

4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management
XIV Congreso de Ingeniería de Organización
Donostia- San Sebastián , September 8th -10th 2010

Operativa de transferencia y programación de grúas en la terminal de contenedores del puerto de Sevilla

Carlos Arango¹, Pablo Cortes¹, Jesús Muñuzuri Sanz¹

¹ Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. Camino de los Descubrimientos, s/n, Isla de la Cartuja, 41092 Sevilla. cap@esi.us.es, pca@esi.us.es, munuzuri@esi.us.es.

Resumen

En éste trabajo se realiza el análisis de la operativa de transferencia y la programación de grúas en la terminal de contenedores Batan del Puerto de Sevilla. Para esto es propuesto un modelo de simulación discreta utilizando el software ARENA 11.0. El objetivo es identificar los principales cuellos de botella en la terminal de contenedores teniendo en cuenta datos de tráfico actuales. De acuerdo con los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones se realiza un diagnostico de la situación actual del puerto y se proponen posibles mejoras.

Palabras clave: Puerto, asignación, manipulación, simulación.

1. Introducción

Las terminales portuarias son un nodo básico en las redes de transporte mundiales, por lo cual todas las operaciones de estas deben ser optimizadas con el fin de lograr la máxima productividad global en este nodo de la red. Ambrosino, Sciomachen y Tanfani (2004). Diferentes autores han realizado una división de la operativa de la terminal marítima de contenedores en sub-sistemas, lo cual permite un mejor aprovechamiento de los recursos debido a la diversidad en la maquinaria que se emplea para su funcionamiento.

En la literatura encontramos trabajos como los realizados por Steenken D, Voß S, Stahlbock R (2004) y Steenken D, Voß S. (2008) en los cuales los autores recopilan los principales trabajos relacionados con la gestión de las terminales de contenedores, los autores agrupan los diferentes trabajos según el sub-sistema de la terminal gestionado, se debe tener en cuenta que la operativa de cada terminal depende de su tipo, lo cual a su vez depende de factores como tamaño, tipo de mercancía manipulada, etc. entre los diferentes tipos de terminal los dos principales grupos son las terminales de contenedores especializadas “hubs” y las terminales de contenedores multipropósito. En la figura 1 se clasifican los sub-sistemas de una terminal de contenedores marítima.

La simulación de eventos discretos proporciona una excelente herramienta para la evaluación de diferentes estrategias de asignación de recursos, ubicación de contenedores, configuraciones físicas de la terminal, posicionamiento de grúas y ayuda a la toma de decisiones en los subsistemas involucrados. Autores como Cortes P. et al (2007) proponen un modelo de simulación para analizar el tráfico de buques en el puerto de Sevilla, los autores consideran todos los tipos de mercancías que son movilizadas en el puerto. Liu C., Jula H. y Ioannou P. (2002) proponen un modelo de simulación para analizar el rendimiento de cuatro terminales de contenedores automatizadas y analizar los costos de funcionamiento. En los trabajos propuestos por Demetro L. et al (2006) y Legato P. et al (2009) son utilizados modelos de simulación y optimización de forma complementaria para la programación y asignación de diferentes recursos tales como las grúas pórtico.

La utilización de vehículos auto guiados para la manipulación de contenedores en los puertos han dado lugar a trabajos como los propuestos por Vis I. y Harika I. (2004) y Yang C., Choi Y. y Ha T. (2004) en los cuales utilizando modelos de simulación, se evalúa el rendimiento de dos tipos de vehículos auto guiados distintos AGV y ALV. Liu C. et al (2004) proponen un modelo de simulación para evaluar el rendimiento de vehículos auto guiados en dos terminales de contenedores con diferente estrategia de almacenamiento de contenedores en la explanada, los autores determinan el numero optimo de este tipo de vehículos que deben ser utilizados en cada caso.

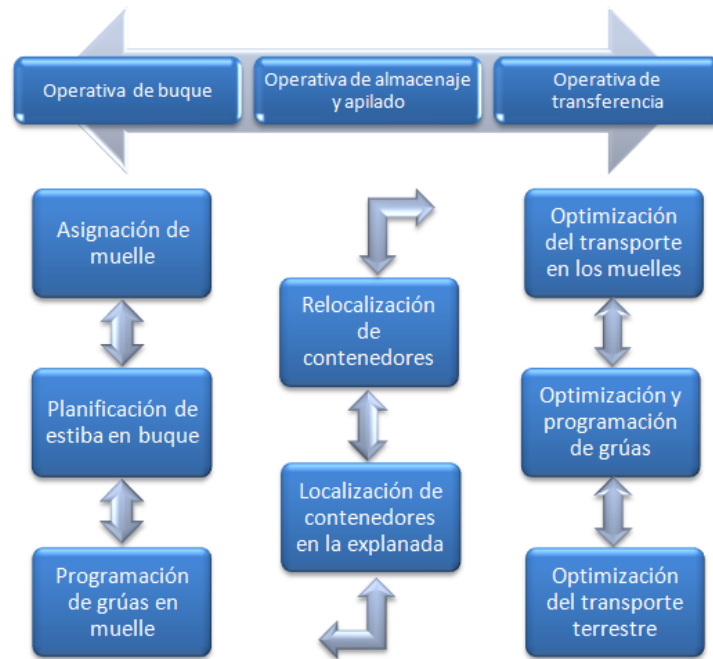


Figura 1. Operativas de una terminal marítima de contenedores

Las terminales marítimas con poco tránsito de contenedores en la mayoría de los casos no tendrían la clasificación de sub-sistemas u operativas mostradas en la figura 1 ya que por sus características particulares disponen de sus propias operativas, o bien agrupan algunas de ellas, ya que su complejidad es mucho menor.

En este trabajo analizamos la situación actual de la terminal de contenedores del Puerto de Sevilla, para lo cual utilizamos el software Arena 11.0, el cual permite realizar modelos de simulación discreta. El escenario de simulación y la información que se tuvo en cuenta para diseñar el modelo es expuesta en el apartado 2, luego en el apartado 3; se describe la metodología utilizada y el modelo de simulación propuesto, los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas son mostrados en el apartado 4, finalmente las conclusiones son expuestas en el apartado 5, en este último apartado también son propuestas líneas de acción para aumentar la competitividad y eliminar los cuellos de botella del Puerto de Sevilla.

2. Escenario de simulación

El puerto de Sevilla es el único puerto interior de España, el cual está ubicado en la ribera del río Guadalquivir y ha sido a través del tiempo uno de los principales puertos de cabotaje del país, esto debido a la regularidad y alta frecuencia de los servicios hacia las islas Canarias así como a otros puertos españoles y europeos, lo cual permite que sea catalogado como uno de los principales nodos en las redes de transporte marítimo de corta distancia.

La autoridad portuaria de Sevilla (APS) entidad encargada de gestionar el Puerto de Sevilla está conformada por varias terminales especializadas en el manejo de diferentes mercancías como; la terminal UTE Batan para contenedores, TLP Esclusa para cereales, Holcim para cemento, GPMA para hierro y metales, TLD Grupo Gallardo para chatarra, etc. En el modelo de simulación presentado solo se considera la terminal de contenedores Batan y las instalaciones necesarias para la operación de contenedores, la figura 2 muestra el escenario de simulación.

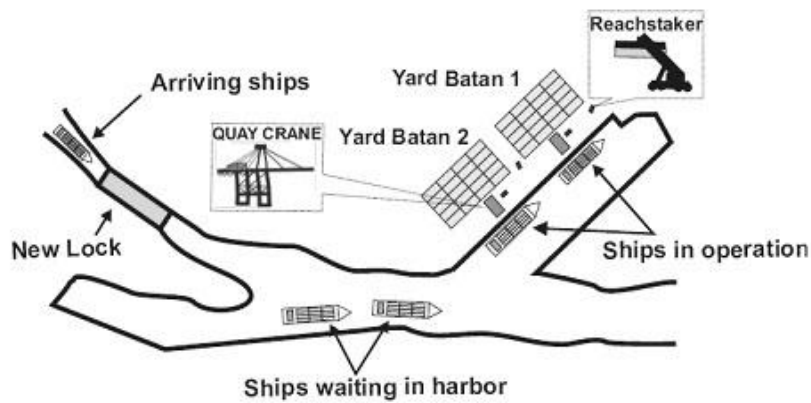


Figura 2. Escenario de simulación

Los datos de tráfico utilizados están resumidos en la tabla 1, estos fueron obtenidos de la página web de la APS durante febrero del 2009 y en los cuales se puede analizar que en promedio llegan mensualmente al puerto 32 busques portacontenedores, lo que indica que el puerto de Sevilla tiene un bajo nivel de tráfico comparado con puertos como el de Barcelona o Algeciras, esto es debido a que al puerto solo pueden llegar buques de pequeñas dimensiones que logren pasar por la vieja esclusa, el principal cuello de botella del Puerto de Sevilla. La información correspondiente a la infraestructura disponible con que cuenta el Puerto de Sevilla para realizar las diferentes operaciones de manipulación en la terminal Batan es tomada de la memoria anual del puerto de Sevilla del 2008, y es presentada en la tabla 2

Tabla 1. Tráfico del puerto de Sevilla en febrero de 2009

Origen / Destino	Frecuencia	Buques	Contenedores		
			Mínimo	Máximo	Promedio
España	2/Semana	8	64	429	243
Marruecos	1/Semana	4	100	157	114
España	1/Semana	4	54	86	75
Alemania	1/Semana	4	30	43	41
España	1/Semana	4	64	86	75
Reino Unido	1/Semana	4	43	430	214
Holanda	1/Semana	4	86	114	98

Tabla2. Infraestructura del Puerto de Sevilla

Remolcadores	Carretillas	Rampas Ro-Ro	Zona de almacenaje	Capacidad /TEUS	Grúas pórtico
2	17	2	97,310m ²	150,000	2

3. Metodología

Al puerto de Sevilla llegan buques portacontenedores para realizar operaciones de descarga y carga en los muelles cada $t_{llegada_B}$ días. Los buques llegan hasta la entrada del puerto y esperan a los barcos remolcadores limitados por R_{max} , los cuales guían a los buques hasta el muelle asignado. A cada buque se le asigna un muelle existiendo un número limitado para su atraque de M_{max} . Si todos los muelles y/o remolcadores están ocupados, los buques deben esperar en la entrada del puerto.

El tiempo que estará cada buque en el muelle dependerá de tres puntos clave: 1.) La cantidad de contenedores a descargar y cargar; 2.) La ubicación en la explanada de los contenedores a cargar en el buque; y 3.) La cantidad de carretillas disponibles para realizar el transporte de los contenedores. Cada muelle tendrá asignado solo una grúa pórtico manejando igual número de grúas y muelles.

De igual forma al puerto llegan camiones para carga o descarga de contenedores (a diferencia de los buques cada camión solo puede realizar una de las dos operaciones) cada $t_{llegada_C}$ minutos. En cada camión se realiza un control a la entrada y se asigna una plaza dentro del puerto en donde debe esperar para ser atendido por la maquinaria de manipulación existiendo un número limitado de plazas de P_{max} , a su vez también existe una cantidad limitada de grúas para realizar todas las operaciones de movilización de contenedores para carga y descarga tanto a camiones como a buques de G_{max} . Cada camión que llega con contenedores al puerto tarda un tiempo constante de t_{descar_Ca} minutos para su descarga, a diferencia del tiempo de carga que viene dado por una distribución triangular teniendo en cuenta que los contenedores están localizados en diferentes lugares y también la disponibilidad de las grúas, en la figura 2 se muestra el diagrama de ciclo de actividades.

3.1 Modelo de simulación

De acuerdo con lo expuesto en la metodología, el modelo de simulación está compuesto por los siguientes grupos de módulos. 1. Llegada de camiones, 2. Llegada de buques, 3. Asignación de muelles y 4. Operación de descarga y carga en los muelles. Estos módulos representan las principales operaciones de manipulación que se llevan a cabo en la terminal de contenedores del Puerto de Sevilla. El criterio para la asignación de recursos en los diferentes procesos es “primero en llegar primero en servirse” el cual es bastante utilizado en los sistemas logísticos y en estrategias de asignación de recursos Lai K. y Shih K. (1992).

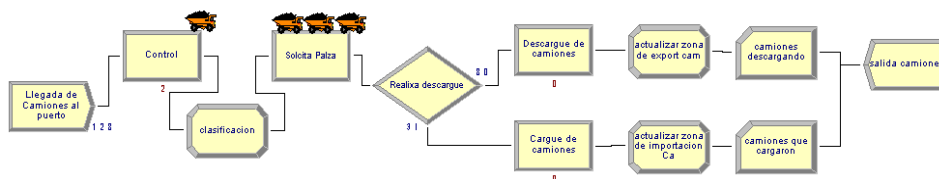


Figura 3. Módulo de llegada de camiones

La figura 3 muestra los módulos que representan la llegada de los camiones en el cual se utiliza un modulo *Decide* para clasificar los camiones que llegan al puerto dependiendo del tipo de operación que van a realizar ya sea cargar o descargar contendores. Las figuras 4 y 5

representan la llegada de los buques y la asignación de los muelle respectivamente, los buques después de pasar la esclusa entran en un módulo *Seize* en el cual solicitan un muelle, si hay alguno libre pasa directamente a este pero si no entran a la cola *espera_muelle*.

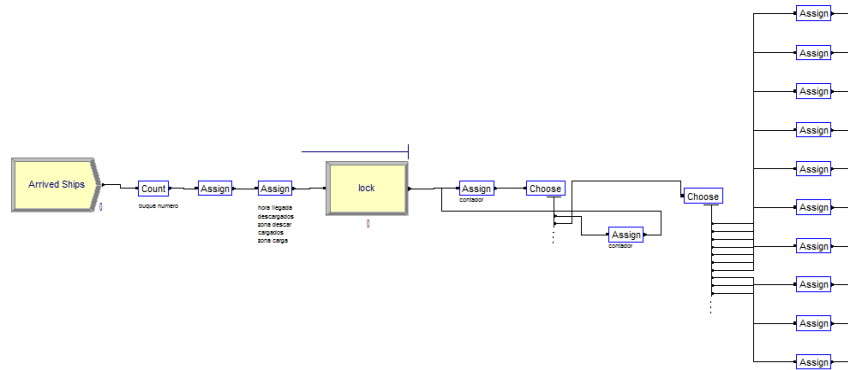


Figura 4. Módulo de llegada de buques

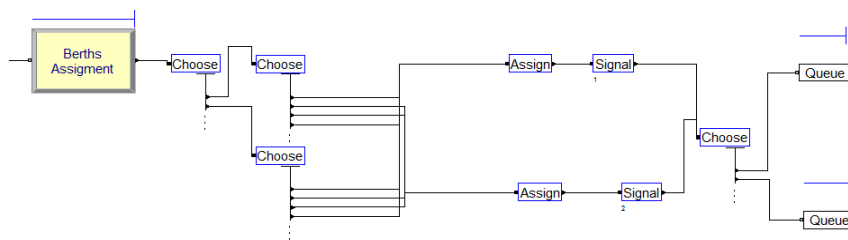


Figura 5. Módulos de asignación de Muelle

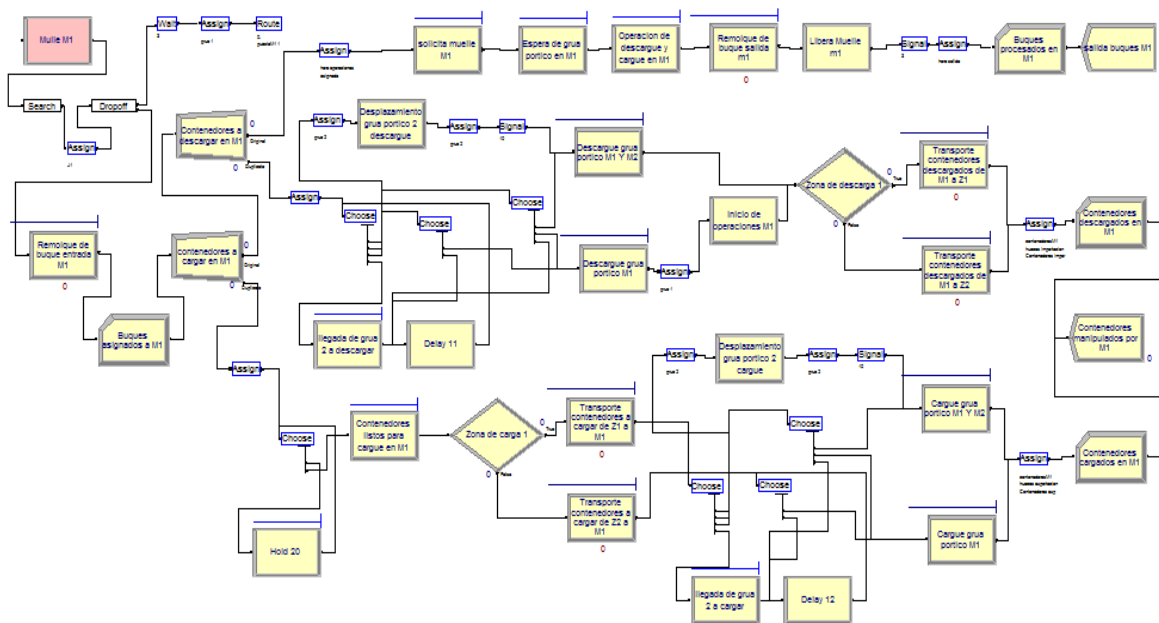


Figura 6. Módulo de operaciones de descarga y carga en el muelle

Los módulos de la figura 6 representan las operaciones de manipulación que se realizan en los muelles y la zona de almacenamiento de la terminal de contenedores. El tiempo que tarda un buque en el muelle dependerá de unas características asignadas a su llegada con un modulo *asigne* tales como la cantidad de contenedores a cargar y descargar, la localización de estos contenedores en la zona de almacenamiento y la disponibilidad de carretillas en ese instante

de tiempo. Se utiliza un module *Hold* para asegurar que las operaciones de descarga inicien después de haber terminado con las operaciones de carga.

4. Resultados

Se han realizado siete simulaciones para verificar la viabilidad del modelo diseñado y presentado en el apartado anterior, en la figura 7 podemos ver los intervalos de tiempo entre las llegadas de un buque y el siguiente, así como también con que probabilidad ocurre esto. Esta información corresponde a las líneas marítimas expuestas en la tabla 1, por lo cual está basada en datos reales tomados de la página web de la APS. En este apartado se analizan los diferentes resultados obtenidos y se calcula la desviación típica de estos.

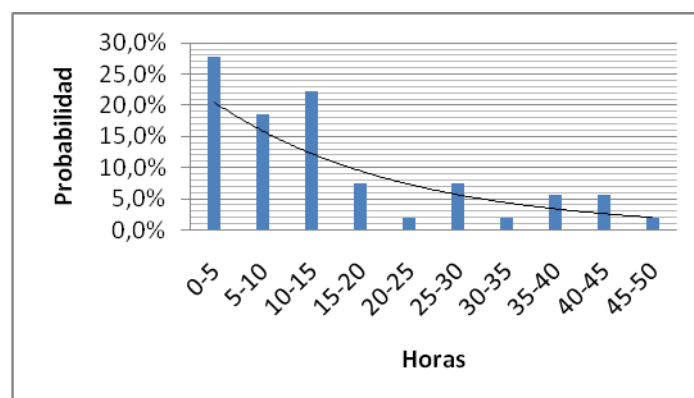


Figura7. Intervalos de tiempo entre las llegadas de los buques

En la Tabla 3 esta sintetizada la información del tráfico de buques y contenedores que arroja cada una de las simulaciones; podemos ver que llegaron al puerto 33 buques en promedio durante los 30 días de simulación, los cuales fueron asignados en proporciones similares a los muelles M1 y M2, esto debido a que la probabilidad que los contenedores a cargar estén localizados en la zona de almacenaje 1 o 2 es la misma.

Tabla 3. Trafico de buques y contenedores

Entidades	Numero de Simulación							Promedio	Desviación Estándar
	1	2	3	4	5	6	7		
Buques en puerto	27	28	33	34	34	39	34	32,71	4,07
Buques asignados a M1	17	12	16	15	13	18	17	15,43	2,23
Buques asignados a M2	10	16	17	19	21	21	17	17,29	3,77
Total contenedores descargados	3497	3017	4437	3501	4021	4754	4217	3920,44	609,88
Contenedores descargados en M1	2074	1068	1773	1322	1659	1657	2373	1703,76	436,71
Contenedores descargados en M2	1423	1949	2664	2178	2362	3097	1843	2216,68	553,58
Total contenedores cargados	4317	4176	5225	4418	5557	5196	4251	4734,14	570,12
Contenedores cargados M1	2705	2031	2569	1690	2486	2213	1654	2192,59	420,40
Contenedores cargados M2	1612	2145	2655	2729	3071	2982	2597	2541,56	507,69

La tabla 4 muestra los principales tiempos de duración de las operaciones de carga-descarga y tiempo de espera en cada una de las simulaciones. Los tiempos de operación promedio en los dos muelles son similares ya que ambos tienen grúas pórtico tipo panamax con capacidad de gestionar 30 contenedores por hora. Al analizar los tiempos de espera podemos identificar

puntos críticos del puerto ya que en el peor de los casos un buque debe esperar por un muelle 27,5 horas a lo que se le tiene que sumar el tiempo que tardará en las operaciones para descargar y cargar los contenedores el cual está entre 3 y 22 horas, con un promedio de 8 horas.

Tabla 4. Tiempos de operación y espera en horas

Simulación Numero	Tiempos de operación por muelle						Tiempo de espera		
	Tiempo de operaciones en M1			Tiempo de operaciones en M2			Promedio	Mínimo	Máximo
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo			
No. 1	8,31	3,28	20,67	8,24	2,14	22,44	1,28	0,00	12,06
No. 2	6,53	3,26	14,63	7,13	3,34	23,42	0,38	0,00	5,60
No. 3	9,20	3,30	22,24	9,88	3,31	22,38	1,99	0,00	27,36
No. 4	6,76	3,30	21,93	8,10	3,31	22,37	3,74	0,00	24,62
No. 5	8,72	3,25	22,95	7,86	2,63	20,10	0,33	0,00	5,69
No. 6	8,76	2,14	30,06	9,67	3,33	22,47	1,24	0,00	17,60
No. 7	9,74	2,67	24,20	10,86	3,25	33,11	1,89	0,00	20,39
Promedio	8,29	3,03	22,38	8,82	3,04	23,75	1,55	0,00	16,19

El tiempo que un buque permanece en el Puerto de Sevilla es 10,2 horas en promedio, para tomar este tiempo se utiliza como punto de referencia el paso por la esclusa. Este tiempo es considerado como el tiempo de servicio de cada buque y está conformado por: el tiempo que los buques esperan hasta que el muelle asignado queda libre, las operaciones de remolque tanto para ida como para regreso al muelle del centenario y las operaciones de descarga y carga de contenedores. En la tabla 5 son clasificados los buques según el tiempo de servicio que tuvieron y para mayor claridad es agrupado en intervalos de 5 horas.

Tabla 5. Tiempo de permanencia de un buque en el puerto

Simulación Numero	Tiempo de servicio en Horas									Promedio
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	
No. 1	10,64%	57,45%	14,89%	2,13%	12,77%	2,13%				10,48
No. 2	10,20%	69,39%	12,24%	4,08%	4,08%					8,61
No. 3	11,32%	45,28%	13,21%	13,21%	7,55%	1,89%	1,89%	3,77%	1,89%	12,53
No. 4	11,11%	46,30%	18,52%	5,56%	5,56%	9,26%	1,85%	1,85%		11,90
No. 5	9,26%	55,56%	14,81%	16,67%	1,85%	1,85%				9,58
No. 6	13,56%	57,63%	13,56%	11,86%	3,39%					9,09
No. 7	11,11%	59,26%	14,81%	9,26%	5,56%					9,23
Promedio	11,03%	55,84%	14,58%	8,97%	5,82%	3,78%	1,87%	2,81%	1,89%	10,20
Desviación Estándar	1,32%	8,20%	2,00%	5,29%	3,56%	3,65%	0,02%	1,36%	0,00%	1,50

En la última columna de la tabla 5 se muestra el tiempo de servicio promedio en cada simulación, analizando esta información podemos concluir que el tiempo que un buque permanece en el Puerto de Sevilla está entre 8,6 y 12,5 horas. Por lo general el máximo tiempo de servicio llega a ser de 30 horas, aunque en algunos casos este puede llegar a un máximo de 45 horas. En la figura 8 se muestra de manera más clara el porcentaje de buques según el tiempo de permanencia en el puerto, estos son agrupados en intervalos de cinco horas

y se puede ver que más de un 50 % de los buques permanece en el Puerto de Sevilla entre 5 y 10 horas.

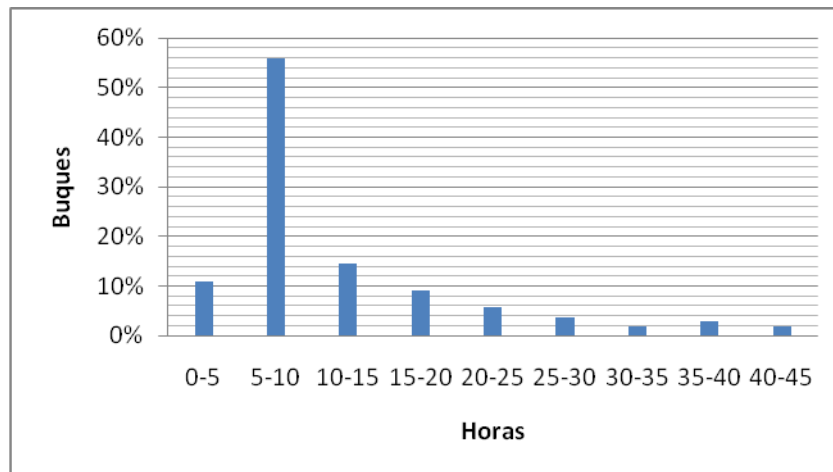


Figura 8. Porcentaje de buques según el tiempo de servicio

5. Conclusiones

La nueva esclusa que está construyendo el Puerto de Sevilla eliminara su principal debilidad y cuello de botella ya que al ser de mayor dimensión permitirá la llegada de buques de mayor calado y mayor capacidad de contenedores. Esto ocasionara que el cuello de botella sea transferido a otras zonas de la terminal ya que todas las instalaciones e infraestructura del puerto están acorde a las dimensiones del canal de acceso y de la esclusa. La nueva esclusa no permitirá la captación de rutas marítimas que utilizan grandes buques, pero se convierte en una oportunidad para el puerto sí se enfoca en la captación de rutas de TMCD, ya que según Martínez X. y Castells M. (2005) el calado medio de los buques que realizan TMCD con el resto de Europa es de 6,8 m.

Una de las zonas que puede llegar a convertirse en uno de los futuros cuellos de botella son los muelles, ya que en la actualidad del total de tiempo que un buque permanece en el puerto un 18% corresponde a tiempo que éste pasa esperando a que quede libre el muelle que le ha sido asignado. Por lo tanto un incremento del tráfico podría ocasionar un aumento en ese tiempo de espera, debido a que el puerto posee poca maquinaria para la manipulación de contenedores, un aspecto clave para la intermodalidad y el TMCD. Una estrategia para eliminar esta debilidad es la utilización de técnicas de optimización para gestionar la asignación de los muelles a los buques y la programación de las grúas pórtico.

Referencias

- Ambrosino D, Sciomachen A, Tanfani E (2004). Stowing a containership: the master bay plan problem. *Transport Research A*, 38, 81–99.
- Cortés P., Muñuzuri J., Ibáñez Nicolás, Guadix J. (2007). Simulation of freight traffic in the Seville inland port. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15, 256-271.
- Demetro L. et al (2006) Solving simulation optimization problems on grid computing systems. *Parallel Computing* 32, 688 – 700.
- Lai K. y Shih K. (1992) A study of container berth allocation. *Journal of Advanced Transportation* 26, 45-60.

Legato P. et al. (2009) Yard management by simulation and optimization. *Maritime Economics and Logistic* 11, 36 – 57.

Liu C., Jula H., Ioannou P. (2002). Design, Simulation, and evaluation of automated container terminals. *IEEE Transactions on Intelligent transportation Systems* 3, 12 – 26.

Liu C., Jula H., Vukadinovic K., Ioannou P. (2004). Automated uided vehicle system for two container yard layouts. *Transportation Research Part C* 12, 349 – 368.

Martínez X. y Castells M. (2005). Análisis de los buques dedicados al transporte marítimo de corta distancia internacional en España. *TRANSMAR*

Puerto de Sevilla, Memoria anual 2008.

Steenken D, Voß S, Stahlbock R (2004). Container terminal operations and operations research - a classification and literature review. *OR Spectrum*, 26, 3–49.

Steenken D, Voß S. (2008). Operations research at container terminals: a literature update. *OR Spectrum*, 30, 1–52.

Vis I. y Harika I. (2004). Comparison of vehicle types at an automated container terminal. *OR Spectrum* 26, 117 – 143.

Yang C., Choi Y. y Ha T. (2004). Simulation-based performance evaluation of transport vehicles at automated container terminals. *OR Spectrum* 26, 149 – 170.

www.apsevilla.com