, Logistics and Port Research Center.

Kim, Kap Hwan., Phan-Thi, Mai-Ha., and Ryu, Kwangyeol. 2013. "Comparing Cycle Times of Advanced Quay Cranes in Container Terminals". *Industrial Engineering & Management Systems* Vol.12 n°. 4 pp. 359-367.

Koster, Rene and Vis, Iris F.A. 2003. "Transshipment of containers at a container terminal: An overview". *European Journal of Operational Research*.

Rodrigo de Larrucea, Jaime 2018. "Manual de Transporte en contenedor". Ed. Marge Books, Barcelona.

Rodrigo de Larrucea, Jaime *et altri*, 2014. "Transporte en contenedor". Ed. Marge Books, Barcelona.

Saenen, Yvo A. 2008. "Head To Head For Today's State of the art Robotised Container Transportation Equipment". Disponible en <http://www.copybook.com/freight/companies/tba-bv/articles/head-to-head-for-todays-stateofheart-robotised-container-transportation-equipment>.

Saenen, YvoA., and Valkengoed, Margaret V. 2005. "Comparison of three automated stacking alternatives by means of simulations". Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference.