

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE INTERNO EN UN TERMINAL DE CONTENEDORES

Felipe Allendes Silva
Pontificia Universidad Católica de Chile
Departamento de Ingeniería de Transporte
Tel: 56-2-686 4270 Fax: 56-2-553 0281; E-mail: fallende@ing.puc.cl

Rodrigo Garrido Hidalgo
Pontificia Universidad Católica de Chile
Departamento de Ingeniería de Transporte
Tel: 56-2-686 4270 Fax: 56-2-553 0281; E-mail: rgarrido@ing.puc.cl

RESUMEN

El sistema de transporte interno consiste en la utilización de vehículos para el traslado de contenedores desde el sitio donde se encuentre el barco atracado hacia la zona de acopio y viceversa.

La forma más común de operación del sistema de transporte interno es mediante una flota fija de remolques que se mueve en un circuito cerrado. Debido a estas características, resulta conveniente estudiar el sistema utilizando el modelo analítico de colas cíclicas, el cual consiste en una sucesión finita de etapas (mulle, acopio, viaje), cada una con un determinado servidor (grúas), en el cual circula un número fijo de entidades (remolques).

Mediante la construcción de un ejemplo, el cual representa una configuración típica de un terminal de contenedores, se estudian cuatro formas de incrementar la eficiencia del terminal, medido en su capacidad de transferencia (TEU/hr), mediante modificaciones en la operación del sistema de transporte interno.

En primer lugar se estudia el efecto que tiene asignar un número fijo de remolques en más de una flota. A partir de la determinación del número óptimo de flotas, se estudia el efecto que tiene aumentar el número de remolques pertenecientes a una misma flota. Se analiza además como la variación de las velocidades de operación de los remolques y la distancia promedio del circuito puede afectar la capacidad de transferencia del terminal. Finalmente se realizan modificaciones al número y capacidad de grúas de patio a modo de evaluar su impacto en el rendimiento del sistema.

Se concluye con el resumen y comparación de los resultados de las diferentes medidas, a modo de proponer una forma eficiente de incrementar la capacidad de transferencia del sitio según sean las necesidades y características de cada terminal.

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de transporte interno comprende el uso de vehículos para el traslado de contenedores desde el muelle hacia la zona de acopio y viceversa. La operación de este sistema es realizada por una flota de vehículos, cada uno de los cuales, para el caso de descarga de contenedores realiza el siguiente circuito: parte bajo la grúa desde donde toma un contenedor, luego viaja hacia la zona de acopio donde el contenedor es dejado y a continuación vuelve a situarse bajo la grúa para repetir el proceso. Para el caso de carga de un barco la operación es la misma pero en sentido contrario. El proceso anterior se ilustra en la figura 1.

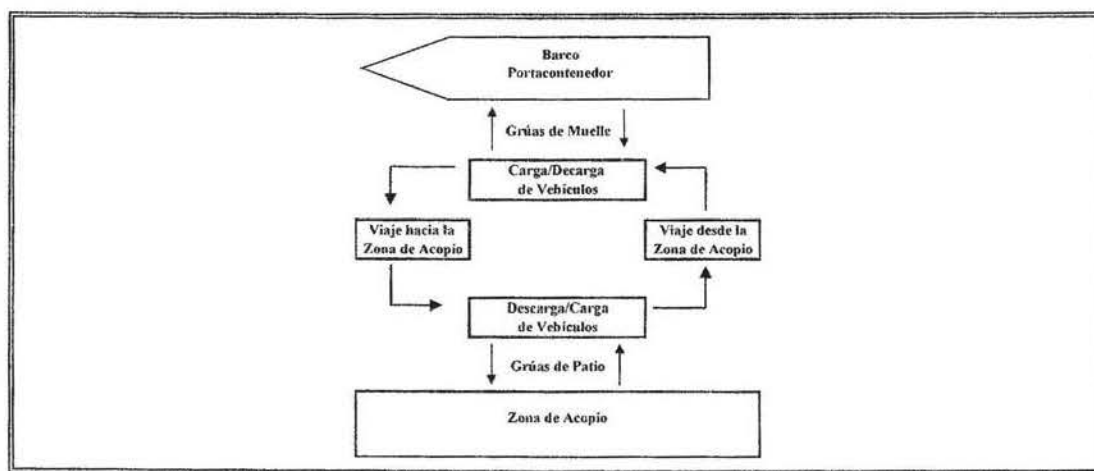


Figura 1: Ciclo del Sistema de Transporte Interno

En general existen dos tecnologías utilizadas como vehículos de transferencia, estas son: remolques y carretillas pórtico.

Los remolques pueden ser camiones comunes o tractores especializados los cuales cuentan con un chasis donde transportan el contenedor. Su principal ventaja es el bajo costo de los remolques respecto a los equipos alternativos, (un camión común cuesta aproximadamente U\$50.000). Su desventaja está en el hecho que requieren equipamiento de patio para la carga y descarga de contenedores en el chasis.

Las carretillas pórtico son equipos capaces de levantar y trasladar contenedores, cargar y descargar contenedores desde camiones y ordenarlos en pilas de hasta tres contenedores de alto. De este modo, su principal ventaja radica en el hecho que aparte de tomar y llevar los contenedores desde la zona del delantal (donde son dejados por la grúa), pueden operar como equipamiento de patio. Su principal desventaja es su alto costo de compra y mantención¹.

¹ UNCTAD 1980 reporta un valor de una carretilla pórtico de U\$250 mil, y están fuera de servicio por mantención aproximadamente un 30% del tiempo.

Debido a las características de operación planteadas y a las sugerencias efectuadas en UNCTAD 1980, es recomendable que para los países en desarrollo (como Chile), utilizar el sistema de remolques para el transporte interno de carga, por requerir principalmente de inversiones menores.

2. OBJETIVOS Y DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El sistema de transporte interno en un terminal quedará definido por los siguientes componentes:

Configuración de la flota de Remolques	Configuración del Terminal
Número de Remolques	Número y Capacidad de Grúas de muelle
Velocidad Remolque Cargado	Número y Capacidad de Grúas de patio
Velocidad Remolque Descargado	Distancia Promedio entre muelle y patio

Tabla 1: Componentes que definen el Sistema de Transporte Interno

El objetivo de este trabajo consiste en evaluar cómo y en qué medida afectan la capacidad de transferencia del terminal (medida en TEU/hr.) cambios en los valores de los componentes del sistema transporte interno. Lo anterior permitirá entregar al operador portuario una guía que le permita incrementar de forma eficiente la capacidad de transferencia del terminal mediante modificaciones adecuadas a dichos valores.

Para lograr este objetivo, el análisis del sistema de transporte interno se efectuará con base en el modelo analítico de colas cíclicas (ver Carmichael 1987) debido a que es la modelación que mejor se ajusta a la características de operación del sistema. Estas características son:

- i) La flota de remolques opera en un circuito cerrado sin salida ni entrada de nuevos remolques durante la operación.
- ii) El tiempo que toma proceso de carga o descarga de un barco es lo suficientemente extenso como para considerar que el sistema entra en estado de régimen.

El primer paso para la utilización del modelo de colas cíclicas consiste en definir las etapas que conforman el sistema. Para el caso del sistema de transporte interno, las etapas son las siguientes:

1. Etapa de viaje del remolque desde el muelle hacia la zona de acopio, que por ser una etapa de transporte se modela como de autoservicio (ver Carmichael 1987), con tasa promedio μ_{v1} .
2. Etapa de Descarga/Carga de remolques en la zona de acopio. Esta etapa cuenta con C_A grúas de patio cada una con una tasa de servicio promedio μ_A .
3. Etapa de viaje del remolque desde la zona de acopio hacia el muelle. El viaje hacia el muelle se realiza a tasa promedio μ_{v2} la cual es mayor (menor) a μ_{v1} , para el caso de importación (exportación), por ir el remolque descargado (cargado).

4. Etapa de Carga/Descarga del remolque en la zona de muelle. Esta etapa cuenta con C_M grúas de muelle cada una con una tasa de servicio promedio μ_M .

Como se explica en Carmichael 1987 las etapas de transporte (en este caso 1 y 3) se pueden agregar en una única etapa de transporte con tasa μ_T . De este modo el sistema pasará a contar con tres etapas (Etapa Transporte, Etapa Acopio y Etapa Muelle), como lo muestra la figura 2.

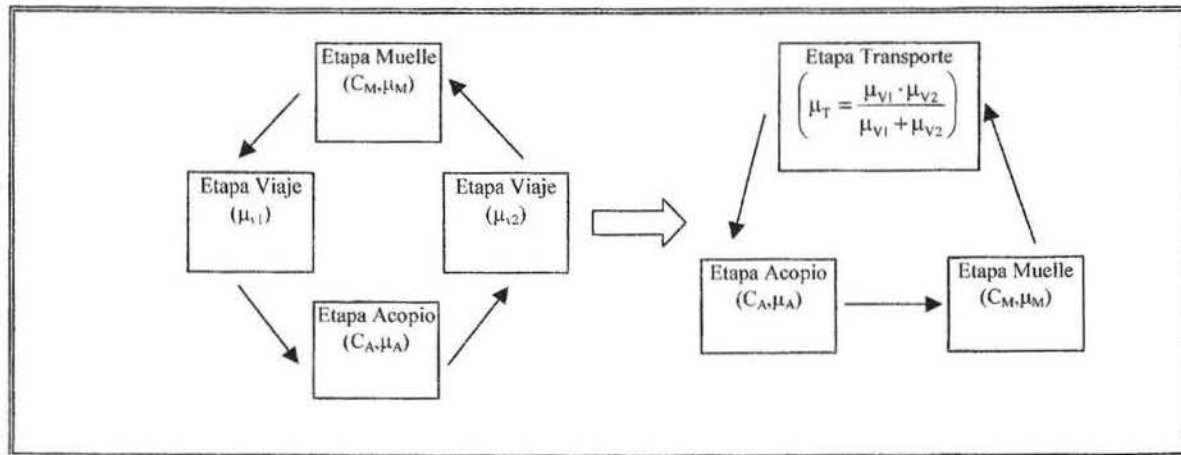


Figura 2: Reducción del Sistema de Transporte de Cuatro a Tres Etapas

La tasa de servicio (o de transferencia) promedio (μ_{Promedio}) de las grúas se obtiene multiplicando la tasa de transferencia máxima ($\mu_{\text{Máxima}}$) por uno o más factores (f_i), cada uno asociado a un cierto fenómeno de pérdida de capacidad de tipo i (por ejemplo: detención por fallas, condiciones climáticas adversas, habilidad del operador, etc.). Al-Kazily 1982, Kiesling 1991 y UNCTAD 1980 sugieren dos factores como los más relevantes a considerarse al momento de calcular la tasa promedio de las grúas de muelle:

$$\mu_{\text{Promedio}} = f_D \cdot f_M \cdot \mu_{\text{Máxima}} \quad (1)$$

Donde f_D y $f_M < 1$. El factor f_D es un factor de demora que internaliza el fenómeno de pérdida de capacidad producto de alguna falla. Su valor depende de la tecnología de la grúa y de las condiciones bajo las cuales el terminal opere (frecuencia de mantención, especialización de los operarios, etc.). Por otro lado f_M es un factor que representa el movimiento de la grúa a lo largo del muelle para atender otra parte del barco u otro barco. Dicho movimiento involucra retrasos producto de, principalmente, el movimiento mismo de traslación de la grúa, interferencias que pudiesen existir con otras grúas y la apertura o cierre de escotillas en el barco.

Para el cálculo de la capacidad de transferencia promedio de las grúas de patio, utilizando la expresión (1), sólo se considera el factor f_D .

Se definirá el término *estado* de sistema de transporte interno como el vector: (n_T, n_A, n_M) , donde n_T , n_A , n_M representan el número de remolques en etapa de transporte, acopio y muelle

respectivamente. La siguiente expresión corresponde a la probabilidad de cada uno de los estados posibles del sistema de transporte interno que cuenta con R remolques²:

$$P(n_T, n_A, n_M) = \begin{cases} \frac{(R) \cdot (R-1) \cdot \dots \cdot (n_T+1) \cdot \mu_1^{R-n_T}}{\Delta} P(R, 0, 0) & \text{si } n_T \neq R \\ P(R, 0, 0) & \text{si } n_T = R \end{cases}$$

Donde:

$$\Delta = \begin{cases} n_A! \mu_A^{n_A} \cdot n_M! \mu_M^{n_M} & \text{si } n_A < C_A \wedge n_M < C_M \\ C_A! C_A^{n_A-C_A} \mu_A^{n_A} \cdot n_M! \mu_M^{n_M} & \text{si } n_A \geq C_A \wedge n_M < C_M \\ n_A! \mu_A^{n_A} \cdot C_M! C_M^{n_M-C_M} \mu_M^{n_M} & \text{si } n_A < C_A \wedge n_M \geq C_M \\ C_A! C_A^{n_A-C_A} \mu_A^{n_A} \cdot C_M! C_M^{n_M-C_M} \mu_M^{n_M} & \text{si } n_A \geq C_A \wedge n_M \geq C_M \end{cases} \quad (2)$$

Como se señaló en un comienzo el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto que produce en la capacidad de transferencia de un sitio de atraque variaciones en las características de operación del sistema de transporte interno. La capacidad de transferencia del sitio de atraque (θ_{sitio}), corresponde a la capacidad de transferencia del sistema de grúas de muelle allí instaladas y que, por ser este un sistema en estado de régimen, coincide con la capacidad de transferencia de las grúas de patio³.

$$\theta_{\text{Sitio}} = \mu_M \left(\sum_{i=0}^{C_M-1} \sum_{*} i P(n_T, n_A, i) + \sum_{i=C_M}^R \sum_{*} c_M P(n_T, n_A, i) \right) \quad (3)$$

En la expresión (3), el primer término al interior del paréntesis representa el valor esperado de grúas de muelle transfiriendo cuando el número de remolques en el delantal es menor al número de grúas allí instaladas. De este modo, multiplicando este número por la capacidad de transferencia promedio de cada grúa μ_M , se obtiene la capacidad de transferencia del sitio cuando existe una o más grúas a la espera que llegue un remolque.

Por otro lado, el segundo término al interior del paréntesis (multiplicado por μ_M), representa el valor esperado de la capacidad de transferencia del sitio cuando todas las grúas están trabajando y entonces, cuando no existe el fenómeno de detención por espera de remolques.

Con base en lo anterior, se puede afirmar que la utilización del modelo de colas cíclicas permite, principalmente, evaluar el efecto que tiene en la capacidad de transferencia del terminal, el hecho que tanto grúas de muelle como grúas de patio deban detenerse en algún momento a la espera de que llegue

² El sistema dado en (2), para obtener una expresión para $P(R, 0, 0)$ se utiliza la condición de un sistema probabilístico $\sum_{*} P(n_T, n_A, n_M) = 1$

³ \sum_{*} representa la sumatoria de todos los estados posibles tales que $n_T + n_A + n_M = R$.

algún remolque para cargar o descargar, según sea el caso. Como se puede observar, en la expresión (1), este fenómeno no había sido aún incorporado en la modelación de este sistema.

Para ejemplificar la utilización de esta herramienta se utilizará a lo largo de este trabajo el siguiente escenario de operación de un sitio de atraque perteneciente a un terminal portuario:

Configuración de la flota de Remolques			
Estado del Remolque		Velocidad (km/hr)	Tasa de Viaje (TEU/hr)
Cargado		12	40
Descargado		15	50
<i>Etapas de Transporte</i>			22,22
Configuración del Terminal			
Distancia Promedio entre Muelle y Patio de Acopio (mtrs)			300
Grúas de Muelle	Capacidad Máxima (TEU/hr)	$f_D \cdot f_M$	Tasa Promedio (TEU/hr)
2	20	0,75	15
Grúas de Patio	Capacidad Máxima (TEU/hr)	f_D	Tasa Promedio (TEU/hr)
4	8,5	0,9	7,5

Tabla 2: Ejemplo de Operación del Sistema de Transporte Interno

3. ASIGNACIÓN DE UNA FLOTA DE REMOLQUES A UN CONJUNTO DE GRÚAS

Una flota de remolques asignada a un sitio puede dar servicio a las grúas de muelle allí ubicadas principalmente de dos formas:

1. Operar como una flota única que puede atender los requerimientos de todas las grúas asignadas a ese sitio.
2. Dividirse en tantas flotas como grúas haya en el muelle, atendiendo de este modo cada flota a una única grúa.

Para analizar el efecto que tiene la aplicación de cada uno de estos modos de operar en la capacidad de transferencia del sitio, se compararan las siguientes dos configuraciones de flota si el sistema de transporte interno cuenta con $2N$ remolques:

Configuración A : una única flota de tamaño $2N$ que atiende a todas las grúas de muelle en un sitio (en este caso dos) y a todas las grúas de patio en la zona de acopio (en este caso cuatro).

Configuración B: dos flotas de tamaño N , cada una de las cuales sirve a una grúa de muelle y a dos grúas de patio.

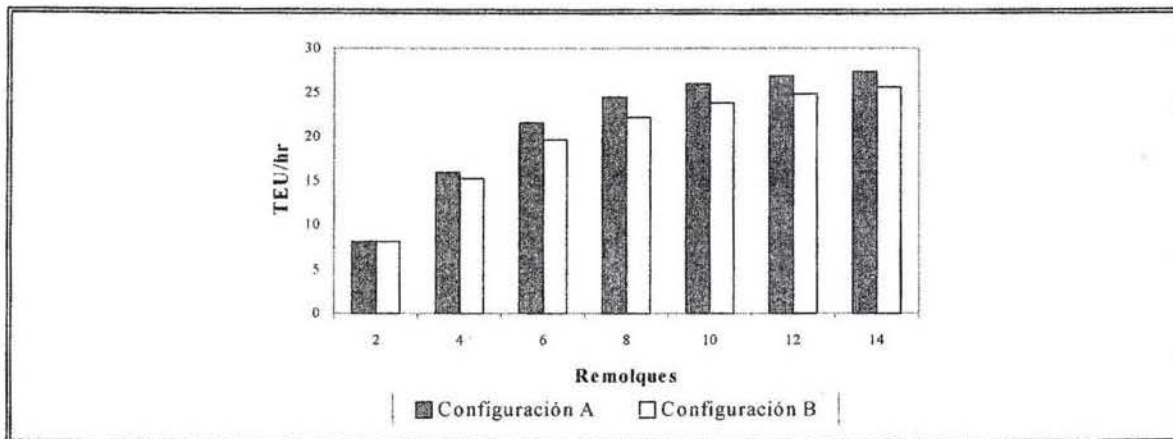


Figura 3: Variación de la Capacidad de Transferencia del Terminal según Configuración de la Flota de Remolques

Como se puede observar en la figura 3, la configuración A es siempre preferible, ya que en promedio supera la capacidad entregada por la configuración B en 2 TEU/hr (6,67% de la capacidad total instalada). Es decir, si se cuenta con $2N$ remolques disponibles para la atención de un sitio, es preferible agruparlos en una única flota que sirva a todas las grúas (tanto de muelle como de patio) que estén encargadas de la transferencia de contenedores en dicho sitio.

Se puede suponer, sin embargo, que la operación de los remolques en una única flota puede producir congestión en el circuito que recorren, lo que haría disminuir su velocidad en relación a la que éstos tendrían operando en dos o más circuitos independientes con flotas de menor tamaño. A modo de evaluar el fenómeno anterior, es necesario determinar qué magnitud debe tener la reducción de la velocidad de los remolques producto de operar como una flota única, para que la capacidad de transferencia asociada sea menor a aquella lograda separando los remolques en dos flotas independientes.

En la situación ejemplificada se calculó que para una reducción del 50% de la velocidad de los remolques, tanto cargados como descargados, el resultado obtenido con una flota de seis remolques es similar al obtenido con dos flotas de tres remolques cada una (19,6 TEU/hr). Sin embargo de contar con más de seis remolques para la atención del sitio, continúa siendo preferible agrupar los remolques en una única flota. De ser la reducción de la velocidad del orden del 60% dicha conveniencia ocurre a partir de los ocho remolques. De este modo, se puede afirmar que la configuración A mantiene su atractivo, aún considerando reducciones ostensibles de la velocidad de operación de los remolques bajo esta modalidad.

4. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO ÓPTIMO DE LA FLOTA DE REMOLQUES

Como se señaló anteriormente una de las ventajas que presenta la modelación utilizando colas cíclicas es el hecho que permite analizar el caso de detención de grúas producto de la espera de remolques. Es evidente que a medida que aumente el número de remolques de una flota el fenómeno anterior se hará menos relevante. Sin embargo por limitaciones físicas (velocidad de los remolques y distancia del recorrido) y económicas (costo de operación de los remolques) es imposible incrementar de forma ilimitada el tamaño de una flota de modo de asegurar que nunca una grúa se detenga por no haber un remolque disponible.

En esta sección se analizará con base en el caso ejemplificado, cómo el aumento del número de remolques asignado a un sitio, operando como una flota única (debido al resultado de la sección anterior), afecta la capacidad de transferencia de dicho sitio y en qué punto el aumento de un remolque más en la flota no produce un incremento considerable en el rendimiento del sistema.

La figura 4 grafica la variación en la capacidad de transferencia del muelle producto del aumento del número de remolques. A su vez, cada tamaño de flota determina un cierto porcentaje del tiempo en el cual las grúas tienen remolques disponibles para cargar o descargar, o dicho de otra forma, determina un porcentaje de utilización de las grúas a capacidad. Como se puede apreciar, el porcentaje de utilización de las grúas alcanza hasta un 90% como máximo (para el caso de doce remolques). Es decir de una capacidad instalada de 30 TEU/hr (dos grúas de 15 TEU/hr en el muelle y cuatro grúas de 7,5 TEU/hr en el acopio), con 12 remolques, en 90% del tiempo las grúas del terminal (tanto de muelle como de patio) tienen disponible un remolque.

A partir de ocho remolques, donde se supera el 80% de utilización, se observa una saturación en el crecimiento de la capacidad de transferencia del sitio. Sobre ocho remolques, el aumento de un remolque más produce un incremento de aproximadamente un 2% de dicha capacidad, lo que equivale en este caso a 0,6 TEU/hr. De este modo el ingreso de un remolque a la flota dependerá de una comparación económica entre el beneficio de aumentar la capacidad en 0,6 TEU/hr y el costo de operar con un remolque más.

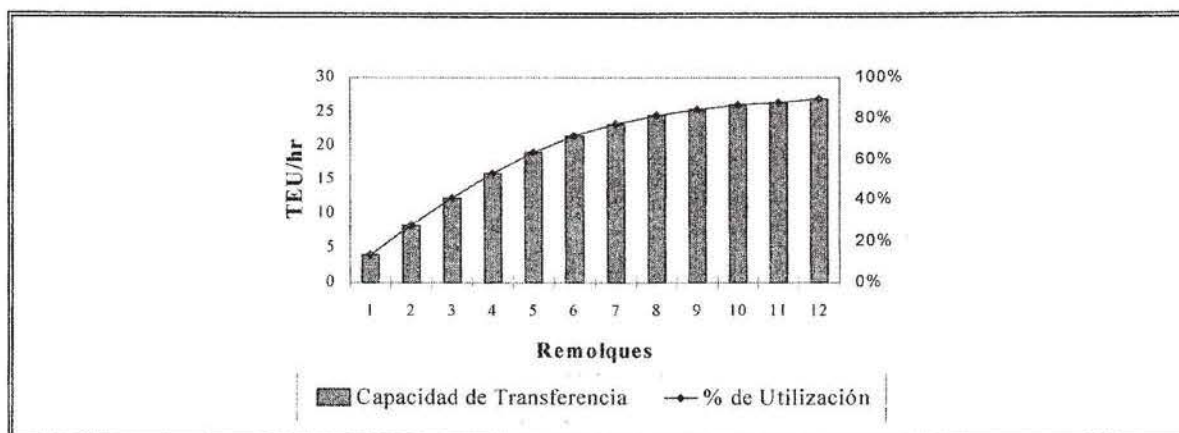


Figura 4: Capacidad de Transferencia del Terminal según Número de Remolques por Flota

5. VARIACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL TERMINAL

Una posible forma de incrementar la capacidad de transferencia en un sitio es mediante la modificación de las condiciones físicas del terminal que limitan la operación de los remolques.

Como se explicó anteriormente el modelo planteado en este capítulo usa como datos de entrada la velocidad promedio del remolque cargado, descargado y el largo del circuito. De este modo, es posible evaluar el impacto que tendría en la capacidad de transferencia del sitio modificaciones en los valores de dichos parámetros.

La figura 5 grafica, para el caso ejemplificado y considerando una flota de ocho remolques (de acuerdo al resultado obtenido en la sección 4), la variación que provoca en la utilización de las grúas un incremento en la velocidad de los remolques. Como se puede apreciar, la variación de la velocidad produce un incremento menor en el porcentaje de utilización de las grúas, y por ende en la capacidad de transferencia del sitio. Se puede observar que, en el caso ejemplificado, un incremento en un 1% de las velocidades de los remolques, tanto cargados como descargados, produce en promedio un incremento del 0,02% en la capacidad de transferencia del sitio.

De este modo, si se quisiera aumentar dicha capacidad en un 1% (3 TEU/hr en este caso), se deberían efectuar las modificaciones necesarias en el terminal que permitiesen elevar la velocidad de los remolques en un 50%. Dentro de estas modificaciones se encuentran el mejoramiento en la condiciones de tránsito al interior del terminal como vías más despejadas y aisladas de la circulación de personas.

De no ser posible aumentar las velocidades de los remolques en la magnitud deseada, se puede reducir la distancia promedio desde el muelle al patio en la proporción que permita lograr un mismo efecto, en cuanto al aumento en la capacidad de transferencia del sitio. Sin embargo, la reducción de dicha distancia es una medida bastante más compleja y difícil de realizar debido a que las zonas del terminal donde es posible apilar contenedores están claramente delimitadas por las características estructurales que poseen, como por ejemplo el suelo reforzado.

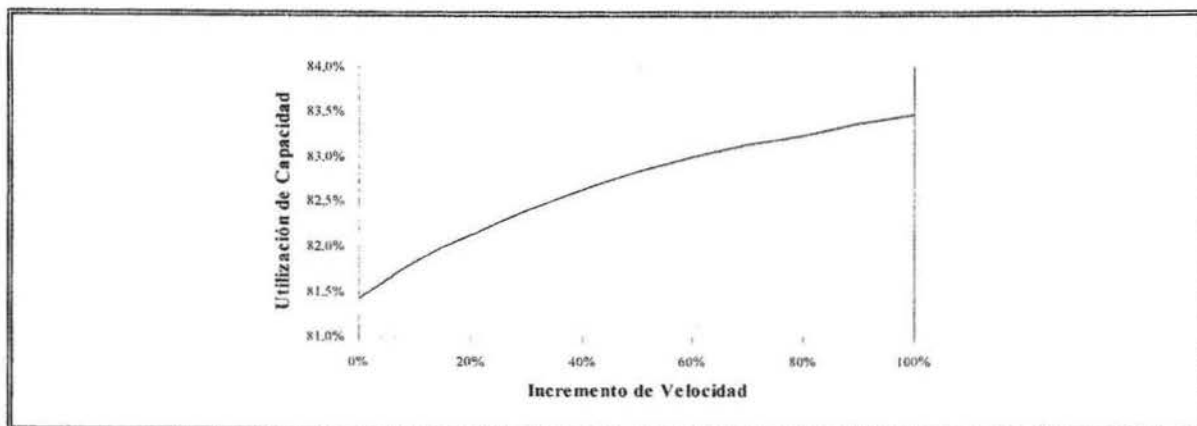


Figura 5: Variación en la Utilización de las Grúas producto de Incremento en la Velocidad de los

Remolques

6. VARIACIÓN EN LA CAPACIDAD DE TRANSFERENCIA INDIVIDUAL DE LAS GRÚAS

Un interesante análisis que se puede efectuar utilizando esta modelación es determinar como afecta a la capacidad de transferencia de un sitio, reemplazar un conjunto de grúas por un conjunto menor pero con una mayor capacidad de transferencia individual.

Lo anterior se estudiará para el caso de una reducción en las grúas de patio debido al hecho que la etapa que cuente con mayor número de equipos (cuatro grúas en este caso) tendrá una mayor probabilidad de no disponer en algún momento de remolques suficientes para ser cargados o descargados.

La figura 6, grafica la variación en la capacidad de transferencia del sitio según el número de remolques utilizados para la situación con cuatro grúas con un rendimiento individual de 7,5 TEU/hr (situación original) y con tres grúas con un rendimiento individual de 10 TEU/hr (se mantiene la capacidad de transferencia nominal de la zona de acopio en 30 TEU/hr).

Como se puede observar, al tener un número menor de grúas pero con un rendimiento individual mayor, se logra una mayor capacidad de transferencia en el sitio. El aumento que en dicha capacidad de transferencia queda representado por la línea de color azul. El hecho que este incremento sea decreciente (según lo muestra la línea azul en la figura 6) se debe que a medida que aumentan los remolques en un sistema los estados asociados a una grúa esperando un remolque son cada vez menos y a su vez, menos probables.

Para el caso de contar, por ejemplo, con una flota ocho remolques la reducción de los equipos de patio entregan un aumento en la capacidad de transferencia de 0,6 TEU/hr, es decir un 2% de incremento sobre la capacidad instalada (30 TEU/hr).

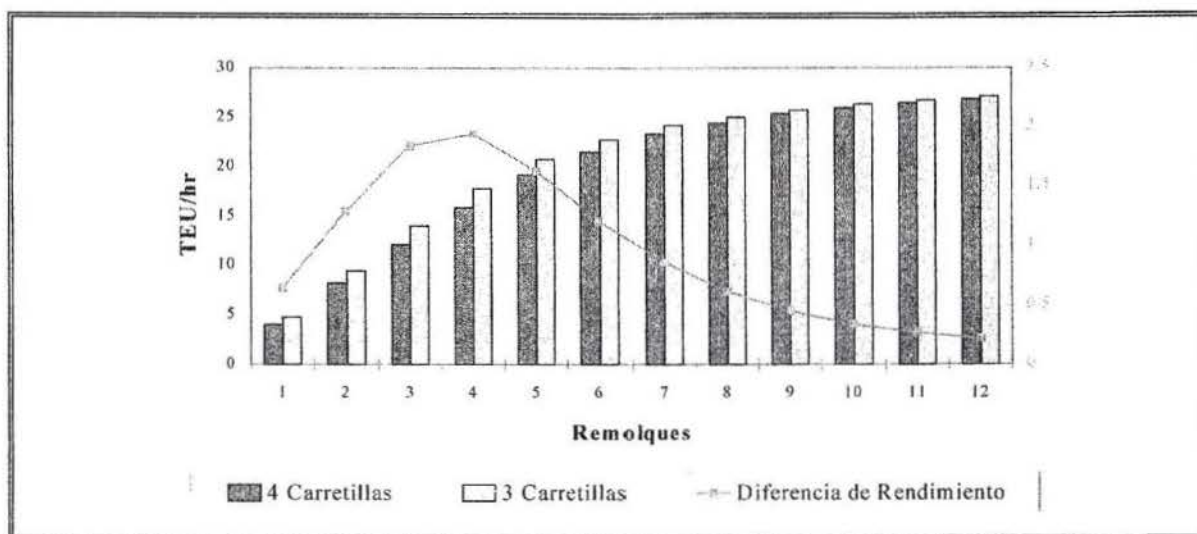


Figura 6: Variación en la Capacidad de Transferencia del Sitio según Número y Rendimiento de Grúas de Patio

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A lo largo de este capítulo se ha estudiado como variaciones en los distintos componentes que conforman el sistema de transporte interno pueden influir en la utilización de las grúas tanto de muelle como de patio y por ende en la capacidad de transferencia del terminal. Lo anterior debido a que el modelo de colas cíclicas utilizado permite internalizar el fenómeno de reducción en el rendimiento de las grúas producto de que en algún momento del proceso de transferencia no exista un remolque disponible para su atención.

Para realizar lo anterior se construyó un ejemplo típico a modo de evaluar comparativamente diferentes estrategias de operación.

Un primer resultado relevante es el hecho que se comprobó que la operación de los remolques como una flota única a través de un circuito común es más eficiente que la operación en flotas separadas en circuitos independientes. La conveniencia del primer sistema se mantiene aún considerando reducciones ostensibles de la velocidad de operación (sobre el 50%) que pudiese producir la congestión de operar en un circuito común.

Otro resultado interesante es comprobar que el aumento del número de remolques en la flota produce un incremento significativo en la capacidad de transferencia del sistema de contar éste inicialmente con pocos remolques. Sin embargo a partir de un determinado número, dependiendo de las características de operación del terminal, se produce una cierta saturación del sistema en la cual el incremento de la capacidad producto de aumentar un remolque más es mínimo. Este fenómeno se acrecienta al suponer que a medida que el tamaño de una flota crece disminuyen las velocidades de operación respectivas.

Además del aumento del tamaño de la flota de remolques, se estudió otras medidas que permiten aumentar la capacidad de transferencia del sitio. Estas medidas son: el aumento de las velocidades de operación y el aumento de las capacidades de transferencia individual de las grúas.

A modo de comparar los resultados de estas medidas se considerará el escenario utilizado a lo largo de este capítulo, operando con una flota única de ocho remolques. Con esta configuración se obtiene un porcentaje de utilización de las grúas del 81,4 % (24,4 TEU/hr). Si se desea aumentar la capacidad de transferencia en un 2% (0,6 TEU/hr) se puede efectuar una de las siguientes medidas:

- 1) Aumentar la flota en un remolque. Es decir de ocho a nueve remolques.
- 2) Aumentar en un 100% las velocidades de los remolques. En este caso de 12 a 24 km/hr para el remolque cargado y de 15 a 30 km/hr para el descargado. También puede lograrse el mismo efecto reduciendo a la mitad la distancia promedio entre el muelle y la zona de acopio.
- 3) Cambiando la configuración de las grúas de acopio, reemplazando cuatro con capacidad de 7,5 TEU/hr por tres de capacidad de 10 TEU/hr.

De las anteriores tres medidas, la primera parece ser la más factible. De hecho puede ser imposible implementar un sistema de tránsito tal que duplique las velocidades de los remolques. Por otro lado es muy difícil desplazar la zona de acopio en una distancia considerable, debido a que como se señaló

anteriormente, no cualquier suelo en el terminal es apto para apilar contenedores. La tercera medida planteada, por su parte puede ser irrealizable en el corto plazo por los costos asociados a reemplazar los equipos.

Sin embargo las medidas 2 y 3 pueden ser atractivas en otras situaciones. Por ejemplo, si el aumento en la capacidad requerido es menor a aquel que se logra al aumentar un remolque más, propiciar velocidades mayores de los remolques puede entregar una solución más económica y eficiente, especialmente si el incremento requerido es pequeño.

Por otro lado si se está en una etapa de planificación del terminal y no se cuenta aún con las grúas tanto de muelle como de patio, es recomendable entregar una determinada capacidad de transferencia con el menor número de grúas posibles. Lo anterior se ve ratificado por la tendencia en puertos de países industrializados donde se utilizan grúas con altos rendimientos en vez de muchas grúas con rendimientos menores, como es el caso de los puertos chilenos.

8. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Dirección de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile DIPUC a través del proyecto 98/07E.

9. BIBLIOGRAFIA

- Al-Kazily, J. (1982). Modeling Containerized Shipping for Developing Countries. **Transportation Research -A Vol 16A N°4**. Página 271-283.
- Carmichael, D. G. (1987) **Engineering Queues in Construction and Mining**. Ellis Horwood Limited.
- Daskin, M y Walton, C. (1983). An Aproximate Analytic Model of Supertanker Lightering Operations. **Transportation Research -B Vol 17B N°3**. Página 201-219.
- Gazmuri, P. (1995) **Modelos Estocásticos para la Gestión de Sistemas**. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Kiesling (1991) **Analysis of Loading/Unloading Operation and Vehicle Queueing Processes at Container Port Wharf Crane**. Master of Science in Engineering Thesis, The University of Texas at Austin.
- Koenigsberg, E y Lam, R. (1976). Cyclic Queue of Fleet Operations. **Operations Research Vol 24 N°3**. Página 516-529.
- Meyer, P. (1970) **Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas**. Addison-Wesley Iberoamericana.
- UNTAD (1980) **Desarrollo Portuario**. Manual de planificación para los países en desarrollo, Naciones Unidas, Nueva York.