

# **DIAGNOSTICO PARA IDENTIFICAR EL FLUJO ÓPTIMO PARA LAS OPERACIONES DE TRANSBORDO INTER TERMINAL PORTUARIO MARITIMO**

**Eduardo Carbajal López**

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, ecarbajal@pucp.pe

## **RESUMEN**

Dentro de las actividades portuarias en los principales terminales marítimos del Perú, un problema recurrente es el de la gestión logística de los contenedores que arriban diariamente y deben ser destinados a un distinto terminal portuario para su salida del puerto. En el caso particular del Callao, el principal puerto del país, existe un alto número de contenedores que diariamente deben trasladarse entre dos terminales marítimos existentes. Este proceso de transbordo genera problemas de largas colas de espera a la entrada de los terminales y sobrecostos al no generar de forma oportuna la rotación de los contenedores en los terminales. La presente investigación busca realizar un diagnóstico y proponer mejoras para el proceso de transbordo empleando la simulación de eventos discretos para evaluar las potenciales soluciones planteadas al proceso descrito.

**Palabras clave:** Simulación de eventos discretos, Variables aleatorias, Transportes, Operaciones portuarias.

## **ABSTRACT**

Within the port activities in the main maritime terminals of Peru, a recurring problem is the logistics of managing containers that arrive daily and are to be allocated to a different port terminal for its exit from the port. In the particular case of Callao, the main port of the country, there is a high number of containers that daily should move between two existing maritime terminals. This process generates problems transshipment of long queues at the entrance of the terminals and cost overruns not generated in a timely manner the rotation of the containers in the terminals. The present investigation sought to carry out a diagnosis and suggest improvements for the transshipment process using the discrete-event simulation to evaluate the potential solutions to the process described above.

**Keywords:** Discrete-event Simulation, Random variables, Transporters, Maritime operations

## **1. ANTECEDENTES**

El terminal marítimo portuario sur un terminal marítimo de clase mundial diseñado para el tráfico de contenedores. Está localizado en el puerto del Callao, primer puerto del Perú ubicado estratégicamente en la costa centro-oeste del país y en la parte central del Pacífico sudamericano. La Provincia Constitucional del Callao es parte del gran conurbano de Lima, capital política y económica del país. Este terminal privado ha dado inicio a sus operaciones en mayo del 2010 y cuenta con la más alta tecnología de punta para el manejo de operaciones portuarias. Además, dispone de los sistemas de seguridad más avanzados de la industria y cuenta con una combinación única en el mundo de certificaciones de seguridad adquiridas.

La principal actividad es el embarque y descarga de contenedores de barcos que visitan nuestro terminal, incluyendo también la movilización de carga de transbordo. Trabaja en conjunto con la Superintendencia Nacional de Administración Tributaria, la Autoridad Portuaria Nacional, autoridades y las diferentes asociaciones y empresas relacionadas al sector naviero peruano con la finalidad de ofrecer a sus clientes una excelente cadena de servicios logísticos.

El terminal marítimo ortuario norte inició sus funciones el 1° de enero de 1970, según disposición del Decreto Ley N° 17526. Fue creada como organismo público descentralizado del Sector Transportes y Comunicaciones, encargada de administrar, operar y mantener los terminales y muelles fiscales de la República, sean marítimos, fluviales o lacustres. Su misión es atender la demanda de servicios portuarios a través de la administración, operación y mantenimiento de los Terminales Portuarios bajo su ámbito de manera eficaz, eficiente, confiable y oportuna para servir al desarrollo del comercio exterior y a la integración territorial.

Dentro de las operaciones manejadas por ambos terminales existe un número representativo de movimientos que se realizan por descarga de contenedores en el terminal sur que deben ser embarcados en el terminal portuario norte, y similarmente el caso contrario, operaciones de descarga en el terminal norte con contenedores que deben ser movilizados al terminal sur. El movimiento de estos contenedores se denomina proceso de transbordo inter terminales. En la fecha de inicio del presente estudio dado el creciente volumen y los rigurosos controles necesarios para que un vehículo pueda ingresar a un terminal portuario, se habían detectado altos tiempos de transbordo y largas colas de espera en las entradas de los terminales, a pesar de ubicarse estos en locales contiguos. Se planteó como solución evaluar alternativas de solución para el problema, empleando la Simulación de eventos Discretos como herramienta para verificar la factibilidad de la solución y verificar los tiempos promedio de transbordo en cada alternativa planteada.

## **2. METODOLOGÍA DE TRABAJO**

La metodología empleada en el presente estudio consta de los siguientes pasos secuenciales:

- Análisis de la información recolectada de los tiempos asociados al proceso de transbordo realizado entre ambos terminales, el análisis de esta información fue relevado durante las dos semanas en que duró la segunda etapa del piloto.
- Se construyó la estadística que permitió generar los datos para la simulación del flujo de transbordo a través de las otras alternativas evaluadas.
- Evaluar las restricciones involucradas en el proceso de transbordo interno.
- Presentar un estimado de costo para el transbordo externo y una comparación del costo de transbordo en el país y en los países de la región.

## **3. ANALISIS DEL PROCESO DE TRANSBORDO**

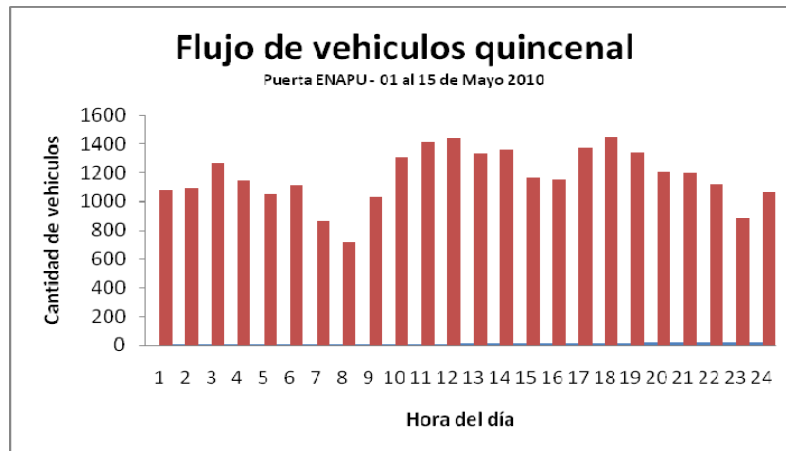
El procedimiento de transbordo correspondiente a las dos primeras semanas del plan piloto involucra efectuar el proceso de transbordo a través de vías de tránsito vehicular. La figura 1 en la página siguiente muestra el flujo de ingreso y salida de carga de ambos terminales bajo la modalidad de transbordo externo.

Respecto al flujo operativo del transbordo bajo esta modalidad se identifican los siguientes factores que afectan el desempeño de transporte en la ruta, considerando la operación de transbordo desde el ingreso del vehículo al terminal de origen de carga, hasta la salida del vehículo del terminal de destino de la carga:

- Vehículos empleados en el transporte de la carga.
  - Estado de los vehículos
  - Eficiencia de los transportistas
  - Velocidades de traslado



- El flujo vehicular por la zona restringe el movimiento de los vehículos de carga y no permite un tramo directo sino que el vehículo debe desplazarse hasta poder ingresar por el antepuerto del terminal norte antes de pasar por las balanzas.
- La afluencia de ingresos y salidas por las balanzas de ambos terminales, por operaciones diferentes a las de transbordo en algunas horas del día origina colas largas en los antepuertos. Como el transbordo no tiene una asignación prioritaria a las balanzas de ingreso, debe esperar en cola junto con el resto de vehículos que desean ingresar o salir de los terminales. Este hecho hace que el tiempo de traslado entre los puertos en algunos casos sea alto debido a la espera de los vehículos en los antepuertos. Puede observarse en el gráfico 2 el flujo mensual de vehículos por hora del día para el mes de mayo del año 2010 que evidencia que las horas con mayor flujo en la puerta de entrada del terminal norte es entre las 11 y 13 horas y similarmente entre las 17 y 10 horas.



**Figura 2: Flujo de vehículos operaciones de transbordo**

- La cantidad de vehículos asignada para el movimiento de un volumen establecido de carga limita el tiempo total requerido para mover toda la carga relacionada a un embarque puntual. La cantidad adecuada de vehículos a asignar debe tener en cuenta la hora del día, para no saturar el flujo en horas picos y tampoco tener un número muy pequeño de vehículos que limite la operación.
- Otro tema importante es el de costos ya que de por si el movimiento de la carga por transbordo externo involucra además de los costos propios de cada terminal (por manipuleo, uso de muelle y almacenaje) el costo del transporte por cada contenedor transbordado.

Estas restricciones limitan la operatividad del flujo en términos del volumen óptimo de traslado entre ambos terminales, ya que se debe tener en cuenta los costos asociados dependiendo de la fecha del embarque de la carga para poder movilizar oportunamente la carga sin que esta genere sobrecostos de almacenamiento por permanecer un periodo mayor al establecido como libre en cada terminal.

#### 4. ANALISIS DEL PROCESO DE TRANSBORDO

El proceso de transbordo incluye los siguientes hitos de tiempo entre el terminal de origen y terminal de destino de carga:

- A** PRESENTACION DE LA SOLICITUD CON EL VB DEL TERMINAL DE DESCARGA
- B** HORA DE INGRESO DEL CAMION AL TERMINAL DE ORIGEN

- C** HORA DE SALIDA (PUERTA) DEL CAMION DEL TERMINAL DE ORIGEN
- D** HORA DE INGRESO DEL CAMION AL TERMINAL DE DESTINO
- E** HORA QUE SALE EL CAMION DEL TERMINAL DE DESTINO
- F** HORA DE PERMANENCIA DE LA CARGA EN EL TERMINAL DE DESTINO

En función de estos hitos se calculan los tiempos relevantes asociados al proceso de transbordo. Se identifican cinco intervalos de tiempo importantes, los cuales son los siguientes:

- B-A** TIEMPO DE APROBACION DE SOLICITUD
- C-B** TIEMPO DE PERMANENCIA DE VEHICULO EN TERMINAL DE ORIGEN
- D-C** TIEMPO DE ESPERA EN PUERTA
- E-D** TIEMPO DE PERMANENCIA DE VEHICULO EN TERMINAL DE DESTINO
- F** DÍAS DE PERMANENCIA DE LA CARGA EN TERMINAL DE DESTINO

Para el periodo de estudio comprendido entre el 19 de julio de 2010 hasta el 31 de julio del 2010 se relevó la información a través de transportistas encargados del transbordo de contenedores entre ambos terminales.

Puede observarse en la figura 3 que el tiempo promedio del vehículo en el Terminal Norte es mayor al del Terminal Sur cuando es el terminal de origen de la carga. Puede observarse como en el caso del Terminal Norte el mayor tiempo promedio de permanencia del vehículo se da generalmente al mediodía, mientras que en el caso del Terminal Sur se observa un mayor tiempo de permanencia en el terminal al promediar las dieciocho horas.

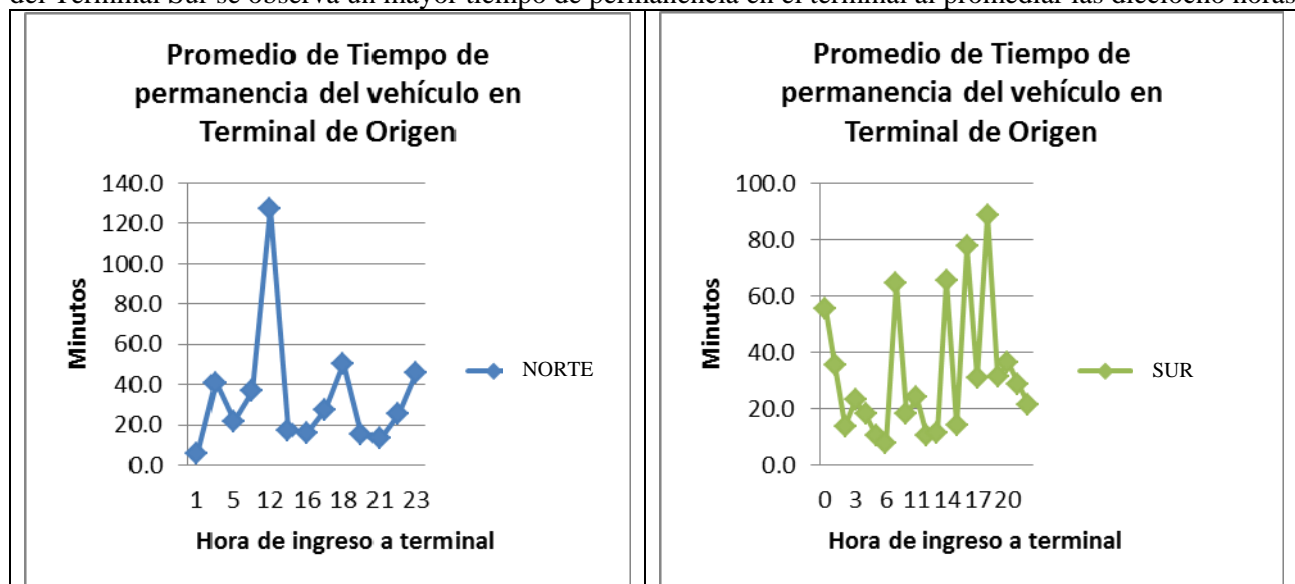
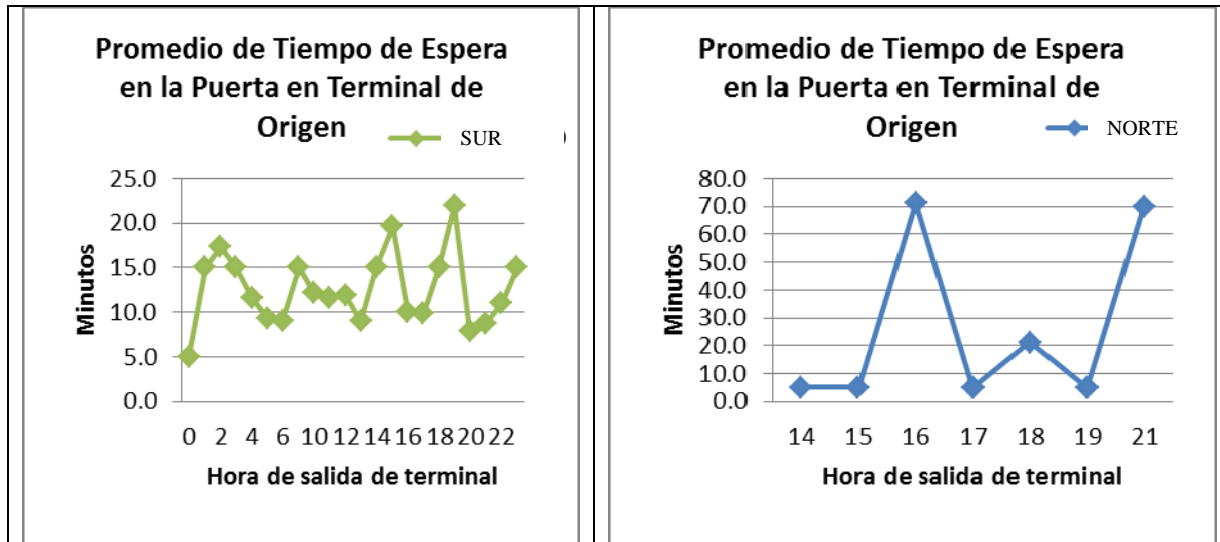


Figura 3: Tiempo de permanencia en Terminal de Origen

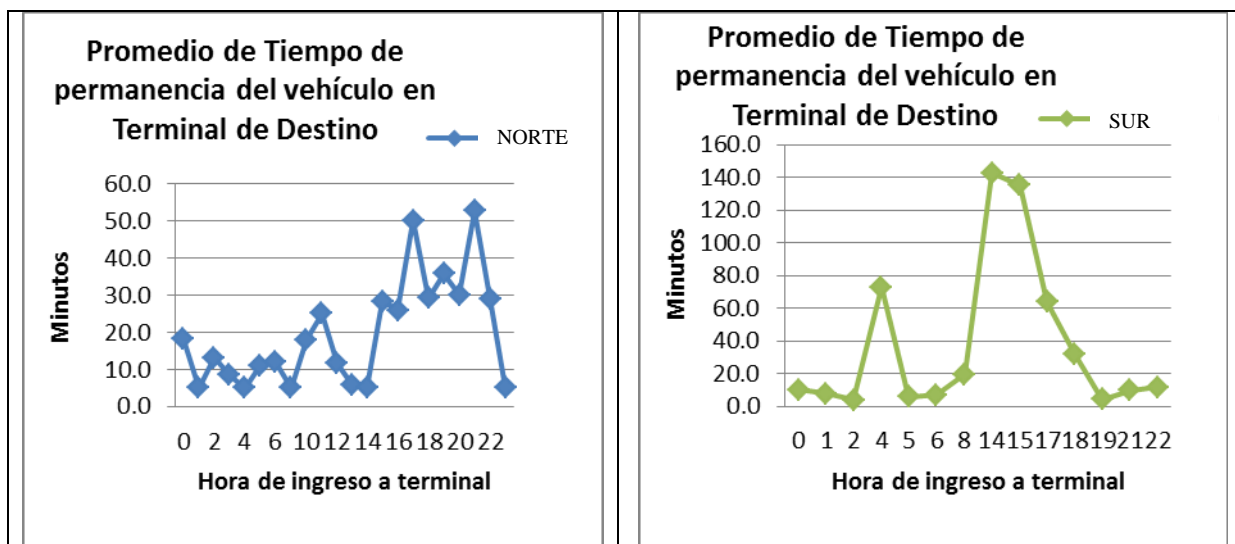
El tiempo promedio de espera en la puerta inter-terminales cuando el terminal de origen es DPWORLD es de 12.8 minutos, mientras que en el caso de ENAPU es de 13.3 minutos. El gráfico 3 detalla el tiempo promedio de espera en función de la hora de arribo del vehículo a la puerta en el terminal de origen. Puede observarse que comparando ambos gráficos los tiempos de espera promedio picos en ENAPU son mayores. Esto quiere decir que el tiempo promedio de espera hasta que se permite el ingreso desde ENAPU hacia DP WORLD ha registrado tiempos de espera relativamente altos en contraste con los de sentido contrario. La razón de esto son los problemas originados en algunos transbordos donde se demoraba el ingreso hacia DP WORLD mientras se asignaba un lugar de descarga a los vehículos por estar las posiciones ocupadas.



**Figura 4: Tiempo de espera**

La tabla 3 muestra el tiempo de permanencia del vehículo en el terminal de destino. En el caso de DPWORLD el tiempo promedio de permanencia del vehículo es de 47.4 minutos, mientras que en contraste en ENAPU es relativamente menor con un tiempo promedio de 21.2 minutos. La tabla 3 además muestra el detalle de los tiempos promedio de permanencia en función de la hora de ingreso. Puede observarse que en caso de DP WORLD los vehículos que ingresan a las 15 horas tienden a demorarse en promedio un tiempo mayor (142.6 minutos). En el caso de ENAPU los vehículos que ingresan al promediar las 21 horas son los que demoran mayor tiempo en promedio en abandonar el terminal (52.7 minutos). Estos tiempos de permanencia están ligados al proceso de descarga que efectúan los vehículos al ingresar a los terminales y están ligados al congestionamiento interno en las zonas de descarga y la disponibilidad de recursos para ejecutar el procedimiento. En este sentido puede observarse que ENAPU presenta un tiempo menor en promedio lo que evidencia que es capaz de atender con mayor rapidez a los vehículos de transbordo una vez que ingresan a descargar el material, mientras que en DP WORLD se evidencian tiempos mayores.

La gráfica 4 de la página siguiente es consistente con la afirmación citada en el párrafo anterior, puede observarse como los tiempos de permanencia del vehículo resultan ser mayores en el caso de DPWORLD.



**Figura 5: Tiempo de permanencia en Terminal de Destino**

La Tabla 4 presenta el detalle del tiempo promedio de espera en días de la carga una vez descargada en el terminal de destino hasta su embarque. En el caso del Terminal Sur el tiempo promedio de espera hasta embarque es de 0.9 días, mientras que en el caso del Terminal Norte es relativamente mayor, 2.9 días en promedio.

**Tabla 4: Tiempo que permanece la Carga en el Terminal de Destino**

Terminal de Destino	Promedio de Tiempo de Permanencia de Carga en Terminal de Destino (días)
SUR	0.9
NORTE	2.9
<b>Total general</b>	<b>2.7</b>

Consideraremos como resumen del ciclo de transbordo interno a los tres primeros tiempos descritos, es decir al tiempo de permanencia del vehículo en el terminal de origen, de espera en la puerta inter-terminales y de permanencia del vehículo en el terminal de destino. Considerando este ciclo de transbordo interno la Tabla 5 resumen los tiempos promedios en cada caso<sup>1</sup>:

**Tabla 5: Tiempo promedio del ciclo de transbordo interno**

Terminal de Origen	Promedio de Tiempo de permanencia del vehículo en Terminal de Origen (1)	Promedio de Tiempo de Espera en Puerta Terminal Origen (2)	Promedio de Tiempo de permanencia del vehículo en Terminal de Destino (3)	Promedio de Tiempo ciclo transbordo interno (1+2+3)
SUR	30.7	12.8	21.3	64.7
NORTE	54.0	17.5	73.8	145.3
<b>Total general</b>	<b>33.6</b>	<b>13.3</b>	<b>27.7</b>	<b>74.6</b>

En la Tabla 6 se puede observar que el tiempo de transbordo interno con origen en el Terminal Sur y destino el Terminal Norte tiene un tiempo de ciclo de 64.7 minutos, mientras que el tiempo promedio de transbordo interno con origen en el Terminal Norte y destino el Terminal Sur es relativamente mayor con un promedio de 145.3 minutos. Si se observa el detalle de los componentes del tiempo de ciclo el más crítico resulta ser el tercero,

<sup>1</sup> Para el análisis de los tiempos descritos se tomaron 246 registros remitidos. De dicho registros 74 casos no contenían el detalle del tiempo de espera en puerta por lo que fueron excluidos del cálculo del tiempo de ciclo mencionado.

puesto que lo que hace que el tiempo de ciclo con origen en el Terminal Norte sea mayor es el tiempo de permanencia en el Terminal Sur una vez que el vehículo ingresa y realiza la descarga del contenedor.

Si se comparan estos tiempos contra los de transbordo externo queda claro que el tiempo de ciclo es menor.

## 5. INFORMACIÓN ECONÓMICA

Según lo informado por las agencias marítimas, el costo por unidad de un contenedor de 20' como de 40' se indica en las Tablas 6 y 7.

**Tabla 6: Costos de contenedores Terminal Norte**

	LLENOS		VACIOS	
	CONTENEDOR 20	CONTENEDOR 40	CONTENEDOR 20	CONTENEDOR 40
<b>USO DE MUELLE</b>	\$ 75,0	\$ 115,0	\$ 20,0	\$ 30,0
<b>TRANSFERENCIA</b>	\$ 7,5	\$ 7,5	\$ 3,75	\$ 5,0
<b>MANIPULEO</b>	\$ 10,0	\$ 10,0	\$ 5,0	\$ 7,5
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 92,50</b>	<b>\$ 132,50</b>	<b>\$ 28,75</b>	<b>\$ 42,5</b>

**Tabla 7: Costos de contenedores terminal Sur.**

	LLENOS	
	CONTENEDOR 20	CONTENEDOR 40
<b>TOTAL</b>	\$ 72,0	\$ 108,0

## 6. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Las alternativas propuestas fueron:

- Evaluar la modalidad de transbordo a través de la construcción de una puerta localizada a la altura de las balanzas de ingreso de la puerta 2 del terminal norte de manera que el flujo del terminal sur hacia el terminal norte coincida con las vías de movimiento interno de carga entre ambos terminales.
- Evaluar el funcionamiento de transbordo empleando una puerta construida al exterior de la puerta 2 del terminal norte conectando los antepuertos de ambos terminales. Los vehículos al pasar por los antepuertos y ser considerados parte del recinto portuario no requerirían el pesado de los vehículos previo al ingreso como si sucedía con la modalidad de transbordo externo

Para evaluar estas alternativas se realizó una simulación evaluando las rutas en base a los tiempos medidos durante la segunda semana del piloto, asumiendo que la distribución de tiempos de espera en la puerta inter-terminal sería la misma y se mantendrían tiempos similares de permanencia en ambos terminales de los vehículos al cargar y descargar los contenedores respectivamente. No se evidenciaron reducciones significativas de tiempos por lo tanto la comparación de las alternativas citadas se realiza en función de la identificación del flujo de transbordo interno que evidencia tramos de circulación más directos de conexión entre las rutas ya existentes. En la página siguiente se pueden observar ambas alternativas propuestas.

Respecto a la primera alternativa la puerta sugerida conecta los flujos internos de ambos terminales de forma directa. En el caso de los transbordos con destino al terminal norte directamente conectan a la calle Oeste. En el caso de los transbordos con destino al terminal sur inmediatamente tras ingresar accedería la vía principal interna. Esta opción minimiza internamente los traslados en ambos terminales evitando flujos internos que resulten redundantes.



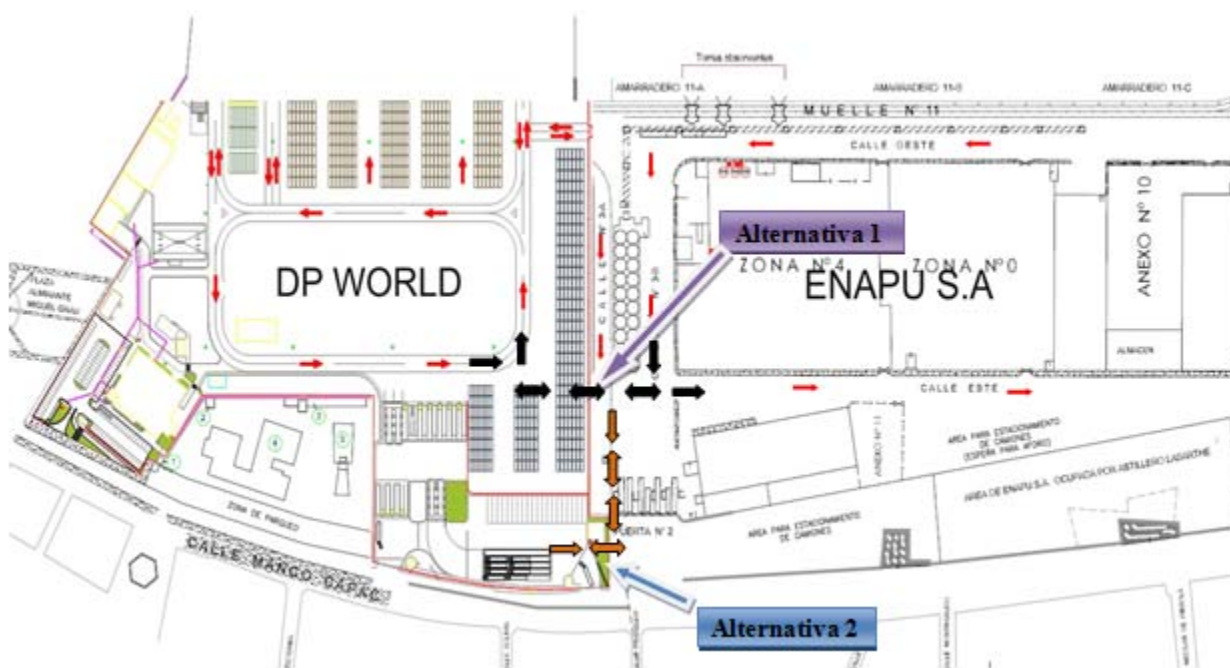
Respecto a la segunda alternativa se requiere que los vehículos salgan de los terminales hacia el antepuerto del terminal de origen y empleen la puerta propuesta para acceder al antepuerto del terminal de destino para proceder finalmente a acceder al terminal de destino. En contraste con la opción anterior se evidencian las siguientes desventajas:

- El radio de giro para acceder a la puerta cuando se sale del terminal norte y se requiere ingresar al antepuerto del terminal sur es reducido. Se requiere maniobrar en el antepuerto para poder ingresar por la puerta.
- En caso de presentarse esperas se ocuparía parte de los antepuertos ya destinados a la espera regular de ingreso a las balanzas de los respectivos terminales.
- La trayectoria del transbordo bajo esta modalidad supone longitudes de traslado mayores en contraste con la primera opción.
- No se requiere el pesaje por balanza, se emplea la vía libre en el terminal norte próximo a la pared colindante entre ambos terminales para permitir el flujo en ambos sentidos de los transbordos.

Con base a esta evaluación y sin considerando que los costos de transbordo por estas tres alternativas son los mismos se recomendarían en el siguiente orden estricto las alternativas:

1. Alternativa de transbordo interno construyendo una puerta que conecta las vías internas en sentido directo.
2. Alternativa de transbordo interno empleando la puerta inter-terminales ya existente
3. Alternativa de transbordo construyendo una puerta externa a la puerta 2 del terminal norte entre los antepuertos de ambos terminales
4. Alternativa de transbordo externo

La alternativa menos viables es la de transbordo externo por estar expuesta a un mayor número de factores fuera de control y presentar mayores restricciones y costos. Cualquier alternativa de transbordo interno es preferible a la de transbordo externo. De entre las alternativas de transbordo interno, por disminuir los tramos de recorrido la mejor alternativa es la de emplear una puerta inter-terminales justamente coincidiendo con las vías internas de ambos terminales, de manera que el flujo de optimice.



**Figura 6: Alternativas planteadas**

## 7. CONCLUSIONES

Sobre el contraste de la alternativa de transbordo interno y externo

- La alternativa de transbordo externo exhibe mayores restricciones en el proceso de transbordo, está sujeta a una mayor cantidad de riesgos por el traslado a través de rutas fuera de los recintos portuarios y además genera un mayor costo en el proceso de transbordo

Sobre el análisis de los datos

- Los datos se han procesado usando software Excel y Minitab.
- Además, antes de hacer la estimación de los datos se han omitido los registros proporcionados que no contuvieran información para cada uno de los tiempos definidos en el análisis de los tiempos de transbordo interno.

Sobre los resultados

- La modalidad de transbordo interno evaluada en la segunda etapa del piloto involucra en promedio un tiempo de 74.6 minutos en todo el ciclo de transbordo. Entre ambos terminales el que presenta mayores tiempo promedio de permanencia del vehículo en las operaciones de descarga es el terminal sur.
- Se sugiere optar por la alternativa de transbordo interno.
- Entre las alternativas de transbordo interno la que resulta minimizar los traslados y por ende resulta ser la mejor entre las evaluadas es la alternativa de transbordo interno con la construcción de una puerta inter-terminales que permita que el flujo de transbordo interno coincida con el flujo de la avenida Oeste del terminal norte. y la vía principal interna del terminal sur.

## 8. REFERENCIAS

Altiok, T. (2007). "Simulation Modeling and Analysis with Arena" *Academic Press*

Banks, J, Barry, N., Carson, J. y Nicol, D.. (2004). "Discrete-Event System Simulation". Cuarta edición. *Editorial Prentice Hall International*.

Kelton, David, Sadowwski, D. y Sadowwski, R. (2010). "Simulation with Arena" *Editorial McGraw-Hill*

Rosseti, M.D. (2010). "Simulation Modeling and Arena", 3<sup>rd</sup> edition, *Wiley & Sons United States of America*