

COMISIÓN EJECUTIVA PORTUARIA AUTÓNOMA
REPÚBLICA DE EL SALVADOR

**INFORME FINAL
DE LA
ASISTENCIA TÉCNICA ESPECIAL
Para EL
DRAGADO DE MANTENIMIENTO
DEL
PUERTO DE LA UNIÓN
EN LA REPÚBLICA DE EL SALVADOR
(RESUMEN)**

Junio de 2014

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DE JAPÓN

ECOH CORPORATION

EI
JR
14-019

COMISIÓN EJECUTIVA PORTUARIA AUTÓNOMA
REPÚBLICA DE EL SALVADOR

**INFORME FINAL
DE LA
ASISTENCIA TÉCNICA ESPECIAL
Para EL
DRAGADO DE MANTENIMIENTO
DEL
PUERTO DE LA UNIÓN
EN LA REPÚBLICA DE EL SALVADOR
(RESUMEN)**

Junio de 2014

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DE JAPÓN

ECOH CORPORATION

Tabla de Abreviaturas y Siglas

ALMOB	Mezcla Ligera Automáticamente Arrojada al Mar
C. D. L.	Nivel del Cero Hidrográfico
CA4	Cuatro países de Centroamérica: El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua
CA5	Cinco países de Centroamérica: El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Costa Rica
CEPA	Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma de la República de El Salvador
CNR	Centro Nacional de Registro de la República de El Salvador
COCATRAM	Comisión Centroamericana de Transporte Marítimo
CPN	Comisión Portuaria Nacional de Guatemala
DL	Nivel de Referencia
ECOH	Consultores Ambientales para Océanos y Humanos
EPN	Empresa Portuaria Nacional (Nicaragua)
EPQ	Empresa Portuaria Quetzal
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
GVD	Nivel de Referencia Geodésico Vertical
JBIC	Banco de Japón para la Cooperación Internacional
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón
JSCE	Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles
LMOB	Mezcla Ligera Arrojada al Mar
LOA	Eslora Total
MLIT	Ministerio de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo
MLLW	Nivel medio de marea más baja
MLW	Nivel medio de marea baja
MSL	Nivel medio del mar
NAD27	Referencia de América del Norte de 1927
NOAA	Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica
OCDI	Instituto del Japón para el Desarrollo de Áreas Costeras de Ultramar
OD	Origen-Destino
PIANC	Asociación Mundial de Infraestructura de Transporte Marítimo y Fluvial
SAPI	Asistencia Especial para la Implementación del Proyecto
SIECA	Secretaría de Integración Económica Centroamericana
TDS	Toneladas de sólido seco
TOR	Términos de referencia
TSHD	Draga de succión en marcha
TSS	Total de sólidos suspendidos
UNCTAD	Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo
USA	Estados Unidos de América
USDA	Departamento de Agricultura de EE.UU.
VBA	Visual Basic para Aplicaciones
WGS84	Sistema Geodésico Mundial de 1984
WID	Dragado por Inyección de Agua

Resumen Ejecutivo

Resumen Ejecutivo

Capítulo 1 Introducción

La República de El Salvador decidió desarrollar un nuevo puerto en el Departamento de La Unión, y presentó al Gobierno de Japón una solicitud para preparar un plan maestro para la construcción del puerto y llevar a cabo un estudio de factibilidad. El Gobierno Japonés respondió a la solicitud con la ejecución de un estudio de factibilidad del Puerto de La Unión a través de JICA entre octubre de 1997 y diciembre de 1998. Después del estudio de factibilidad, fue elaborado un diseño detallado entre julio de 2001 y enero de 2003. El proyecto de construcción del Puerto de La Unión empezó en abril de 2005 y la construcción de las obras de ingeniería civil fue completada en diciembre de 2008 (véase la Figura 1.1).

Mientras avanzaba el dragado principal del canal de acceso de 22,3 km de longitud en 2007, fue observada gran cantidad de sedimentación en los canales interno y externo y la dársena. Puesto que la sedimentación podría poner en peligro la operación favorable del puerto, los gobiernos de El Salvador y Japón discutieron sobre la necesidad de un estudio sobre la rápida sedimentación en julio de 2008, y acordaron iniciar una Asistencia Especial para la Implementación del Proyecto para el Proyecto de Desarrollo del Puerto de La Unión (en adelante referido como "SAPI"). El Estudio de SAPI fue asumido por JICA y ejecutado entre noviembre de 2008 y noviembre de 2009 (véase la Figura 1.1).

El Estudio de SAPI aclaró que la sedimentación está causada por el lento movimiento del lodo fluido hacia el fondo marino más profundo. Sin embargo, debido a la limitada cantidad de datos batimétricos de series cronológicas y a una duración del estudio relativamente corta, fue difícil predecir el volumen de sedimentación con alto nivel de precisión para preparar una estimación fiable de volumen de dragado de mantenimiento.

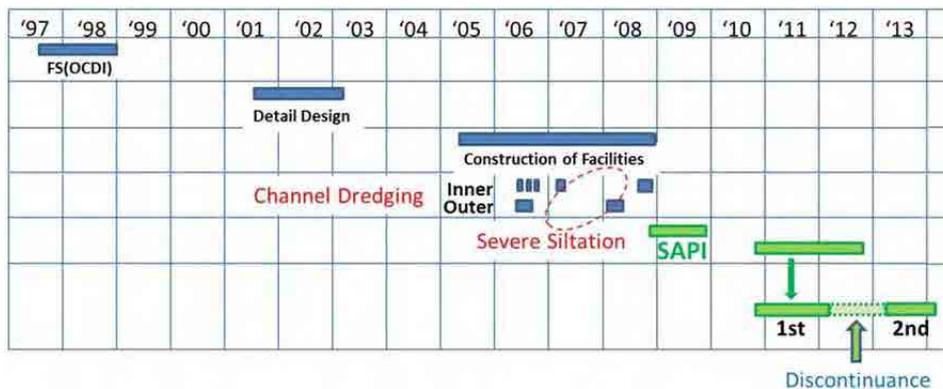


Figura 1.1 Historia del Puerto de La Unión

Para que el puerto funcione adecuadamente como puerto de gran calado, el método de dragado así como su costo son temas vitales en la viabilidad financiera y factores clave para una exitosa operación de terminal portuaria. Por consiguiente, la CEPA otra vez solicitó a JICA la proporción de un plan de dragado de mantenimiento efectivo y eficiente. De acuerdo con los resultados de las discusiones entre JICA y CEPA, JICA comenzó el 1^{er} Estudio en enero de 2011 y llevó a cabo una serie de mediciones batimétricas y su análisis por un año y cuatro meses hasta mayo de 2012.

Las mediciones y su análisis han demostrado que un análisis detallado de futuro servicio de transporte marítimo, un detallado pronóstico de la demanda y los datos de dragado de prueba son inevitables para hacer válido el plan de dragado de mantenimiento. Por tanto, JICA y CEPA

deliberaron y acordaron revisar los Términos de Referencia de la Asistencia Técnica Especial para el Dragado de Mantenimiento del Puerto de La Unión antes del comienzo del 2º Estudio. En este 2º Estudio, no solamente los temas de ingeniería sino también los económicos están incluidos en el alcance del estudio para analizar técnica, financiera y económicamente las profundidades óptimas del canal en el presente y el futuro. Después de cerca de un año de suspensión del estudio, fue resumido el Estudio del 2º Periodo en abril de 2013.

El Estudio del 1º Periodo y el del 2º Periodo tienen los tres siguientes propósitos:

- (1) Preparar datos, información y análisis a utilizar por CEPA para formular un efectivo y eficiente plan de dragado de mantenimiento del Puerto
- (2) Transferir tecnología para hacer frente a la sedimentación en el canal y la dársena
- (3) Ayudar a CEPA a preparar un plan de dragado sobre la base de los datos recolectados y su análisis

El Estudio del 2º Periodo consta de dos sub-equipos, es decir, el Equipo de ingeniería y el Equipo económico. Para llevar a cabo apropiadamente el Estudio de 2º Periodo, fue formado un Comité de Apoyo Doméstico al Proyecto dentro de la Sede de JICA para proporcionar apoyo y asesoramiento al Equipo de Ingeniería desde un punto de vista académico y técnico.

Capítulo 2 Transferencia de Tecnología

En el Estudio del 1º Periodo, la capacitación técnica al personal de CEPA fue llevada a cabo en Japón desde el 21 de noviembre hasta el 9 de diciembre de 2011. Dos personas participaron en el programa de capacitación y aprendieron sobre la operación y manejo del trabajo de dragado, metodología de mediciones batimétricas y predicción de mareas astronómicas, etc.

En el Estudio del 2º Periodo, el Equipo de Ingeniería hizo una transferencia de tecnología a la contraparte y los participantes a través de conferencias, ejercicios, discusiones y entrenamientos en el trabajo en doce ocasiones. La transferencia de tecnología abarca los temas concernientes a mediciones batimétricas, predicción y corrección de nivel de mareas, mecanismo y proceso de sedimentación, dragado de arrastre, modelos empíricos de predicción de sedimentación, plan de monitoreo de sedimentación, influencia de la isla semicircular y tipos de draga, entre otros.

El Equipo Económico ha transferido la tecnología al personal de la contraparte y a los participantes brindando trece conferencias y debates. La transferencia tecnológica incluía los temas relativos al Modelo de Recalada de Buques, el estado actual del transporte de contenedores en América Central, la tarifa del Puerto de La Unión y de los países vecinos y el tiempo estimado de espera de los buques por el cambio de la marea en el Puerto de La Unión, el tiempo navegable del canal utilizando las ventajas de las mareas, la conexión entre el desarrollo industrial de la región que rodea el puerto y la planificación y promoción portuaria, entre otros.

Un taller de trabajo sobre “Asistencia Técnica Especial para el Dragado de Mantenimiento del Puerto de La Unión en la República de El Salvador” fue celebrado en la sede de CEPA el 27 de agosto, 2013. Hubo 17 participantes de la parte salvadoreña (CEPA), 4 de la parte japonesa, 7 del Equipo de Estudio de JICA y 4 de la Oficina de JICA en El Salvador.

Capítulo 3 Estudios de Campo y Sus Resultados

Los estudios de campo tales como las mediciones batimétricas y el muestreo de lodo fueron ejecutados en el Estudio del 1º Periodo.

Las mediciones batimétricas se repitieron en tres ocasiones en febrero de 2011, agosto de 2011 y

enero de 2012. Un análisis preliminar fue realizado con los datos obtenidos. El Puerto de La Unión tiene un canal de acceso con una longitud total de 22,3 km y había sido dragado a una profundidad de DL.-14 m. Sin embargo, actualmete, el paso entero ha sido azolvado casi a una elevación original y no se ha mantenido la profundidad lograda del último dragado.

Según el análisis del lodo muestreado unos dos años después del dragado principal, está confirmado que la capa de lodo fluido cuya densidad húmeda es menor de 1.200 kg/m^3 , tiene una altura de unos 0,5 m en el canal externo y cerca de 1,0 m en el canal interno.

La capa de lodo fluido en los canales permanece por un periodo relativamente largo. Esto indica una posibilidad de reducir el volumen de dragado de mantenimiento mediante un plan de este dragado elaborado teniendo en cuenta la capa de lodo blando.

Al juzgar de la experiencia del Equipo en el campo, se considera que la ecosonda de 200 kHz de frecuencia detecta la superficie superior de la capa de lodo fluido. Por tanto, la profundidad navegable para las embarcaciones será mayor que la profundidad medida con la ecosonda de 200 kHz, debido al espesor de la capa de lodo blando.

Capítulo 4 Análisis del Proceso de Sedimentación y Modelos de Predicción

Primero, un modelo empírico de predicción fue formulado con una función exponencial basándose en datos batimétricos.

Luego, fueron revelados un proceso y un mecanismo de sedimentación en los canales analizando los datos batimétricos. De acuerdo con los resultados del análisis, el modelo exponencial original fue mejorado para ser un nuevo modelo llamado modelo exponencial modificado.

Además, se ha demostrado que una rápida sedimentación ocurre en pocos meses justo después del dragado. Teniendo en cuenta la posibilidad de que una rápida sedimentación no ocurra durante el periodo de dragado de mantenimiento, un segundo modelo de predicción llamado modelo lineal, ha sido recientemente establecido.

Actualmente, existe una gran discrepancia entre el volumen de sedimentación predicho con el modelo exponencial modificado y el predicho con el modelo lineal. El volumen de sedimentación predicho con el primer modelo es normalmente mucho más grande que el predicho con el segundo modelo. Puesto que el segundo modelo está formulado sobre la base de una hipótesis sin verificar, no debemos hacer uso del mismo hasta que dicha hipótesis sea verificada con datos batimétricos.

Con el uso de los dos modelos de predicción formulados en el Capítulo 5, el volumen de dragado de mantenimiento se calcula en el mismo capítulo.

Capítulo 5 Estimación del Volumen de Dragado y Su Costo

Actualmente, la dársena, el canal interno y el canal externo se han azolvado casi hasta su elevación original. La dársena y los canales necesitan ser re-dragados primero. El volumen total de re-dragado respecto a seis profundidades objetivo de navegación de entre 9 y 14 m, con intervalos de 1 m, fue estimado aproximadamente basándose en los resultados de las últimas mediciones de julio de 2013. Los volúmenes estimados de re-dragado según la profundidad se resumen en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Volumen estimado de re-dragado (unidad: 1.000 m³)

Profundidad (m)	Canal externo	Canal interno	Dársena	Total
9,0	0	895	0	895
10,0	25	1.535	59	1.619
11,0	404	2.215	344	2.964
12,0	1.161	2.936	798	4.895
13,0	2.284	3.696	1.471	7.452
14,0	3.882	4.496	2.186	10.565

El volumen de dragado de mantenimiento se calcula para 6 niveles de profundidad objetivo: 9, 10, 11, 12, 13 y 14 m. El ciclo o intervalo de dragado de mantenimiento sucesivo se establece en 3, 4, 6, ó 12 meses. El volumen de dragado de mantenimiento con un ciclo específico y a una profundidad objetivo se calcula aplicando el modelo exponencial modificado y el modelo lineal. En el cálculo, se tiene en cuenta el espesor de la capa de lodo fluido. Los resultados del cálculo se presentan en la Figura 5.7.

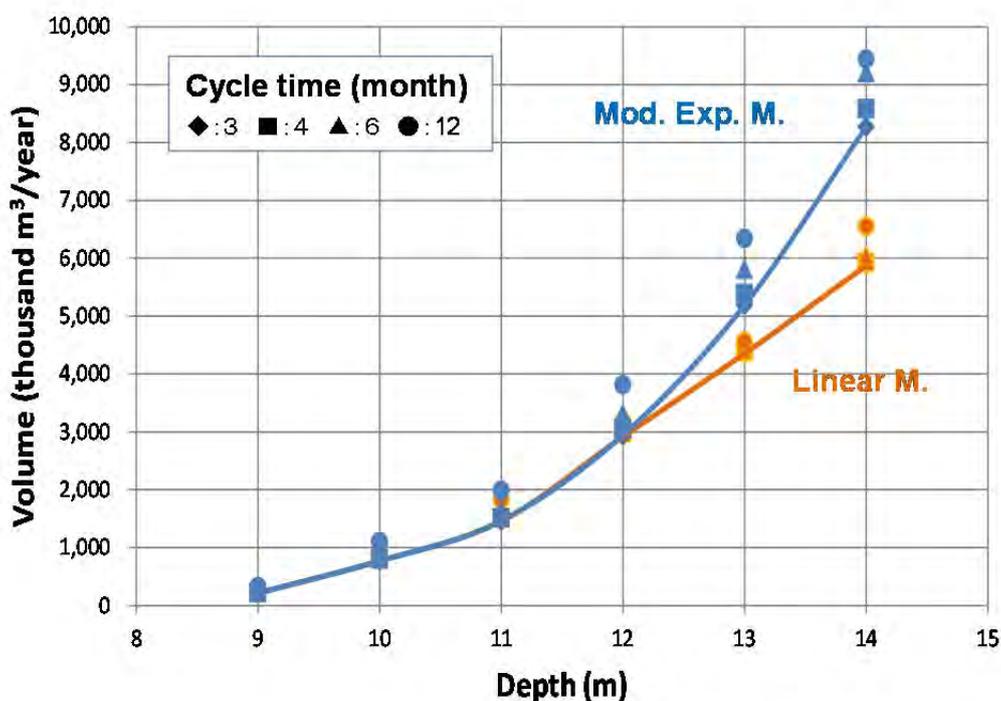


Figura 5.7 Volumen de dragado de mantenimiento versus Profundidad

Como resultado de la comparación de cuatro tipos de draga, se consideró que la TSHD (Trailing Suction Hopper Dredger), draga de succión en marcha, es la apropiada para el re-dragado y dragado de mantenimiento en el Puerto de La Unión, porque la TSHD presenta el impacto mínimo sobre el “tráfico de otras embarcaciones” y tiene la más alta “productividad” y “eficiencia del costo”.

El costo de dragado con draga propia se estima menor que el de a base de contrato porque su costo indirecto es más barato, mientras que los costos directos son similares entre ambos. El costo indirecto a base de contrato incluye los costos de movilización, seguro, los relacionados con imprevistos y otros. Por el contrario, el costo indirecto de dragado con draga propia incluye sólo los costos de movilización, seguro y de imprevistos, ya que es difícil estimar otros costos.

Sin embargo, no es apropiado discutir sobre el plan de dragado únicamente comparando sus costos a base de contrato con los de draga propia por las siguientes razones.

Si CEPA posee una draga, tendrá que asumir costos considerables mayores a los de la estimación. Además de que las obras de dragado no podrán ser funcionales si no se cuenta con una larga experiencia y acumulación de conocimientos. Aparte del costo, CEPA tendrá que hacerse cargo de la formación y educación de la tripulación de la draga.

Por otra parte, es necesario predecir con exactitud el volumen de sedimentación para diseñar el tamaño o capacidad de la draga antes de su adquisición. Sin embargo, los modelos de predicción del volumen de sedimentación desarrollados en el presente informe no son suficientemente fiables y es necesario revisarlos a través del monitoreo de la sedimentación del canal durante un cierto periodo de tiempo.

Además, en caso de cambiar la profundidad objetivo del canal, será extremadamente difícil dar una respuesta flexible, si CEPA cuenta con su propia draga. Este problema también se mantendrá en el futuro.

Juzgando con base en todo lo arriba mencionado, se recomienda encarecidamente "el dragado a base de contrato" para el dragado de mantenimiento de los canales por un cierto periodo.

Capítulo 6 Propuesta de Plan de Monitoreo

Los dos modelos establecidos en el Capítulo 4 están basados en los datos batimétricos que no son necesariamente suficientes ni en calidad ni en cantidad. Además, el modelo lineal se fundamenta en una hipótesis no verificada. El monitoreo de la profundidad de los canales con mediciones batimétricas es el único método para mejorar la precisión de la predicción y reforzar la aplicabilidad del modelo lineal al dragado de mantenimiento. Esto es el primer propósito del monitoreo. El segundo propósito será confirmar el fenómeno de rápida sedimentación justo después del dragado.

Un plan de monitoreo se ha establecido, a condición de que las mediciones batimétricas sean realizadas por la propia CEPA con sus propios equipos.

Para el primer propósito, las mediciones batimétricas deberán ser realizadas justo antes y después del re-dragado en la dársena y el canal de acceso. Después de esto, las mediciones batimétricas serán repetidas con un intervalo de dos meses, o un mes, si es posible. Para el segundo propósito, las mediciones batimétricas deberán ser realizadas inmediatamente después del re-dragado. Después de esto, se recomienda que las mediciones se repitan con un intervalo de dos semanas durante varios meses. Las mediciones batimétricas deben llevarse a cabo normalmente con las dos señales acústicas de 38 y 200 kHz para obtener datos del espesor de lodo fluido.

El registro de dragado y los datos de embarcaciones que entran y salen del puerto deben ser recopilados al mismo tiempo.

Capítulo 7 Revisiones del Modelo de Pronóstico de Demanda y del Modelo de Asignación de Mercados desarrollados por CEPA

En este capítulo, se presenta el método de cálculo para proyectar la tasa de crecimiento del volumen de contenedores que salen de CA4 (El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua) y cómo se desarrolla el modelo de asignación de mercados.

El "Estudio de demanda del Puerto de La Unión" llevado a cabo por CEPA consiste en tres partes:

1. Tasa prevista de crecimiento del volumen de contenedores que entran y salen de CA4

2. Desarrollo del modelo de asignación del mercado
3. Asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión

Capítulo 8 Modelo de Recalada de Buques

El objetivo principal del Capítulo 8 es describir el modelo de recalada de buques que será utilizado para realizar el análisis económico y financiero del Puerto de La Unión.

A tal fin, se resume el estado actual de los puertos salvadoreños (8.1), así como de otros puertos importantes en otros países de América Central (8.2). Se exponen principalmente los ángulos económicos que son esenciales para formar la base del desarrollo del modelo, sin embargo, la condición física de cada puerto, también, se discute porque ésta afecta la capacidad de manejo de carga. En particular, la condición física del Puerto de Acajutla es crucial ya que se considera que la actual y futura limitación de su capacidad de manejo influye directamente en el futuro tráfico de carga de contenedores del Puerto de La Unión.

Las estrategias de las compañías de transporte de contenedores marítimos en la costa del Pacífico de América Central (8.3) fueron también revisadas antes de desarrollar el modelo. Se examinaron por dos enfoques: el primer enfoque consistió en el desarrollo de la red de transporte marítimo de cada compañía a partir de la base de datos del movimiento de buques portacontenedores. El segundo enfoque consiste en llevar a cabo las entrevistas a las compañías navieras y a otras partes interesadas.

La última parte de este capítulo se enfoca en el modelo de recalada de buques. En primer lugar, se hace un esbozo del modelo (8.4). Luego, se describe cada componente del modelo, incluyendo el comportamiento de las compañías navieras, el modelo de asignación de carga de contenedores y los datos de input en el modelo de recalada de buques.

La red de transporte de contenedores marítimos de los servicios regulares operados por cada compañía constituye la información clave para entender el comportamiento de las compañías navieras (8.5). Esta red está estructurada a partir de la base de datos sobre el movimiento de buques portacontenedores extrayendo 28 empresas tanto locales como mundiales, y 163 puertos del mundo.

El modelo de asignación de carga de contenedores es el elemento central del modelo de recalada de buques (8.6). El modelo de asignación de carga de contenedores es una aplicación del modelo estocástico de asignación de redes sobre la red de transporte intermodal de la carga internacional de contenedores, basándose en el costo generalizado que incluye no sólo el costo monetario sino también el tiempo de transporte.

La preparación de los datos de input es, también, importante para el modelo de recalada de buques (8.7). Uno de los datos más importantes del modelo es la demanda de transporte de carga de contenedores (OD de carga de contenedores) entre cada puerto o región del mundo. Se estima a partir del OD de la carga de contenedores entre los países, así como de diversas estadísticas e informaciones sobre la economía regional, el comercio y el manejo de carga en los puertos. De igual modo, son necesarios los datos sobre la red de transporte que incluyen la distancia física y el costo de transporte en tierra, puerto y conexiones marítimas. Asimismo, se incluye también la información sobre el costo y el tiempo del cruce fronterizo terrestre.

La última sección (8.8) del Capítulo 8 sintetiza los resultados del cálculo del modelo de

asignación de carga de contenedores. Luego de la descripción de los procedimientos del cálculo y la estimación de parámetros desconocidos, se examinan los resultados del cálculo desde el punto de vista de la reproducibilidad del modelo a través de diversos puntos de referencia tales como el rendimiento de los contenedores de carga, la proporción por países socios y el puerto de exportación e importación en los países del CA4, así como también las proporciones según las compañías navieras y el volumen que transporta cada servicio de línea. Además, se examinó la sensibilidad del modelo para estimar los parámetros desconocidos.

Como resultado, el modelo de asignación de la carga de contenedores describe adecuadamente el mercado de transporte de carga de contenedores en los países de CA4 y se comporta razonablemente contra el cambio de input en el modelo.

Capítulo 9 Escalas de los buques en el Puerto de La Unión y el análisis económico

El Capítulo 9 se centra principalmente en el output del modelo de recalada de buques.

La primera parte de este capítulo describe la situación actual del canal de navegación y las reglas del Puerto de La Unión, seguida de una propuesta de una nueva regla de navegación (9.1). El “tiempo previsto de espera” ha sido calculado en base a las reglas tanto nuevas como las vigentes. Se observa que las normas vigentes pueden ser efectivas para la situación actual, en la que navegan las pequeñas embarcaciones en un canal poco profundo. Sin embargo, va a ser necesario aplicar nuevas normas cuando el canal haya sido profundizado y naveguen buques de diferentes tamaños.

Varios escenarios de cálculo sobre la futura red de transporte marítimo regular fueron preparados para diferentes profundidades del canal en el Puerto de La Unión para los años 2020 y 2030, y varios escenarios factibles para diferentes profundidades para ambos años fueron seleccionados en base a criterios predeterminados (9.2). Las Figuras 9.12 y 9.13 muestran el rendimiento de la carga de contenedores en el Puerto de La Unión en el 2020 y el 2030, estimado por el modelo de recalada de buques basado en cada escenario factible con la profundidad del canal de navegación. En la figura, se presentan los resultados de: 1) los escenarios de modificación de la red de servicios existentes del alimentador y way-port en el canal con profundidades de -9 m a -12 m; y 2) escenarios con recaladas adicionales de los buques como un hub de trasbordo con profundidades de -12 m a -14 m. Estas figuras muestran que el rendimiento de la carga de contenedores en el Puerto de La Unión aumentará a medida que aumente la profundidad del canal de navegación.

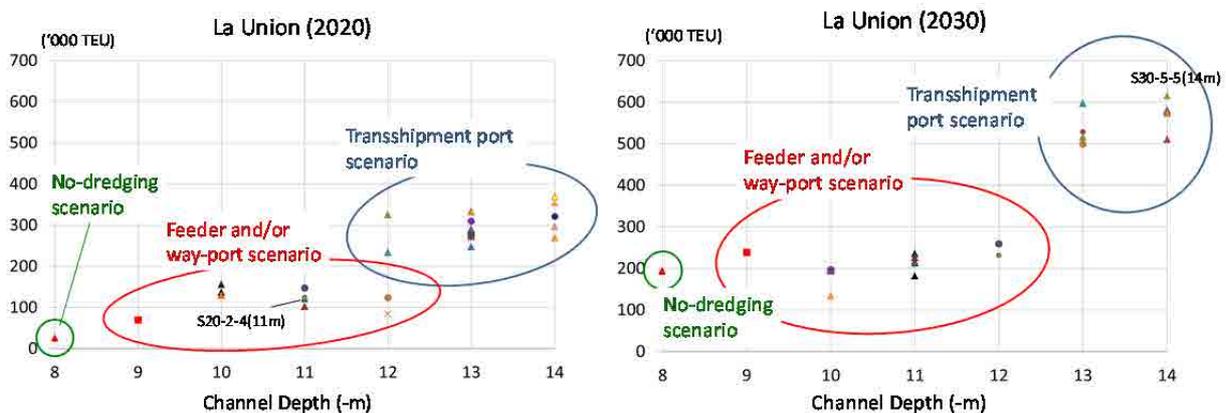


Figura 9.12 y 9.13 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión en 2020 y 2030

Sobre la base del rendimiento de carga de contenedores y otros productos estimados en el modelo, se calcularon el ingreso neto (que se obtiene reduciendo los gastos, como son el costo de operación de contenedores sin incluir el costo de dragado, del ingreso esperado procedente de los cargos de puerto y de manipulación) de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión, el ingreso neto de la operación de contenedores del sector portuario salvadoreño (suma de Acajutla y La Unión), así como el beneficio neto de la economía salvadoreña en el caso de ejecutar el proyecto de dragado en el Puerto de La Unión (diferencia de la suma de los ingresos netos de los Puertos de La Unión y Acajutla y el costo de embarque de las cargas de importación/exportación para los escenarios de dragado, de aquellos correspondientes al escenario de no-dragado), y se comparó el costo de dragado para varias profundidades del canal (9.3). Desde el punto de vista financiero para el Puerto de La Unión, si las tarifas de dicho puerto se mantienen en el nivel actual, el ingreso neto será siempre menor que el costo de dragado en todas las profundidades (véase la Figura 9.18 y la Figura 9.19).

Sin embargo, en el caso de aumentar las tarifas del Puerto de La Unión, el ingreso neto (sin incluir el costo de dragado) puede ser mayor que el costo de dragado en el escenario en el que el ingreso neto esperado sea maximizado en cada profundidad del canal (9,4, véase la Figura 9.24 y la Figura 9.25). Esto implica la necesidad de aumentar la tarifa en el Puerto de La Unión para mantener una situación financiera equilibrada. Sin embargo, esto puede debilitar la competitividad del puerto contra los puertos vecinos resultando en una disminución de la cantidad de contenedores a manipular. El nivel del arancel será un tema crucial en la medida en que el mercado del transporte marítimo se liberalice más, como por ejemplo, disminuyendo la barrera en la frontera nacional (9.2.3 (3)).

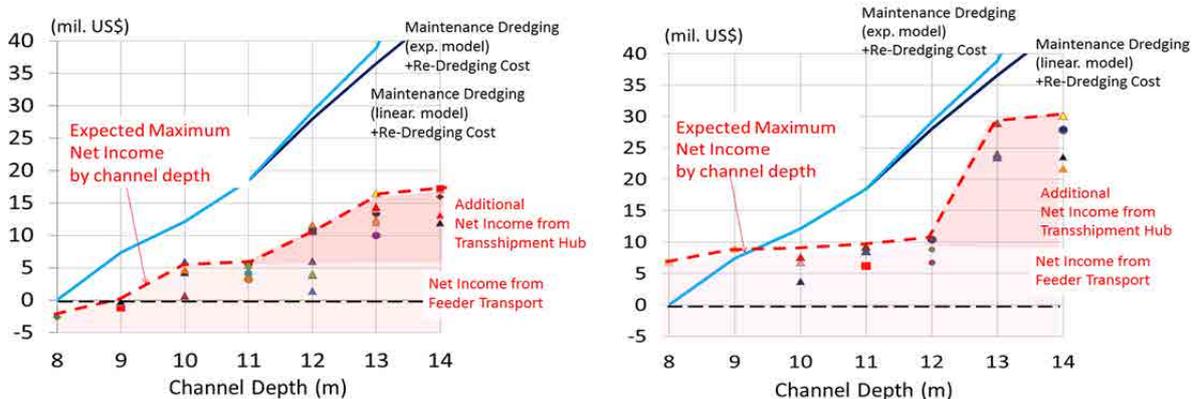


Figura 9.18 y 9.19 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (izquierda: 2020; derecha: 2030)

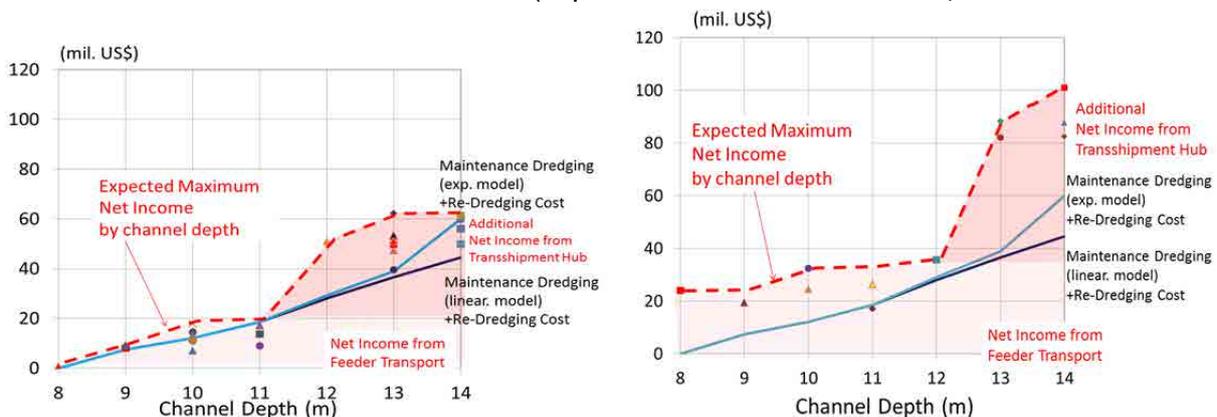


Figura 9.24 y 9.25 Ingreso neto estimado en caso de aumentar las tarifas y el costo del dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (izquierda: 2020; derecha: 2030)

Otro punto importante en las simulaciones del presente capítulo es que se prepararon los escenarios sobre la futura red de transporte marítimo regular no sólo para la modificación de los servicios ya existentes de alimentador y de way-port, sino también para la recalada en la ruta troncal de embarcaciones. Algunos de estos escenarios de “hub de trasbordo” para el Puerto de La Unión son considerados factibles, tal como se ha visto en la Figuras 9.12 y 9.13. Además, si se realizase el hub de trasbordo, será muy beneficioso para la economía de El Salvador. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el simple aumento de la profundidad del canal mediante el dragado, no garantizaría que el puerto se convierta en un hub de trasbordo. Para que esto se haga realidad, es necesario invertir grandes esfuerzos para atraer a los buques de la línea troncal.

El último hallazgo es que el desarrollo de la región oriental de El Salvador contribuirá al aumento de la cantidad de la carga de contenedores, y por ende, los ingresos del Puerto de La Unión (9.2.3 (3)2) y 9.4.4). Como se había previsto inicialmente, el desarrollo integral del Puerto de La Unión con el hinterland en la zona oriental del país es también una de las claves importantes para el futuro desarrollo de dicho puerto.

Capítulo 10 Plan de dragado óptimo considerando los cambios de las series temporales de la demanda y costos

En el Capítulo 10, se describe la metodología del análisis de series temporales tomando en cuenta los ingresos, beneficios y costos del dragado de cada año.

Asimismo, se presentan los resultados de cálculo a fin de contribuir al debate sobre el tiempo óptimo para realizar la inversión en el dragado. Se presentan los resultados del cálculo del año óptimo y el beneficio neto para cada combinación de la profundidad a lograr después del primer y segundo re-dragado y cada tipo de dragado después de haber aumentado la tarifa en Puerto de La Unión. El cálculo se basa en diversos supuestos (por ejemplo, el re-dragado está permitido solamente dos veces y el segundo re-dragado se debe realizar precisamente diez años después del primer dragado); además, los resultados de ejemplos que se indican están limitados a aquellos basados en la red de servicio de transportes que generan el máximo beneficio neto estimado para la profundidad del canal.

Los resultados de ejemplos implican que la mejor estrategia para acrecentar el máximo beneficio neto estimado es comprar una draga para el mantenimiento anual dentro de unos pocos años y mantener una profundidad del canal en alrededor de -12 m o -13 m, aunque existe un riesgo significativo porque esta estrategia será exitosa solamente cuando el escenario de “hub de transbordo” se realice. Por otro lado, la segunda mejor estrategia con menor riesgo relativo es que el primer re-dragado para la profundidad alrededor de -10 m y el segundo re-dragado para la profundidad de -13 m se realicen con la draga contratada. Este tipo de estrategia de “paso a paso” es muy útil para evitar grandes riesgos financieros.

Capítulo 11 Conclusiones y Recomendaciones

Las principales conclusiones del estudio y recomendaciones se resumen en los siguientes puntos.

11.1 Conclusiones

- (1) Estado actual de sedimentación en el canal de acceso
- (2) Espesor de la capa de lodo fluido
- (3) Mecanismo de sedimentación y modelos de predicción para la profundidad de agua en el canal
- (4) Volumen de re-dragado
- (5) Volumen de dragado de mantenimiento
- (6) Método apropiado de dragado
- (7) Modelo de recalado de buques
- (8) Análisis económico y financiero del Puerto de La Unión y simulación de políticas
- (9) Plan óptimo de dragado tomando en cuenta los cambios secuenciales de tiempo
- (10) Reglas de navegación en el canal de acceso

11.2 Recomendaciones

- (1) Aplicabilidad de los modelos de predicción formulados empíricamente
- (2) Aplicabilidad del modelo lineal
- (3) Plan adecuado de dragado
- (4) Necesidad del monitoreo de la profundidad de los canales
- (5) Utilización de dos frecuencias de ecosonda
- (6) Definición de tarifas
- (7) Escenario de hub de trasbordo
- (8) Desarrollo regional en el este de El Salvador
- (9) Importancia del plan de inversión gradual de dragado para evitar enormes riesgos financieros
- (10) Necesidad de nuevas reglas de navegación para el canal de acceso del Puerto de La Unión

LA REPÚBLICA DE EL SALVADOR:
LA ASISTENCIA TÉCNICA ESPECIAL
Para EL
DRAGADO DE MANTENIMIENTO
DEL
PUERTO DE LA UNIÓN

Tabla de Abreviaturas y Siglas
Resumen Ejecutivo

Índice

Capítulo 1	Introducción	1-1
1.1	Resumen del Desarrollo del Puerto de La Unión	1-1
1.1.1	Desarrollo del Puerto de La Unión	1-1
1.1.2	Instalaciones Portuarias del Puerto de La Unión.....	1-2
1.2	Reconocimiento del Problema de Sedimentación en el Puerto de La Unión y Comienzo del Estudio de SAPI.....	1-3
1.3	Resultados del estudio de SAPI.....	1-3
1.3.1	Golfo de Fonseca y Mecanismos de Sedimentación	1-3
1.3.2	Establecimiento de Fórmulas de Predicción para la Velocidad de Sedimentación y Profundidad del Canal	1-4
1.4	Objetivos y Principales Trabajos del Presente Estudio	1-4
1.5	Ingenieros Involucrados y Programa del Estudio.....	1-5
1.5.1	Ingenieros Involucrados	1-5
1.5.2	Programa del Estudio.....	1-6
1.6	Composición y Abstracto de los Capítulos del Informe	1-6
Capítulo 2	Transferencia de Tecnología.....	2-1
2.1	Capacitación Técnica al Personal de CEPA en Japón.....	2-1
2.2	Transferencia de Tecnología a la Contraparte	2-1
2.2.1	Transferencia de Tecnología en el Campo de Ingeniería.....	2-1
2.2.2	Transferencia de Tecnología en el Campo Económico.....	2-4
Capítulo 3	Estudios de Campo y Sus Resultados.....	3-1
3.1	Mediciones Batimétricas	3-1
3.1.1	Líneas de Mediciones Batimétricas	3-1
3.1.2	Profundidad Media del Canal de Acceso y la Dársena.....	3-2
3.1.3	Diferencia entre las Mediciones de Profundidad con Ondas Sónicas de 38 y 200 kHz.....	3-2
3.2	Condiciones del Lodo del Fondo Marino	3-3
3.2.1	Sitios y Metodología del Muestreo de Lodo	3-3
3.2.2	Descripción de Lodo Muestreado y Perfil de la Densidad Vertical de la Capa de Lodo.....	3-5
3.2.3	Propiedades Físicas del Lodo Muestreado	3-7
3.2.4	Predicción Numérica del Cambio de Perfil de Densidad mediante el Proceso de Consolidación de Lodo	3-7
3.2.5	Evaluación de Espesor de la Capa de Lodo Fluido para la Definición del Fondo	

Náutico.....	3-8
3.3 Principales Resultados del Estudio de Campo	3-9
Capítulo 4 Análisis del Proceso de Sedimentación.....	4-1
4.1 Datos Recopilados	4-1
4.2 Velocidad de Sedimentación y Cambio de Profundidad en el Canal (Modelo Exponencial).....	4-1
4.3 Análisis de los Procesos de Sedimentación en el Canal.....	4-3
4.3.1 Sedimentación en el Canal Interno	4-3
4.3.2 Sedimentación en el Canal Externo.....	4-5
4.3.3 Consideraciones Físicas para la Sedimentación Rápida Inmediatamente después del Dragado	4-8
4.4 Modelos de Predicción de Sedimentación para el Canal.....	4-10
4.4.1 Modificaciones al Modelo Exponencial Original.....	4-10
4.4.2 Modelo Lineal.....	4-14
4.4.3 Aplicabilidad de los Dos Modelos.....	4-15
4.5 Modelo de Predicción de Sedimentación para la Dársena y el Canal del Puerto	4-16
Capítulo 5 Estimación del Volumen de Dragado y Su Costo	5-1
5.1 Volumen de Re-Dragado.....	5-1
5.2 Volumen de Dragado de Mantenimiento	5-1
5.2.1 Profundidad Navegable	5-1
5.2.2 Método de Estimación del Volumen de Dragado de Mantenimiento	5-2
5.2.3 Volumen de Dragado de Mantenimiento en Función de la Profundidad.....	5-3
5.3 Análisis de Métodos de Dragado y de Capacidad de Dragas	5-6
5.3.1 Tipos de Draga.....	5-6
5.3.2 Método Apropriado de Dragado	5-8
5.3.3 Capacidad Requerida de Draga	5-10
5.4 Estimación del Costo de Dragado	5-13
5.4.1 Consideraciones sobre el Costo Estimado de Dragado	5-13
5.4.2 Costo de re-dragado.....	5-14
5.4.3 Costo de Dragado de Mantenimiento	5-14
5.4.4 Comentarios sobre el Costo de Re-Dragado.....	5-15
5.4.5 Efecto de Disminuir el Ciclo de Dragado (Caso Estudiado para la Profundidad Objetivo del Canal de 12 m).....	5-16
5.4.6 Recomendaciones sobre el Marco de Dragado.....	5-18
Capítulo 6 Propuesta de Plan de Monitoreo después de Re-Dragado	6-1
6.1 Objetivos de Monitoreo	6-1
6.2 Verificación de la Adecuación del Volumen de Sedimentación Predicho	6-1
6.3 Confirmación de Rápida Sedimentación Inmediatamente después de Dragado	6-2
6.4 Corrección por Mareas Aplicada a Datos Batimétricos.....	6-2
6.4.1 Mejoramiento de la Corrección de Mareas para los Datos de Mediciones Batimétricas	6-2
6.4.2 Nivel de Referencia del Puerto de La Unión.....	6-4
Capítulo 7 Revisiones del Modelo de Pronóstico de Demanda y del Modelo de Asignación de Mercados desarrollados por CEPA.....	7-1
7.1 Esquema del Modelo de Pronóstico de Demanda y del Modelo de Asignación de Mercados desarrollados por CEPA	7-1

7.2	Tasa prevista de crecimiento del volumen de contenedores que entran y salen de CA4...	7-1
7.3	Desarrollo del modelo de asignación de mercado	7-2
7.4	Asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión	7-5
Capítulo 8	Modelo de Recalado de Buques	8-1
8.1	Puertos de El Salvador.....	8-1
8.1.1	Perspectiva general de El Salvador.....	8-1
8.1.2	Perspectiva general de puertos de El Salvador	8-1
8.1.3	Principales instalaciones portuarias.....	8-1
8.1.4	Volumen de carga por tipo	8-1
8.1.5	Puerto de Acajutla.....	8-2
8.1.6	Puerto de La Unión.....	8-8
8.2	Puertos de los países CA5 en la costa del Pacífico.....	8-10
8.2.1	Indicador básico.....	8-10
8.2.2	Condiciones de ubicación	8-10
8.2.3	Condiciones físicas	8-10
8.2.4	Gestión y operación portuaria.....	8-11
8.2.5	Características de los puertos	8-11
8.2.6	Características del Manejo de los Contenedores	8-12
8.2.7	Futuro Desarrollo y Mejora	8-13
8.3	Actividades de Contenedores de la Región de América Central	8-14
8.3.1	Movimiento de los buques portacontenedores en la región de América Central	8-14
8.3.2	Opiniones de operadores de transporte marítimo	8-16
8.4	Perspectiva General del Modelo de Recalado de Buques	8-19
8.5	Comportamiento de las Compañías Navieras.....	8-21
8.5.1	Red de transporte marítimo	8-21
8.5.2	Compañía Naviera	8-21
8.5.3	Puerto.....	8-21
8.6	Modelo de asignación de carga de contenedores.....	8-22
8.6.1	Estructura completa del modelo	8-22
8.6.1.1	Formulación del modelo de asignación de carga de contenedores.....	8-23
8.6.2	Submodelo de transporte marítimo.....	8-24
8.6.3	Ocean freight charge.....	8-24
8.6.4	Tiempo de transporte terrestre y el costo de flete.....	8-24
8.7	Datos de Input.....	8-25
8.7.1	Carga de contenedores O-D (demanda de transporte de carga de contenedores).....	8-25
8.7.2	Nivel de servicio en cada puerto.....	8-26
8.7.3	Red de transporte terrestre	8-27
8.8	Resultados de cálculo del modelo de asignación de carga de contenedores	8-29
8.8.1	Estimación de parámetros desconocidos	8-29
8.8.2	Reproducibilidad del modelo.....	8-29
8.8.3	Sensibilidad del output del modelo	8-34
8.9	Conclusión del Capítulo 8	8-36
Capítulo 9	Escalas de los buques en el Puerto de La Unión y el análisis económico	9-1
9.1	Estado actual de la navegación en el Puerto de La Unión.....	9-1
9.1.1	Estado actual del canal de navegación y normas de navegación.....	9-1
9.1.2	Condiciones de la marea.....	9-1
9.1.3	Navegabilidad según la profundidad del canal.....	9-1

9.2	Cálculo y los resultados del Modelo de Escalas de los Buques	9-11
9.2.1	Simulación de recalada en el Puerto de La Unión en el escenario actual (2010) utilizando el modelo desarrollado.....	9-11
9.2.2	Configuración de futuros escenarios para la simulación (2020 y 2030)	9-13
9.2.3	Resultados del modelo de cálculo	9-19
9.3	Análisis económico y financiero en el modelo original	9-24
9.3.1	Definición y metodología	9-24
9.3.2	Los ingresos netos procedentes de la operación de contenedores del puerto de La Unión y el dragado según la profundidad del canal	9-26
9.3.3	Ingreso neto generado por la operación de contenedores en el sector portuario salvadoreño y el costo de dragado según profundidades del canal	9-29
9.3.4	Beneficio económico de El Salvador por la manipulación de contenedores en el Puerto de La Unión.....	9-32
9.4	Análisis económico y financiero de simulación de políticas.....	9-35
9.4.1	Ingreso neto de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión (en el caso de aumentar las tarifas) y el costo según la profundidad del dragado del canal	9-35
9.4.2	Ingreso neto generado de la operación de contenedores del sector portuario Salvadoreño (en el caso de aumentar la tarifa en el Puerto de La Unión) y el costo de dragado según profundidades del canal	9-38
9.4.3	Beneficio económico de El Salvador por la manipulación de contenedores en el Puerto de La Unión en caso de aumentar las tarifas.....	9-40
9.4.4	Ingreso neto de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión (considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador) y el costo según la profundidad del dragado del canal.....	9-44
9.5	Conclusión del Capítulo 9	9-45
Capítulo 10 Plan de dragado óptimo considerando los cambios de las series temporales de la demanda y costos		10-1
10.1	Concepto	10-1
10.2	Costo del dragado.....	10-1
10.2.1	Costo del re-dragado.....	10-2
10.2.2	Costo de movilización del re-draga	10-2
10.2.3	Costo para adquisición de la draga (en caso del dragado propio)	10-3
10.2.4	Costo de movilización para draga de mantenimiento.....	10-3
10.2.5	Costo regular para dragado de mantenimiento	10-3
10.3	Estimación de las series temporales del rendimiento de contenedores de carga, ganancia y beneficio netos, y costo de dragado considerando el momento oportuno del dragado	10-4
10.3.1	Estimación de las series temporales del rendimiento de contenedores de carga, y la ganancia y beneficio netos.....	10-4
10.3.2	Costo de dragado de las series temporales incluyendo el momento oportuno del re-dragado	10-6
10.4	Metodología y ejemplo de resultados del análisis financiero y económico de las series temporales considerando el momento oportuno del dragado	10-8
10.4.1	Elaborando una hoja de cálculo para la estimación de las series temporales.....	10-8
10.4.2	Obteniendo el momento oportuno de re-dragado y la combinación óptima de la profundidad a lograr	10-8
10.5	Conclusión del Capítulo 10.....	10-11
Capítulo 11 Conclusiones y Recomendaciones.....		11-1

11.1 Conclusiones.....	11-1
11.2 Recomendaciones	11-4

Listado de Tablas

Tabla 1.1 Volumen de sedimentos depositados desde abril de 2007 hasta enero de 2008 en comparación con la predicción en el momento del Estudio de Diseño Detallado en 2002	1-3
Tabla 1.2 Contrapartes en el estudio del 1 ^{er} periodo	1-5
Tabla 1.3 Contrapartes en el estudio del 2 ^o periodo	1-6
Tabla 2.1 Programa del taller de trabajo, títulos de presentaciones y presentadores.....	2-6
Tabla 3.1 Ubicación de los sitios del muestreo.....	3-3
Tabla 3.2 Características de suelo en cinco sitios de muestreo	3-7
Tabla 5.1 Volumen de re-dragado estimado (unidad: 1.000 m ³)	5-1
Tabla 5.2 Modelos de previsión de sedimentación para estimar volumen de dragado de mantenimiento	5-2
Tabla 5.3 Volumen de dragado de mantenimiento calculado con el modelo exponencial modificado	5-4
Tabla 5.4 Aplicabilidad de métodos de dragado al Puerto de La Unión.....	5-9
Tabla 5.5 Capacidad de draga necesaria para re-dragado (m ³).....	5-12
Tabla 5.6 Capacidad de draga necesaria para el dragado de mantenimiento (m ³), aplicando el modelo exponencial modificado	5-12
Tabla 5.7 Costo de dragado según el tirante de agua.....	5-14
Tabla 6.1 Niveles de referencia vertical en El Salvador proporcionados por CNR.	6-4
Tabla7.1 Elasticidad PIB	7-2
Tabla7.2 Tasa de Crecimiento de Contenedores (2010 = 100).....	7-2
Tabla7.3 Matriz de transporte de hinterland (2010)	7-4
Tabla7.4 Costos del Transporte por TEU en 2010 (US\$).....	7-5
Tabla7.5 Tiempo de Tránsito en 2010 (días)	7-5
Tabla7.6 Matriz de transporte de hinterland (con La Unión)	7-6
Tabla7.7 Asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión en los años 2020 y 2030 (Escenario 1).....	7-8
Tabla 8.1 Tendencia de Recaladas de Barcos y Manejo de Carga de los Principales Puertos de El Salvador.....	8-2
Tabla8.2 Instalaciones portuarias y sus estados actuales en el Puerto de Acajutla.....	8-6
Tabla 8.3 Cambios en el número de los servicios de contenedores que recalán en los puertos	8-15
Tabla 8.4 Configuraciones de nivel de servicio en cada puerto	8-26
Tabla 8.5 Tiempo y costo de conducción entre las zonas representativas (nodos O y D) y los puertos.....	8-28
Tabla 8.6 Tiempo y costo para cruzar la frontera entre las zonas representativas (nodos O y D) y los puertos.....	8-28
Tabla 8.7 Cantidades y proporciones estimadas de los contenedores según país o región socia del comercio de y a los puertos de los países del CA4 (Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA)	8-31
Tabla8.8 Resultados de la estimación de los puertos de exportación e importación de los contenedores de y a los países del CA4 (TEU)	8-31
Tabla 8.9 Proporciones real y estimada de las compañías navieras en el Puerto de Acajutla (2010)	8-32
Tabla 9.1 Resultados del Cálculo del Tiempo Navegable en el Canal	9-4
Tabla 9.2 Resultados del cálculo del Tiempo Diario Promedio Navegable	9-5
Tabla 9.3 Resultados del cálculo de tiempo previsto de espera.....	9-8

Tabla 9.4 Resultado estimado de la carga en contenedores en los puertos CA4 (TEU) considerando que hará escala un servicio regular en el Puerto de La Unión	9-13
Tabla 9.5 Ajustes futuros del nivel de servicio en cada puerto.....	9-14
Tabla 9.6 Servicio de transporte regular existente en el Puerto de Acajutla al mes de mayo de 2010	9-15
Tabla 9.7 Servicio de transporte regular existente en el Puerto de La Unión al mes de febrero de 2012.....	9-15
Tabla 9.8 Posibles alternativas para adecuar el nivel de servicio de transporte marítimo regular de las compañías navieras que realicen escala en los puertos salvadoreños en la actualidad.....	9-16
Tabla 9.9 Posibles alternativas a ser agregadas como un servicio de transbordo en el Puerto de La Unión	9-17
Tabla 9.10 Ingresos y gastos del negocio de contenedores en el Puerto de La Unión	9-24
Tabla 9.11 Tarifas del Puerto de La Unión (para los contenedores).....	9-24
Tabla 9.12 Costo de operación de terminal de contenedores.....	9-25
Tabla 9.13 Ingresos y gastos del negocio de contenedores en los puertos de El Salvador	9-25
Tabla 9.14 Tarifas del Puerto de Acajutla (para los contenedores).....	9-25
Tabla 9.15 Beneficio económico y el costo del proyecto de dragado del canal en el Puerto de La Unión (Comparación con el escenario “sin el dragado”)	9-26
Tabla 9.16 Costo de dragado según la profundidad del canal y según el modelo	9-28
Tabla 9.17 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión (2020)	9-28
Tabla 9.18 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión (2030)	9-28
Tabla 9.19 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020).....	9-28
Tabla 9.20 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2030).....	9-29
Tabla 9.21 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en los puertos de Acajutla y La Unión (2020).....	9-31
Tabla 9.22 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en los puertos de Acajutla y La Unión (2030).....	9-31
Tabla 9.23 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)	9-31
Tabla 9.24 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)	9-32
Tabla 9.25 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2020)	9-34
Tabla 9.26 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)	9-34
Tabla 9.27 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2020)	9-34
Tabla 9.28 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)	9-35
Tabla 9.29 Nuevas tarifas del Puerto de La Unión	9-35
Tabla 9.30 Ingreso neto máximo generado de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión en caso de aumentar las tarifas (2020)	9-37
Tabla 9.31 Ingreso neto máximo generado de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión en caso de aumentar las tarifas (2030)	9-37
Tabla 9.32 Diferencia máxima entre el ingreso neto en caso de aumentar la tarifa y el costo	

de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)	9-37
Tabla 9.33 Diferencia máxima entre el ingreso neto en caso de aumentar las tarifas y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)..	9-38
Tabla 9.34 Ingreso neto máximo procedente de la operación de contenedores en los puertos de Acajutla y La Unión en caso de aumentar las tarifas en el Puerto de La Unión (2020).....	9-39
Tabla 9.35 Ingreso neto máximo procedente de la operación de contenedores en los puertos de Acajutla y La Unión en caso de aumentar las tarifas en el Puerto de La Unión (2030).....	9-40
Tabla 9.36 Diferencia máxima entre el ingreso neto para el sector portuario salvadoreño en caso de aumentar las tarifas y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)	9-40
Tabla 9.37 Diferencia máxima entre el ingreso neto para el sector portuario salvadoreño en caso de aumentar las tarifas y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)	9-40
Tabla 9.38 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2020)	9-42
Tabla 9.39 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)	9-42
Tabla 9.40 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2020)	9-43
Tabla 9.41 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)	9-43
Tabla 9.42 Ingreso neto máximo generado por la operación de contenedores en el Puerto de La Unión considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador (2020)....	9-45
Tabla 9.43 Diferencia máxima entre el ingreso neto considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador, y el costo del dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)	9-45
Tabla 10.1 Ítems del costo de dragado resumidos en términos del momento oportuno cuando se requiera	10-1
Tabla 10.2 Costo estimado de re-dragado (US\$) por cada combinación de la profundidad actual y la profundidad a lograr	10-2
Tabla 10.3 Costo de movilización de re-draga (US\$) por cada combinación de la profundidad actual y la profundidad a lograr	10-2
Tabla 10.4 Costo de adquisición de la draga por la profundidad a lograr para el modelo exponencial modificado.....	10-3
Tabla 10.5 Costo de movilización para la draga de mantenimiento estimado en el modelo exponencial modificado para cada profundidad a lograr.....	10-3
Tabla 10.6 Costo regular para dragado de mantenimiento (US\$/año) por cada profundidad a lograr.....	10-4
Tabla 10.7 Rendimiento estimado de contenedores de carga y otros ingresos/costos por cada profundidad de canal en 2010.....	10-5
Tabla 10.8 Ejemplo de resultado de cálculo en el año óptimo y el beneficio neto para cada combinación de la profundidad a lograr después del primer y segundo re-dragado y cada tipo de dragado (antes del incremento de la tarifa en el Puerto de La Unión)	10-10
Tabla 10.9 Ejemplo de resultado de cálculo en el año óptimo y el beneficio neto para cada combinación de la profundidad a lograr después del primer y segundo re-dragado y cada tipo de dragado (antes del incremento de la tarifa en el Puerto de La Unión)	10-10

Listado de Figuras

Figura 1.1 Historia del Puerto de La Unión.....	1-2
Figura 1.2 Canal de acceso del Puerto de la Unión	1-2
Figura 3.1 Líneas de mediciones batimétricas en el canal de acceso	3-1
Figura 3.2 Líneas de mediciones batimétricas en la dársena.....	3-1
Figura 3.3 Variación longitudinal de la profundidad media del canal de acceso	3-2
Figura 3.4 Perfiles transversales del canal medidos con señales de 38 y 200 kHz en L19 (SAPI, 2009).....	3-3
Figura 3.5 Ubicación de los sitios del muestreo	3-4
Figura 3.6 Cortando el tubo de muestreo en secciones de 0,3 m de largo.....	3-5
Figura 3.7 Fotos de muestras de lodo con su densidad.....	3-6
Figura 3.8 Perfil vertical de la densidad húmeda de lodo fuera del canal de acceso (a la izquierda) y dentro del canal (a la derecha).....	3-7
Figura 3.9 Evolución temporal de (a) altura de sedimentación y (b) densidad	3-8
Figura 4.1 Periodos de dragado y tiempos de mediciones batimétricas	4-1
Figura 4.2 Cambio de profundidad de agua en los canales interno y externo	4-1
Figura 4.3 Líneas de mediciones batimétricas en el canal de acceso	4-2
Figura 4.4 Velocidad de sedimentación en función de la diferencia de profundidad dentro y fuera del canal de acceso	4-2
Figura 4.5 Definición de las profundidades de agua	4-3
Figura 4.6 Cambios del tirante de agua en las líneas de referencia de la L21 a la L18 en el canal interno	4-4
Figura 4.7 Superposición de secciones transversales a lo largo de L21	4-5
Figura 4.8 Superposición de las secciones transversales en L21 después de la corrección (Los valores de los datos de la sección transversal de diciembre de 2008 se han incrementado 0.6 m)	4-5
Figura 4.9 Cambios del tirante de agua en las líneas de referencia de la L08 a la L05 en el canal externo.....	4-6
Figura 4.10 Situación de completa sedimentación a lo largo de L08 a L05 en el canal externo	4-7
Figura 4.11 Superposición de secciones transversales justamente después del segundo dragado (Medidas el 28 de abril y 5 de mayo de 2008)	4-8
Figura 4.12 Superposición de secciones transversales del 11 de agosto de 2008, cerca de 3 meses y medio después del dragado	4-9
Figura 4.13 Superposición de las secciones transversales a lo largo de L07 a L06	4-9
Figura 4.14 Distribución espacial de sedimento.....	4-10
Figura 4.15 Velocidad de sedimentación en función de la diferencia de profundidad en el canal interno después de la corrección de datos	4-11
Figura 4.16 Comparación del modelo exponencial original y el modificado con el tirante de agua real (para el canal interno)	4-12
Figura 4.17 Modificación del modelo exponencial introduciendo el concepto de profundidad final	4-13
Figura 4.18 Comparación del modelo exponencial original y el modificado con el tirante de agua real (canal externo).....	4-13
Figura 4.19 Variaciones temporales del tirante de agua en los canales interior y exterior	4-14
Figura 4.20 Conexión del modelo lineal al modelo exponencial modificado.....	4-15
Figura 5.1 Forma del Canal para el cálculo del volumen de Re-Dragado.....	5-1

Figura 5.2 Definición de profundidad navegable y profundidad medida.....	5-2
Figura 5.3 Esquema de la subida del fondo del canal entre los dragados de mantenimiento	5-3
Figura 5.4 Volumen de dragado de mantenimiento en función de la profundidad.....	5-5
Figura 5.5 Ubicación del botadero	5-11
Figura 5.6 Estimación del costo de dragado a base de contrato	5-13
Figura 5.7 Estimación del costo de dragado con propia draga de CEPA	5-14
Figura 5.8 Costo de dragado a base de contrato (comparación de costo entre el modelo exponencial modificado y el modelo lineal).....	5-15
Figura 5.9 Costo de dragado con draga propia (comparación de costo entre el modelo exponencial modificado y el modelo lineal).....	5-15
Figura 5.10 Estructura de los costos de re-dragado y dragado de mantenimiento	5-16
Figura 5.11 Relación entre el ciclo de dragado y el volumen anual del dragado de mantenimiento (predicho con el modelo exponencial modificado para la profundidad objetivo del canal de 12 m).....	5-17
Figura 5.12 Relación entre el ciclo y costo anual de dragado	5-17
Figura 5.13 Comparación del costo de dragado entre dragado a base de contrato y dragado con draga propia	5-18
Figura 5.14 Comparación de los costos directo e indirecto del dragado a base de contrato y del dragado con draga propia (profundidad objetivo: 12 m para el modelo exponencial modificado con un ciclo de 3 meses).....	5-19
Figura 5.15 Costo de dragado y capacidad de draga según el tirante de agua	5-20
Figura 6.1 Herramientas de procesamiento posterior codificadas con Excel/VBA	6-3
Figura 6.2 Nivel de referencia vertical adoptado por CNR.....	6-4
Figura 8.1 Volumen de Carga de Principales Puertos de El Salvador	8-2
Figura 8.2 Ubicación del Puerto de Acajutla.....	8-2
Figura 8.3 Plano del Puerto	8-3
Figura 8.4 Plano del Puerto de La Unión	8-8
Figura 8.5 Estructura completa del modelo de recalado de buques (fuente: Equipo de Estudio de la JICA).....	8-20
Figura 8.6 Ubicación de los Puertos en América Central (se indican en letras rojas los puertos agregados en este modelo) (Fuente: Equipo de Estudio de la JICA).....	8-22
Figura 8.7 Red de transporte considerada en el modelo de asignación de carga de contenedores (Fuente: Equipo de Estudio de la JICA).....	8-23
Figura 8.8 Red de transporte terrestre considerada en este proyecto (Fuente: Equipo de Estudio de la JICA).....	8-27
Figura 8.9 Tráfico de carga de contenedores reproducido por el modelo desarrollado en comparación con el tráfico real (Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA)	8-30
Figura 8.10 Ejemplo del flujo de los contenedores estimado según servicio de línea (Maersk, 2010) (Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA)	8-33
Figura 8.11 Sensibilidad de parámetros desconocidos [1] el valor de tiempo para expedidores vt y el tráfico de carga de contenedores por cada puerto de los países del CA4 (Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA).....	8-34
Figura 8.12 Sensibilidad de parámetros desconocidos [2] el parámetro de la distribución θ y el tráfico de carga de contenedores por cada puerto de los países del CA4 (Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA).....	8-35
Figura 8.13 Sensibilidad de parámetros desconocidos [3] el parámetro de ajuste sobre el transporte bajo control aduanero α y el tráfico de carga de contenedores por cada puerto de los países del CA4	8-36

Figura 9.1 Canal de navegación del Puerto de La Unión	9-3
Figura 9.2 Esquema conceptual de cálculo del tiempo previsto de espera.....	9-7
Figura 9.3 Resultados del cálculo de tiempo previsto de espera según la profundidad del canal.....	9-9
Figura 9.4 Herramienta de salida el rango de tiempo navegable.....	9-10
Figura 9.5 Resultado del cálculo del tiempo previsto de espera según la regla de navegación actual.....	9-11
Figura 9.6 Ruta de Servicio operada por APL y Hamburg-Sud en 2012 (Fuente: Preparada por el Equipo de Estudio de JICA con base en la información contenida en el Sitio Web de APL).....	9-12
Figura 9.7 Base y caso ejemplar de la red de transporte marítimo (solamente los servicios de escala en los puertos de Acajutla y La Unión).....	9-18
Figura 9.8 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2020	9-20
Figura 9.9 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2030	9-20
Figura 9.10 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2020 (en caso de aumentar la tarifa en el Puerto de La Unión).....	9-21
Figura 9.11 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2030 (en caso de aumentar la tarifa en el Puerto de La Unión).....	9-21
Figura 9.12 Diferencia del impacto del aumento de la tarifa sobre el rendimiento actual de la carga de contenedores: con la barrera fronteriza (arriba) y sin ninguna barrera fronteriza (abajo) (En el escenario S30-5-5 (14 m) con -14 m de profundidad del canal en el año 2030)	9-22
Figura 9.13 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2020 (considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador)	9-23
Figura 9.14 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)	9-27
Figura 9.15 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2030)	9-27
Figura 9.16 Ingreso neto estimado para el sector portuario salvadoreño (suma de los puertos de Acajutla y La Unión) y el costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)	9-30
Figura 9.17 Ingreso neto estimado para el sector portuario salvadoreño (suma de los puertos de Acajutla y La Unión) y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)	9-30
Figura 9.18 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña y el costo de dragado según profundidad del canal (2020)	9-33
Figura 9.19 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña y el costo de dragado según profundidades del canal (2030).....	9-33
Figura 9.20 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)	9-36
Figura 9.21 Ingreso neto estimado en caso de aumentar las tarifas y el costo del dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030).....	9-36
Figura 9.22 Ingreso neto estimado para el sector portuario salvadoreño (puertos de Acajutla + La Unión) en caso de aumentar las tarifas y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)	9-38

Figura 9.23 Ingreso neto estimado para el sector portuario salvadoreño (puertos de Acajutla + La Unión) en caso de aumentar las tarifas y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)	9-39
Figura 9.24 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña en caso de aumentar las tarifas, y el costo de dragado según profundidades del canal (2020).....	9-41
Figura 9.25 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña en caso de aumentar las tarifas, y el costo de dragado según profundidades del canal (2030).....	9-41
Figura 9.26 Ingreso neto estimado considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador, y el costo del dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020).....	9-44
Figura 10.1 Ejemplo típico de la estructura del cálculo de ingreso-costos de las series temporales (en caso del dragado en base a un contrato para los primeros diez años)	10-6
Figura 10.2 Ejemplo típico de la estructura del cálculo de ingreso-costos de las series temporales (en caso de dragado propio)	10-8

Capítulo 1 Introducción

Capítulo 1 Introducción

1.1 Resumen del Desarrollo del Puerto de La Unión

1.1.1 Desarrollo del Puerto de La Unión

La estructura económica de la República de El Salvador depende en gran medida del comercio exterior, y la mayoría de la distribución de sus mercancías es por transporte marítimo, que desempeña un rol significativo en el desarrollo del país. Sin embargo, el Puerto de Acajutla, que es el único puerto de comercio internacional en el país, está expuesto directamente a toda la energía del Océano Pacífico. Debido a dicha condición natural, existe un límite de capacidad en la manipulación de mercancías, especialmente para los contenedores. No hay suficientes instalaciones en El Salvador que permitan manejar el creciente transporte marítimo y una tendencia global de transporte de mercancías contenerizadas.

El Departamento de La Unión, que es el Departamento en el extremo Este de la República de El Salvador, colinda con Honduras y Nicaragua a través del Golfo de Fonseca. Un puerto llamado Cutuco había sido desarrollado en el litoral occidental del Golfo de Fonseca a unos 25 km de distancia desde la entrada del golfo. El puerto manejó 236 mil toneladas de carga en 1975, pero el comercio se redujo considerablemente durante el tiempo de la guerra entre finales de los 80 y principios de los 90. El Departamento de La Unión había sido rezagado en economía, en comparación con otros Departamentos.

Después de la terminación de la guerra civil, la República de El Salvador decidió desarrollar un nuevo puerto en el Departamento de La Unión, con el objetivo de estimular el desarrollo económico e industrial mediante actividades portuarias en el mismo Departamento. Asimismo, se esperaba que el nuevo puerto funcionara como puerto central de tráfico de buques portacontenedores a lo largo de la costa Pacífica del continente de América Central.

El gobierno de El Salvador solicitó al gobierno de Japón la elaboración de un plan maestro para la expansión portuaria y la ejecución de un estudio de factibilidad para un plan de construcción de instalaciones a corto plazo. El gobierno japonés respondió a dicha solicitud ejecutando un estudio de factibilidad del Puerto de La Unión a través de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (en adelante llamada “JICA”) entre octubre de 1997 y diciembre de 1998 y presentando un Informe Final. Después del estudio de factibilidad, fue elaborado un diseño detallado entre julio de 2001 y enero de 2003. El nombre del puerto cambió de Cutuco a La Unión y la ubicación del área de muelle tuvo una ligera modificación.

El proyecto de construcción del Puerto de La Unión empezó en abril de 2005 con un costo total de unos 21.400 millones de yenes japoneses, de los cuales 11.233 millones de yenes japoneses fueron proporcionados por el Banco de Japón para la Cooperación Internacional (en adelante llamado “JBIC”) como un préstamo de bajo interés, y la construcción de la obra de ingeniería civil fue completada en diciembre de 2008.

La historia del Puerto de La Unión arriba mencionada se presenta en la Figura 1.1.

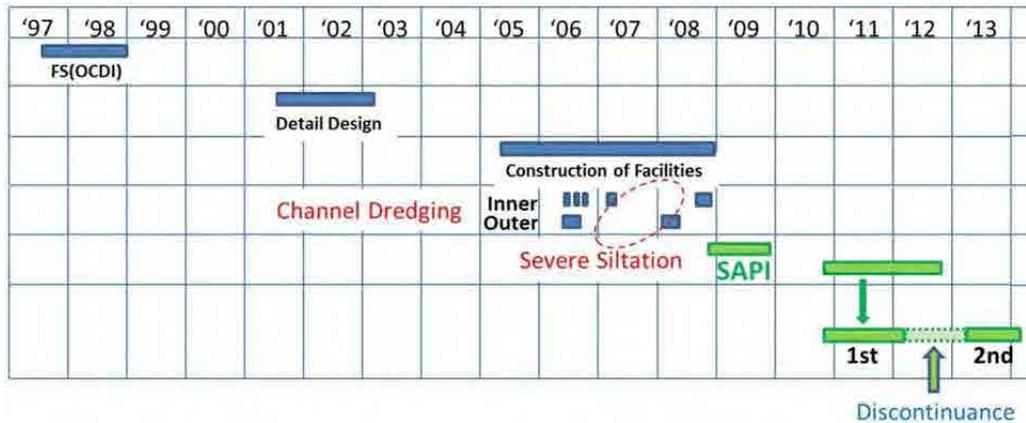


Figura 1.1 Historia del Puerto de La Unión

1.1.2 Instalaciones Portuarias del Puerto de La Unión

El Puerto de La Unión ha sido diseñado para buques portacontenedores Post-Panamax, graneleros de 50.000 TPM y embarcaciones de pasaje de clases de 25.000 TPM.

El canal de acceso de 22,3 km de longitud está dividido en la parte interna y la externa mediante un paso estrecho de agua entre el Cabo Chiquirín y la Isla de Zacatillo. El canal interno tiene una longitud aproximada de 5,0 km y el canal externo, 17,3 km. Cuando fue completado el trabajo de dragado en 2008, el canal interno tenía un ancho de 140 m en el fondo y un tirante de agua de 14 m, mientras que el canal externo tenía un ancho de 137 m y un tirante de agua de 14,5 m. Unos 4,5 km del canal interno fueron obstaculizados por un área de aguas someras con profundidad inferior a 10 m, con la parte menos profunda de 6 m. La longitud obstaculizada del canal externo por el área con profundidades menores de 10 m es de 1,5 km aproximadamente; la profundidad en la parte más somera es sobre 9 m. Los taludes están diseñados con una pendiente 5:1. Sin embargo, todo el paso se ha azolvado y la profundidad que se tenía después del dragado no ha sido mantenida.

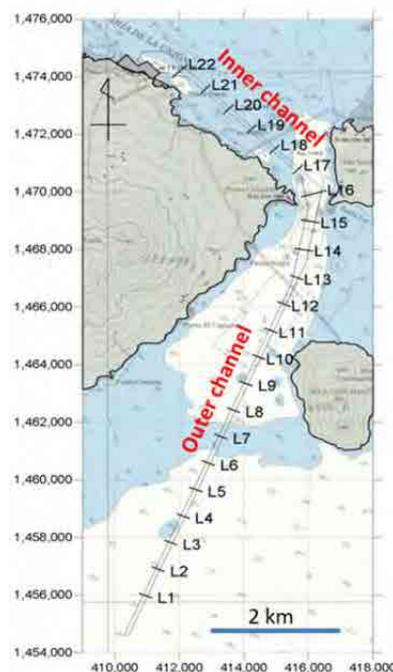


Figura 1.2 Canal de acceso del Puerto de la Unión

1.2 Reconocimiento del Problema de Sedimentación en el Puerto de La Unión y Comienzo del Estudio de SAPI

Cuando el Puerto de La Unión estaba bajo construcción hacia su terminación al final de noviembre de 2008, se encontró un alto grado de azolvamiento en los canales interno y externo, y la dársena, según las mediciones batimétricas realizadas durante la ejecución del trabajo de dragado (véase la Figura 1.1). El volumen de la sedimentación desde abril de 2007 hasta enero de 2008 se calcula como se muestra en la Tabla 1.1. El volumen de sedimentación en la dársena y el canal de acceso ha sido predicho en el Informe de Diseño Detallado (2002), y también se muestra en la Tabla 1.1. La sedimentación real fue entre 4 y 8 veces mayor a la de la predicción a principios de 2008.

Tabla 1.1 Volumen de sedimentos depositados desde abril de 2007 hasta enero de 2008 en comparación con la predicción en el momento del Estudio de Diseño Detallado en 2002

Nombre	Área (m ²)	Volumen (m ³)	
		Observado	Predicho
Dársena	657.000	158.000	478.000
Canal interno	626.000	1.973.000	453.000
Canal externo	1.660.000	2.389.000	312.000
Total	2.943.000	4.521.000	1.243.000

Puesto que las causas de la sedimentación imprevistamente rápida no fueron identificadas, no fue posible estimar el volumen de futura sedimentación, ni encontrar medidas adecuadas. Por lo que un escrutinio de rápida sedimentación llegó a ser una tarea urgente.

El JBIC y la Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma (en adelante llamada “CEPA”) en julio de 2008 discutieron la necesidad de un estudio sobre la rápida sedimentación y acordaron comenzar una Asistencia Especial para la Implementación del Proyecto de Desarrollo del Puerto de La Unión (en adelante llamada “SAPI”). El Estudio de SAPI fue emprendido por JICA y ejecutado entre noviembre de 2008 y noviembre de 2009 (véase Figura 1.1).

1.3 Resultados del estudio de SAPI

Los principales resultados referentes al problema de sedimentación se citan del Informe de SAPI.

1.3.1 Golfo de Fonseca y Mecanismos de Sedimentación

El Golfo de Fonseca tiene un ancho aproximado de 65 km y una longitud de 45 km, con una superficie de 3.200 km² aproximadamente. El lodo en el Golfo de Fonseca proviene de sedimentos suspendidos durante inundaciones de muchos ríos. Los sedimentos del arrastre de fondo son captados mayormente por manglares en la entrada del Golfo. Los sedimentos suspendidos de limo y arcilla se expanden con la descarga de inundaciones y cubren uniformemente todas las áreas de bahía con un espesor de 0,2 a 1,2 m.

En el área alrededor del canal interno, la mayor parte del fondo marino está cubierta con limo y lodo, excepto en algunos puntos. El diámetro medio varía de 0,013 a 0,034 mm excluyendo los sitios con arena fina local.

En el área fuera del canal externo, el sedimento del fondo contiene del 30 al 50% de arena fina.

Dentro del canal, sin embargo, el contenido de arena es poco con un diámetro medio de 0,02 a 0,04 mm. El poco contenido de arena a lo largo del canal externo indica que la arena no se

mueve hacia dentro del canal, pero limo y arcilla son transportados al interior del canal. Esto corrobora el concepto del mecanismo de sedimentación en que una capa delgada de lodo fluido sobre el fondo marino va bajando hacia una sección más profunda por gravedad. El movimiento continúa mientras haya diferencia de elevación sobre la superficie del lodo fluido entre el fondo marino fuera y dentro del canal.

1.3.2 Establecimiento de Fórmulas de Predicción para la Velocidad de Sedimentación y Profundidad del Canal

Un análisis de tendencia de la variación temporal de la profundidad media del canal sobre las líneas transversales ha permitido establecer una fórmula empírica de predicción para la velocidad de sedimentación en función de la diferencia de profundidades dentro y fuera del canal, y el tiempo transcurrido desde que terminó el dragado principal.

Otra fórmula de predicción para estimar una futura profundidad del canal ha sido también derivada de la fórmula de velocidad de sedimentación. La validez de esta fórmula para estimar la profundidad del canal ha sido verificada con los resultados de previas mediciones batimétricas registradas. Con la aplicación de esta fórmula se estimó que el volumen de sedimentación predicho en el canal de acceso para la profundidad de 14 m, será de 10 millones de metros cúbicos por año.

1.4 Objetivos y Principales Trabajos del Presente Estudio

Para que el puerto funcione adecuadamente como un puerto de gran calado, el método de dragado así como su costo son temas vitales en la viabilidad financiera y factores clave para una exitosa operación de la terminal portuaria tanto en la operación de la fase contingente como en la de la fase de concesión. Por consiguiente, la CEPA solicitó a JICA la proporción de un plan de dragado de mantenimiento efectivo y eficiente.

De acuerdo con los resultados de las discusiones entre JICA y CEPA el 28 de abril de 2010, JICA comenzó el 1er estudio en enero de 2011 y llevó a cabo una serie de mediciones batimétricas y su análisis por un año y cuatro meses hasta mayo de 2012. El 1er estudio tuvo los dos siguientes propósitos:

- (1) Preparar un efectivo y eficiente plan de mantenimiento del canal para que el Puerto de La Unión funcione apropiadamente como un puerto de gran calado.
- (2) Transferir tecnología para hacer frente a la sedimentación en el canal y la dársena y para ayudar a CEPA a examinar/revisar el plan de dragado preparado sobre la base de los datos del monitoreo batimétrico.

Las mediciones y su análisis han demostrado que un análisis detallado de futuro servicio de transporte marítimo, un detallado pronóstico de la demanda y los datos de dragado de prueba son inevitables para hacer válido el plan de dragado de mantenimiento. Por tanto, JICA y CEPA deliberaron y acordaron revisar los Términos de Referencia de la Asistencia Técnica Especial para el Dragado de Mantenimiento del Puerto de La Unión antes del comienzo del 2º estudio, que fue realizado el 31 de octubre de 2012. En este 2º estudio, no solamente los temas de ingeniería sino también los económicos están incluidos en el alcance del estudio para analizar técnica, financiera y económicamente las profundidades óptimas del canal actuales y futuras.

El 2º estudio tiene los tres siguientes propósitos:

- (1) Preparar datos, información y análisis a utilizar por CEPA para formular un efectivo y

eficiente plan de dragado de mantenimiento del Puerto.

- (2) Transferir tecnología para hacer frente a la sedimentación en el canal y la dársena
- (3) Ayudar a CEPA a preparar un plan de dragado sobre la base de los datos recolectados y su análisis.

1.5 Ingenieros Involucrados y Programa del Estudio

1.5.1 Ingenieros Involucrados

(1) Comité de Asistencia al Proyecto en Japón

Para implementar apropiadamente el proyecto sobre “Asistencia Técnica Especial para el Dragado de Mantenimiento del Puerto de La Unión en la Republica de El Salvador”, el Comité de Asistencia Doméstica al Proyecto fue establecido dentro del Departamento de Infraestructura Económica de la sede de JICA. El Comité, que está formado por especialistas en sedimentación y dragado, evalúa los ítems relacionados con la sedimentación del canal y el método de dragado, y aconseja al director del departamento, desde un punto de vista académico y técnico.

(2) Equipo de Estudio

El equipo de estudio del 1er periodo lo conforman mayormente ingenieros del corporativo ECOH, Japón.

El equipo del 2º periodo puede dividirse en dos sub-equipos, es decir, el equipo de ingeniería y el de economía. El primer equipo está integrado mayormente por ingenieros del corporativo ECOH que se encargan del problema de sedimentación y plan de dragado en el canal. El segundo equipo está integrado por ingenieros de OCIDI, Japón, que están a cargo del pronóstico de demanda y análisis económico del puerto.

(3) Contraparte

A dos personas contrapartes en el estudio del 1er periodo, listadas en la Tabla 1.2, se les dio un entrenamiento técnico en Japón.

En el estudio del 2º periodo, CEPA nombró a 11 ingenieros como contrapartes, siendo 3 para el equipo de ingeniería y 8 para el equipo de economía, según se muestra en la Tabla 1.3.

Tabla 1.2 Contrapartes en el estudio del 1^{er} periodo

Nombre	Institución
Sr. Mario Orantes	Asistente de navegación
Sr. Abelino Cruz	Jefe del Departamento de Mantenimiento

Tabla 1.3 Contrapartes en el estudio del 2º periodo

	Nombre	Institución
Equipo de ingeniería	Sr. Andrés Abelino Cruz	Encargado de mantenimiento, Puerto de La Unión
	Sr. Carlos Alejandro Molina Paz	Especialista en batimetría y dragado, Puerto de La Unión
	Sra. Egly Tatiana Chacón	Especialista en batimetría y dragado, Puerto de La Unión
Equipo de economía	Sr. Carlos Federico Paredes	Depto. Concesiones, asesor del Presidente
	Sr. Julio Romero	Depto. Concesiones
	Sra. Patricia Callejas	Depto. Concesiones
	Sra. Marta Eugenia Canales	Depto. Concesiones
	Sra. Andrea Castillo	Presidencia
	Sr. Alan Castillo	Depto. Concesiones
	Sr. Juan Carlos Martínez	Depto. Concesiones
	Sr. Damián Reyes	División de Análisis de Mercado

(4) Expertos de JICA enviados a CEPA

Los expertos de JICA enviados a CEPA son el Dr. Hidefumi IKEDA, en el estudio del 1er periodo, y el Sr. Takashi KADONO, en el estudio del 2º periodo.

1.5.2 Programa del Estudio

Los programas de los estudios del 1er y 2º periodo son los siguientes:

[Estudio del 1^{er} periodo] de enero de 2011 a mayo de 2012
 Primer trabajo de campo del 25 de junio al 21 de febrero de 2011
 Segundo trabajo de campo del 15 de agosto al 6 de septiembre de 2011
 Tercer trabajo de campo del 15 de enero al 6 de febrero de 2012

[Estudio del 2º periodo] de abril de 2013 a abril de 2014
 Primer trabajo de campo del 10 de abril al 5 de mayo de 2013
 Segundo trabajo de campo del 11 de agosto al 1 de septiembre de 2013
 Tercer trabajo de campo del 4 al 15 de diciembre de 2013

Comité de Asistencia Doméstica al Proyecto
 Primera reunión de PSDC 1 de abril de 2013
 Segunda reunión de PSDC 9 de agosto de 2013
 Tercera reunión de PSDC 19 de noviembre de 2013

1.6 Composición y Abstracto de los Capítulos del Informe

En el Capítulo 2, se describen el entrenamiento técnico en Japón de dos personas contrapartes, contenido de la transferencia técnica en el estudio del 2º periodo y el taller de trabajo organizado el 27 de agosto de 2013.

En el Capítulo 3, los estudios de campo como el estudio batimétrico y el muestreo de lodo llevados a cabo en el estudio del 1er periodo se explican junto con sus resultados.

En el Capítulo 4, primero se formula un modelo empírico de predicción con una función exponencial basada en datos batimétricos. Luego, se muestran un proceso y un mecanismo de sedimentación en el canal mediante el análisis de datos batimétricos. De acuerdo con los

resultados del análisis, el modelo exponencial original se mejoró a un nuevo modelo, llamado modelo exponencial modificado. Además, se muestra que una rápida sedimentación ocurre justo después del dragado durante algunos meses. Teniendo en cuenta la posibilidad de que una rápida sedimentación no ocurra durante el periodo del dragado de mantenimiento, se establece un segundo modelo de predicción, llamado modelo lineal. La aplicabilidad de dichos modelos es analizada.

En el Capítulo 5, se estiman el volumen de re-dragado y de dragado de mantenimiento. El volumen del dragado de mantenimiento se calcula para cada profundidad objetivo con los dos modelos de predicción formulados en el Capítulo 4. Para considerar un método de dragado, se seleccionó una draga de succión en marcha (TSHD), después de comparar cuatro tipos de métodos de dragado. El costo de re-dragado se calcula para un dragado basado en un contrato, y el costo de dragado de mantenimiento se calcula para el caso de contrato y el de draga propia de CEPA.

En el Capítulo 6, se examinan el contenido y métodos de monitoreo de sedimentación en el canal y la dársena, que serán llevados a cabo justo después del re-dragado y durante el dragado de mantenimiento. El propósito del monitoreo es verificar la adecuación de los volúmenes de sedimentación predichos con los dos modelos y confirmar el fenómeno de rápida sedimentación justo después del re-dragado.

En el Capítulo 7, se presentan el método de cálculo para proyectar la tasa de crecimiento del volumen de contenedores de CA4 (El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua) y el desarrollo del modelo de asignación de mercados.

El objetivo principal del Capítulo 8 es el de describir un modelo de recalada de buques para el análisis económico y financiero del Puerto de La Unión. Antes de describir la estructura del modelo, el estado actual de los puertos salvadoreños, así como también otros puertos importantes de los países de América Central (CA5) se resumen principalmente desde el punto de vista económico, pero también se enfoca en sus condiciones físicas. Además, una estrategia de los operadores navieros (empresas navieras de contenedores marítimos) en la costa del Pacífico de América Central es examinada desde la red de transporte marítimo de cada operador y sus cambios, así como entrevistas a los operadores y otras partes interesadas. Después, un resumen del modelo de recalada de buques se describe, seguida de una descripción de cada uno de los componentes del modelo incluyendo el comportamiento de las empresas navieras, un modelo de asignación de contenedores de carga y los datos de entrada. Por último, los resultados calculados con el modelo de asignación de contenedores de carga son examinados desde la perspectiva de la reproducibilidad del modelo desde varios puntos de referencia. La sensibilidad del modelo a los parámetros desconocidos estimados también se examina.

El Capítulo 9 se centra principalmente en los resultados del modelo de recalada de buques. Sin embargo, la primera parte de este capítulo describe la situación actual del canal de navegación y las reglas en el Puerto de La Unión, seguido de una propuesta de una nueva regla de navegación. Después de eso, de acuerdo con una gran cantidad de escenarios sobre redes de líneas navieras en el futuro preparados para cada profundidad del canal en el Puerto de La Unión, el modelo de recalada de buques se aplica para estimar el futuro rendimiento de contenedores de carga y otros resultados. El ingreso neto (excepto para el costo de dragado) del negocio de los contenedores del Puerto de La Unión, los ingresos netos por el negocio de contenedores del sector portuario salvadoreño (suma del puerto de Acajutla y La Unión), y el beneficio neto para la economía salvadoreña con el proyecto de dragado en el Puerto de la Unión, se estiman con los resultados

del modelo y se comparan con el coste del dragado para cada profundidad del canal. La aplicación del modelo, así como el análisis económico y financiero como se indicó anteriormente, también se ejecutan para los casos en que se implementen cada una de las políticas relacionadas, como son el incremento arancelario del Puerto de La Unión, el desarrollo regional en el Este de El Salvador y la disminución de la barrera en la frontera nacional.

En el Capítulo 10 se muestra una metodología del análisis de series de tiempo teniendo en cuenta los ingresos anuales, beneficios y costos de dragado. También, se incluyen ejemplos de resultados del cálculo, con el fin de contribuir en la discusión sobre el tiempo adecuado para la inversión en el dragado.

En el Capítulo 11, algunos de los principales resultados del estudio y recomendaciones se resumen.

Capítulo 2 Transferencia de Tecnología

Capítulo 2 Transferencia de Tecnología

2.1 Capacitación Técnica al Personal de CEPA en Japón

La capacitación técnica al personal de CEPA fue llevada a cabo en Japón desde el 21 de noviembre hasta el 9 de diciembre de 2011. Los participantes fueron los señores Andrés Abelino Cruz Fuentes y Mario René Orantes Montiaquido, quienes tomaron parte en el programa de capacitación y aprendieron sobre la operación y manejo del trabajo de dragado, metodología de mediciones batimétricas y predicción de mareas astronómicas, etc. (véase la Foto 2.1).

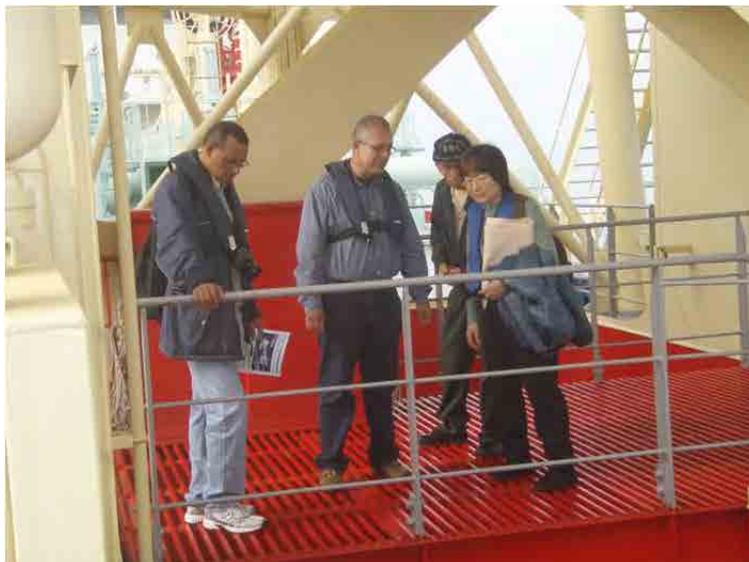


Foto 2.1 Ejercicio sobre la draga de MLITT, Kaisho Maru

2.2 Transferencia de Tecnología a la Contraparte

2.2.1 Transferencia de Tecnología en el Campo de Ingeniería

- (1) Explicación sobre el Informe Inicial del estudio del 2º periodo, el 16 de abril de 2013

El Informe Inicial en que constan los propósitos y métodos del estudio del 2º periodo fue explicado a cinco participantes en el Puerto de La Unión. Ellos comprendieron bien su contenido.

- (2) Inspección de dragado de rastrillo y confirmación de la corrección de mareas de CEPA, el 17 de abril de 2013

El equipo de ingeniería obtuvo información sobre el dragado de rastrillo mediante entrevistas y discusiones con los cinco participantes. La contraparte explicó sobre su método de corrección de mareas. El equipo señaló que su método no era apropiado.

(3) Práctica conjunta de mediciones batimétricas, el 19 de abril de 2013

En el campo, los cinco participantes explicaron al equipo sobre los temas relacionados con las mediciones batimétricas tales como la instalación de ecosonda, calibración de la profundidad de agua medida, operación del barco de mediciones, registro de datos de sondeo, etc. (véase la Foto 2.2). Fue confirmado que sus métodos de mediciones batimétricas fueron correctos y apropiados, y sus habilidades fueron buenas.



Foto 2.2 Instalando un equipo de registro para las mediciones batimétricas

(4) Explicación sobre el Software para la predicción del nivel de mareas en el Puerto de La Unión, el 22 de abril de 2013

Un concepto básico de la corrección de mareas fue transferido a los cinco participantes. Asimismo, un software para la predicción del nivel de mareas en el Puerto de La Unión, que es absolutamente necesario para la corrección de mareas, les fue proporcionado con una explicación detallada.

(5) Mediciones batimétricas conjuntas y una práctica de corrección de mareas, el 21 de agosto de 2013

Las mediciones batimétricas se realizaron conjuntamente entre el equipo de ingeniería y seis participantes de la contraparte. Los datos batimétricos obtenidos fueron utilizados en la práctica de corrección de mareas, en la que fue aprovechado efectivamente el software proporcionado.

(6) Explicación del proceso de sedimentación en el canal, el 22 de agosto de 2013

Un resultado del análisis del proceso de sedimentación en el canal de acceso del Puerto de La Unión fue explicado a tres participantes de la contraparte. El equipo y la contraparte discutieron sobre el fenómeno de sedimentación, lo que dio un conocimiento básico a la contraparte para comprender los modelos de predicción de sedimentación.

(7) Mediciones batimétricas conjuntas, el 23 de agosto de 2013

El equipo y tres participantes de la contraparte realizaron mediciones batimétricas conjuntas a lo largo del canal interno.

(8) Modificación del modelo de predicción de sedimentación en el Puerto de La Unión, el 6 de diciembre de 2013

El equipo de ingeniería explicó a cinco participantes de la contraparte sobre el modelo exponencial modificado y un modelo lineal formulado recientemente. La contraparte pudo comprender la aplicabilidad de dichos modelos.

(9) Explicación del plan de monitoreo de sedimentación después de re-dragado, el 6 de diciembre de 2013

Como consecuencia de la transferencia de tecnología, los cinco participantes de la contraparte profundizaron su conocimiento de la importancia del monitoreo para mejorar el modelo de predicción.

(10) Explicación de la influencia de una isla semicircular sobre el medio ambiente, el 9 de diciembre de 2013

CEPA tiene un plan para construir una isla semicircular para reducir el volumen de sedimentación. Los efectos de la isla semicircular que esperan ellos, son un botadero alternativo de lodo dragado y la reducción del volumen de sedimentación. El equipo explicó un resultado de la consideración referente a este tema a los cinco participantes.

(11) Método de cálculo del volumen de sedimentación y profundidad náutica de navegación, el 10 de diciembre de 2013

Los cinco participantes de la contraparte comprendieron el método de cálculo del volumen de sedimentación con la aplicación de los dos modelos de predicción.

(12) Introducción de varias dragas, el 12 de diciembre de 2013

Fueron introducidos varios tipos de draga (véase la Foto 2.3).



Foto 2.3 Ambiente de la presentación

2.2.2 Transferencia de Tecnología en el Campo Económico

(1) Explicación sobre el Informe Inicial el 22 de abril de 2013

Al inicio del del estudio del 2º periodo, el equipo de economía explicó el Informe Inicial. Siete participantes del equipo de economía de CEPA logró profundizar su conocimiento del objetivo principal de este estudio.

(2) Método de Cálculo del Modelo CEPA, el 26 de abril de 2013

El equipo de economía confirmó la metodología usada para el pronóstico de futuras demandas y la asignación de mercados seguida por CEPA. Los participantes fueron seis.



Foto 2.4 Presentación por un miembro del equipo de economía

(3) Resultado Estimado del Modelo de Recalada de Buques, el 27 de junio de 2013 (reunión vía Skype)

El equipo de economía dio una reseña de los resultados estimados con el modelo de recalada de buques. El equipo de economía de CEPA confirmó los resultados del modelo y los cinco participantes lograron profundizar su conocimiento del modelo.



Foto 2.5 Reunión vía Skype

(4) Resumen del Modelo de Recalada de Buques y Estimación de Resultados, el 11 de julio de 2013 (reunión vía Skype)

El equipo de economía dio una reseña del modelo de recalada de buques y los resultados estimados con el modelo. Los cuatro participantes lograron profundizar su conocimiento del modelo.

(5) Resultados Estimados con el Modelo de Recalada de Buques, el 18 de julio de 2013 (reunión vía Skype)

El equipo de economía dio una reseña de los resultados estimados con el modelo de recalada de

buques. El equipo de economía de CEPA logró profundizar su conocimiento del modelo. El número de participantes fue cuatro.

(6) Fundamentos del Modelo de Recalada de Buques, el 9 de agosto de 2013
(reunión vía Skype)

El equipo de economía explicó sobre el modelo de asignación de tráfico que es uno de los componentes fundamentales del modelo de recalada de buques. El equipo de economía de CEPA practicó el uso del modelo y logró profundizar su conocimiento de éste. El número de participantes fue cuatro.

(7) Modelo de Recalada de Buques y Resultados Estimados, el 15 de agosto de 2013

El equipo de economía explicó la forma en la que el modelo de recalada de buques ha sido ajustado para una mejor adaptación a la región de América Central. Los cinco participantes del equipo de economía de CEPA lograron profundizar su conocimiento del modelo.

(8) Servicio de Contenedores a lo largo del la Costa Pacífica de CA5, el 16 de agosto de 2013

El equipo de economía explicó la situación actual del transporte de contenedores a lo largo de la costa pacífica de CA5. Los cuatro participantes del equipo de economía de CEPA lograron percatarse de que las rutas y frecuencia del servicio de contenedores podría cambiar dependiendo de la estrategia de las compañías navieras en América Central.

(9) Aranceles del Puerto de La Unión, el 15 de agosto de 2013

El equipo de economía explicó sobre los aranceles en La Unión y países colindantes. El equipo de economía de CEPA logró profundizar su conocimiento de los aranceles.

(10) Tiempo de espera estimado y previsto de las embarcaciones en el Puerto de La Unión, el 28 de agosto de 2013

El equipo de economía explicó sobre el tiempo de espera estimado y previsto de las embarcaciones debido a los cambios de marea en el Puerto de La Unión. Los tres participantes del equipo de economía de CEPA lograron percatarse de que el tiempo navegable del canal podría incrementarse aprovechando las mareas.

(11) Navegación en el Canal Aprovechando las Mareas, el 6 de diciembre de 2013

El equipo de economía explicó sobre el tiempo navegable del canal aprovechando las mareas. Los cuatro participantes del equipo de economía de CEPA lograron profundizar su conocimiento del modelo empleado para calcular el tiempo navegable.

(12) Desarrollo Regional/Industrial y Planeación y Promoción del Puerto, el 9 de diciembre de 2013

El equipo de economía explicó sobre la conexión que existe entre el desarrollo industrial de la región que rodea el puerto y la planeación y promoción del puerto. Los cinco participantes del equipo de economía de CEPA lograron profundizar su conocimiento de la importancia de la

política del puerto.

(13) Método de Cálculo Financiero y Análisis Económico y Resumen del Borrador del Informe Final, el 12 de diciembre de 2013

El equipo de economía explicó el método de cálculo financiero y análisis económico, y el resumen del borrador del Informe Final. Los cinco participantes del equipo de economía de CEPA lograron profundizar su conocimiento sobre el análisis y resumen de DFR.

(14) Taller de trabajo

El taller de trabajo sobre “Asistencia Técnica Especial para el Dragado de Mantenimiento en el Puerto de La Unión, República de El Salvador” fue celebrado en la Sala de Seminarios en el último piso de la Sede de CEPA el 27 de agosto de 2013. El programa del taller, los títulos de las presentaciones y los presentadores se listan en la Tabla 2.1. Entre ellos, el Dr. K. Murakami y el Dr. Y. Nakagawa son miembros del Comité de Asistencia Doméstica al Proyecto, creado en la Sede de JICA en Japón. La Foto 2.6 muestra un ambiente del taller de trabajo, donde, viendo de frente la pantalla del proyector, las personas de CEPA ocupan el lado izquierdo.

Tabla 2.1 Programa del taller de trabajo, títulos de presentaciones y presentadores

Comienzo		12:00
0. Almuerzo	Invitado por CEPA con el fin de mejorar el conocimiento de los participantes y presentadores	12:00-12:30
1. Palabras de Bienvenida	Sr. A. ARENE, Presidente de CEPA	12:30-12:35
2. Discurso de Aperturas	Sr. T. KAKAMI, Sede de JICA	12:35-12:40
3. Informe Intermedio sobre Temas de Ingeniería	Dr. N.ONO, ECOH	12:40-13:20
4. Informe Intermedio sobre Temas de Economía	Dr. R.SHIBASAKI, OCDI	13:20-14:00
5. Ejemplos de Promoción Portuaria en Japón	Sr. M.KIHARA, MLIT	14:00-14:30
<Descanso>		
6. Estudio de Campo sobre Draga de Mantenimiento en el Canal de Acceso del Pto. de Banjarmasin, Indonesia	Dr. K.MURAKAMI, TCU	14:45-15:15
7. Sedimentación en Puerto y Medidas Tomadas en Japón	Dr. Y.NAKAGAWA, PARI	15:15-15:45
8. Estudio de Casos de Análisis de Datos Batimétricos	Dr. K.KATO, ECOH	15:45-16:05
9. Desarrollo Regional y Puertos	Sr. T.SHISHIDO, OCDI	16:05-16:25
10. Comentarios Finales	Sr. T.KADONO, Experto de JICA	16:25-16:30
Clausura		16:30



Foto 2.6 Taller de trabajo celebrado en la Sede de CEPA

Capítulo 3 Estudios de Campo y Sus Resultados

Capítulo 3 Estudios de Campo y Sus Resultados

3.1 Mediciones Batimétricas

3.1.1 Líneas de Mediciones Batimétricas

El Puerto de La Unión tiene un canal de acceso con una longitud total de 22.3 km y ha sido dragado a la profundidad de DL. -14m.

Las mediciones batimétricas se realizaron a lo largo de las líneas mostradas en la Figura 3.1 y la Figura 3.2. Las mediciones batimétricas fueron repetidas tres veces en el estudio del 1er periodo, es decir, durante los periodos comprendidos entre el 31 de enero al 2 de febrero del 2011, del 19 al 22 de agosto de 2011 y del 19 al 21 de enero de 2012.

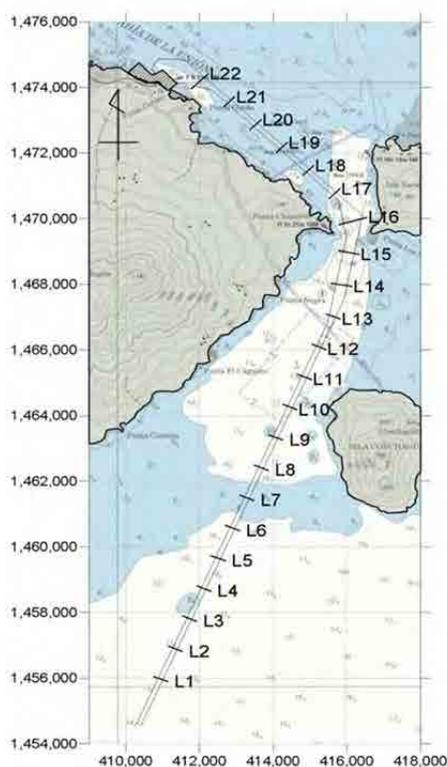


Figura 3.1 Líneas de mediciones batimétricas en el canal de acceso

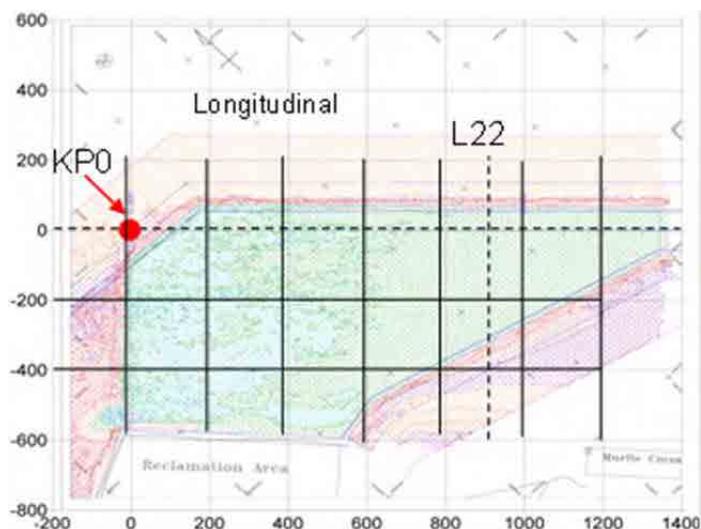


Figura 3.2 Líneas de mediciones batimétricas en la dársena

3.1.2 Profundidad Media del Canal de Acceso y la Dársena

Las profundidades de agua medidas sobre el ancho del fondo del canal de navegación (140 m aprox.) fueron promediadas para obtener una profundidad media del canal. La Figura 3.3 presenta una comparación de la variación longitudinal de las profundidades medias de la dársena y el canal de acceso en comparación con los resultados de las mediciones anteriores que fueron obtenidos en agosto de 2008, diciembre de 2008 y junio de 2009. La profundidad media al completar el dragado principal se presenta también con círculos negros en la figura. La profundidad media justo después del dragado principal fue medida en abril de 2008 para el canal externo y en diciembre de 2008 para el canal interno.

En el canal externo, la sedimentación desde junio de 2009 es leve y se observa una depresión local en KP13 y KP14. Por otra parte, la sedimentación en el canal interno es intensa y la profundidad del canal entre KP3.00 y KP4.00 es alrededor de -7,5 m.

Actualmente, el paso entero se ha azolvado casi a la elevación original y la profundidad después de completado el dragado no se ha mantenido.

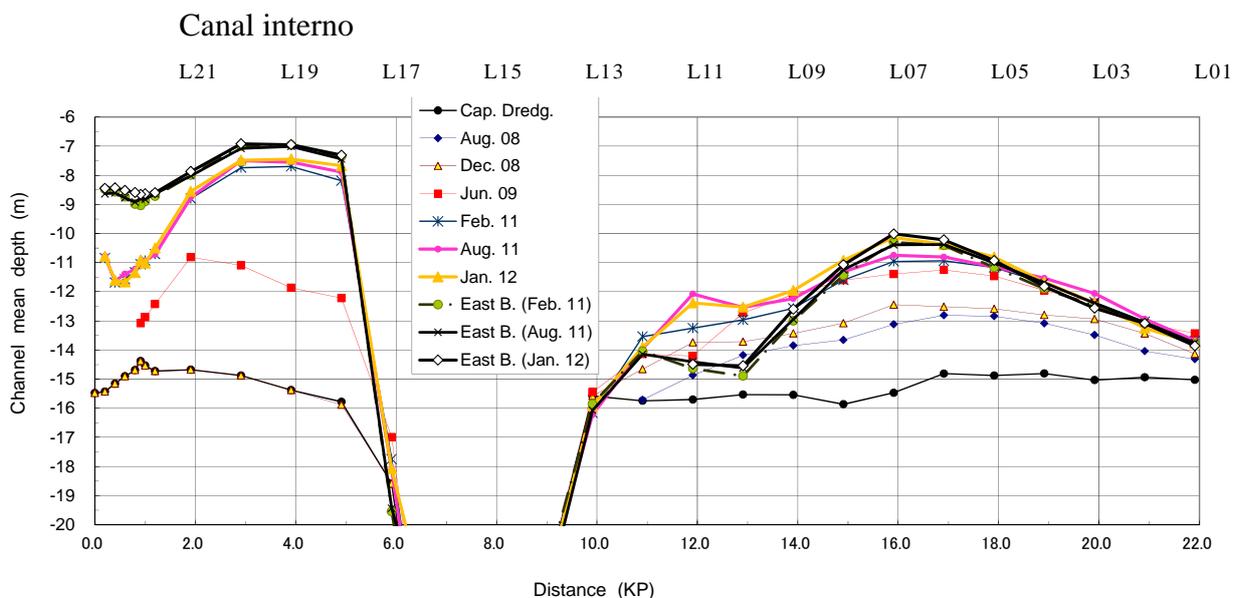


Figura 3.3 Variación longitudinal de la profundidad media del canal de acceso

3.1.3 Diferencia entre las Mediciones de Profundidad con Ondas Sónicas de 38 y 200 kHz

Las mediciones batimétricas de doble frecuencia realizadas en junio de 2009 en el Estudio SAPI, indicaron una cierta diferencia entre las profundidades de agua medidas con ondas sónicas de 38 y 200 kHz, tal como se presenta en la Figura 3.4, reproducida del Informe Final del Estudio SAPI (2009). La diferencia de profundidad fue considerada como representativa de la capa de lodo fluido que no había sido consolidada aun después de completar el dragado principal a finales de diciembre de 2008.

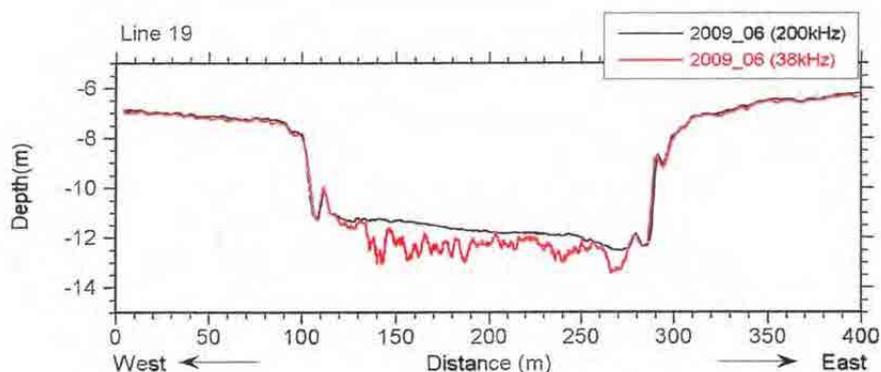


Figura 3.4 Perfiles transversales del canal medidos con señales de 38 y 200 kHz en L19 (SAPI, 2009)

Ha habido muchos argumentos sobre la respuesta acústica de la capa de lodo fluido a las ondas sónicas de frecuencias bajas y altas, pero no se ha obtenido todavía una conclusión cuantitativa. El muestreo vertical de lodo realizado durante el periodo del 7 al 9 de febrero de 2011, indica que la densidad de la superficie de la capa de lodo fluido es alrededor de $1,05 \text{ g/cm}^3$. A juzgar por la experiencia del Equipo en SAPI y el presente Proyecto, la densidad límite para activar la respuesta de las ondas sónicas de 38 kHz parece ser alrededor de $1,05 \text{ g/cm}^3$, mientras que la densidad límite para las ondas sónicas de 200 kHz parece ser alrededor de $1,03 \text{ g/cm}^3$, cuyo valor está justo por encima del de la densidad de agua marina con contenido de partículas turbias de lodo.

Cuando el dragado de mantenimiento se realiza, inmediatamente empieza el proceso de sedimentación. Durante una etapa temprana de la sedimentación, puede que haya alguna diferencia en las respuestas acústicas del fondo marino con las ondas sónicas de 38 y 200 kHz.

3.2 Condiciones del Lodo del Fondo Marino

3.2.1 Sitios y Metodología del Muestreo de Lodo

En el 1er trabajo de campo, se llevó a cabo un muestreo de lodo en los cinco sitios indicados en la Tabla 3.1. Los sitios A y B están ubicados fuera de la dársena y el canal, mientras que los sitios C, D y E están ubicados dentro de la dársena y el canal. La ubicación de los sitios se presenta en la Figura 3.5

Tabla 3.1 Ubicación de los sitios del muestreo

No	KP (km)	y (m)	Profundidad aprox. de la superficie de la capa de lodo (m)		Observaciones
			Según la medición	Referido a DL	
A	0,20	+200	-8,7	-8,5	Fuera de la dársena
B	2,92	+200	-6,9	-6,7	Fuera del canal
C	0,20	0	-13,7	-13,5	Dentro de la dársena
D	2,92	0	-7,8	-7,6	Dentro del canal
E	15,91	0	-11,6	-11,4	Dentro del canal

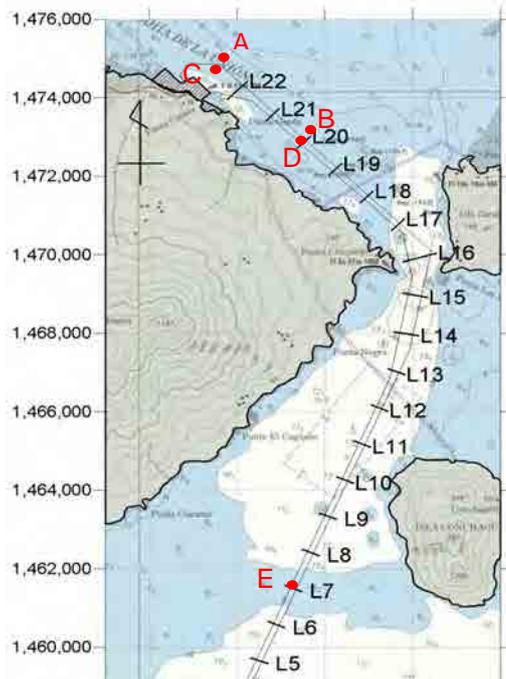


Figura 3.5 Ubicación de los sitios del muestreo

En cada sitio, un par de tubos de cloruro de polivinilo, uno largo (1,5 m) y otro corto (0,5 m), fue insertado verticalmente en la capa de lodo por un par de buzos. Se tenía el propósito de que el muestreo de lodo alcanzara la superficie de la capa de lodo fluido. Los tubos fueron cortados a bordo en secciones de 0,3 m de largo (véase la Figura 3.6). La densidad húmeda del lodo fluido fue calculada con el peso del lodo contenido en el tubo dividiéndolo por la capacidad volumétrica del tubo.



(a) Corte entre las secciones 0 y 1^a.



(b) Separación de las secciones 2^a y 3^a



(c) Separación de las secciones 3^a y 4^a secciones.

Figura 3.6 Cortando el tubo de muestreo en secciones de 0,3 m de largo

3.2.2 Descripción de Lodo Muestreado y Perfil de la Densidad Vertical de la Capa de Lodo

El contenido de lodo en cada sección fue medido para calcular su densidad húmeda, y luego fue vertido en una bolsa de plástico con sellado firme (Ziplock) para su embarque posterior a Japón. Las fotos de muestras de lodo colocadas en bolsas de plástico aparecen en la Figura 3.7.

En la Figura 3.8 la densidad húmeda de lodo medida fuera y dentro del canal se representa gráficamente en función de la profundidad media de la capa muestreada por debajo del fondo marino. El lodo en la margen exterior del canal ha quedado intacto durante varios años y está bien consolidado por su propio peso. La tendencia de la densidad húmeda sugiere que la densidad húmeda de lodo excederá $1,4 \text{ g/cm}^3$ a un nivel de $0,7 \text{ m}$ por debajo del fondo marino.

Por otra parte, la densidad húmeda del lodo depositado en el interior del canal es menor y su aumento con la profundidad es lento, como se observa en la Figura 3.8. El sitio D en el punto KP2.9 tiene una capa de lodo sedimentado de unos 7 m , tal como se indica en la Figura 3.3. La capa de lodo ha sido depositada en los últimos 2 años y todavía está bajo el proceso de consolidación. La profundidad de la densidad húmeda límite ($1,2 \text{ g/cm}^3$) será cerca de 2 m debajo del fondo marino.



(a) Muestra de lodo del sitio D (2ª sección)



(b) Muestra de lodo del sitio D (4ª sección)



(c) Muestra de lodo del sitio B (2ª sección)



(d) Muestra de lodo del sitio B (4ª sección)

Figura 3.7 Fotos de muestras de lodo con su densidad

Alrededor del sitio C en el punto KP0.20, el espesor de la capa de lodo sedimentado es unos 4,5 m, como se observa en la Figura 3.3. Alrededor del sitio E en el punto KP15.91, el espesor de la capa de lodo es también unos 4,5 m, pero la acumulación desde junio de 2009 corresponde solamente a 0,5 m de espesor. Las capas de los sitios C y E tienen menor espesor que la del sitio D, y esto puede ser la evidencia de que el incremento de la densidad húmeda de lodo con la

profundidad en los sitios C y E sea más rápida que en el sitio D.

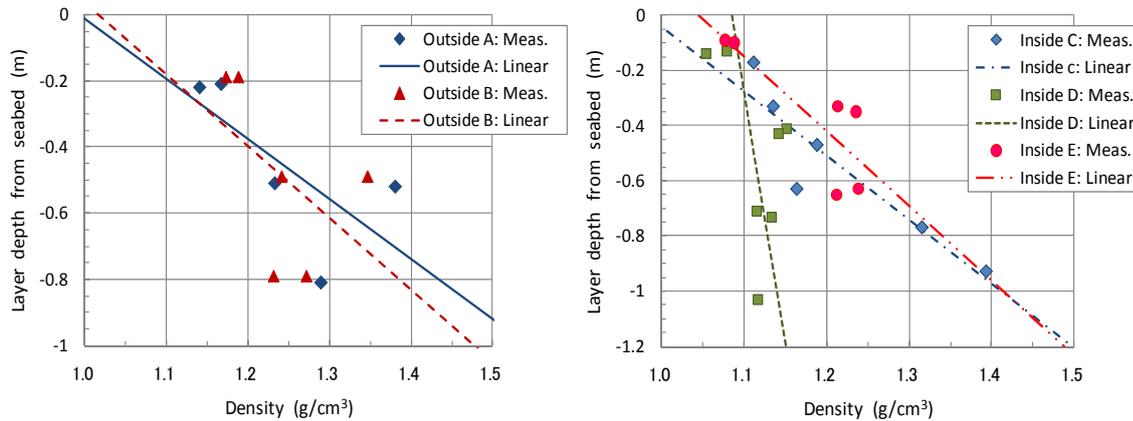


Figura 3.8 Perfil vertical de la densidad húmeda de lodo fuera del canal de acceso (a la izquierda) y dentro del canal (a la derecha)

3.2.3 Propiedades Físicas del Lodo Muestreado

Las 40 muestras de lodo fueron transportadas a Japón y se encargaron pruebas detalladas de suelo a OYO CORPORATION. Fueron medidos la densidad húmeda y el contenido de humedad de todas las muestras. Fueron investigadas otras características de suelo también para las muestras verticalmente mezcladas de los respectivos sitios, porque se considera que las propiedades de lodo no varían con la profundidad.

En la Tabla 3.2 se listan los resultados de las pruebas de las características de suelo de muestras verticalmente mezcladas. Estas cinco muestras representan el lodo sobre la superficie de la capa a 1,0 m bajo el fondo marino. La muestra traída del sitio D tiene un diámetro de partícula mucho más pequeño que el de los otros sitios y un índice de plasticidad más alto. Esto podría haber sido causado por la rápida entrada de lodo fluido debido a la gran diferencia de profundidad entre el interior y el exterior del canal de acceso.

Tabla 3.2 Características de suelo en cinco sitios de muestreo

Sitio de muestreo	Densidad de partículas de suelo ρ_s (g/cm ³)	Diámetro medio d_{50} (mm)	Diámetro superior 75 % d_{75} (mm)	Límite líquido w_L (%)	Límite de plasticidad w_P (%)	Índice de plasticidad I_P	Contenido orgánico c_0 (%)	Pérdida por calcinación L_i (%)
A	2,640	0,002	0,014	111,6	33,9	77,7	4,69	13,4
B	2,648	0,006	0,042	103,7	34,0	69,7	5,20	12,9
C	2,672	0,003	0,040	105,7	33,0	72,7	4,39	13,2
D	2,626	0,001	0,008	132,4	39,0	93,4	5,14	15,1
E	2,636	0,005	0,028	113,3	34,3	79,0	4,78	14,0

3.2.4 Predicción Numérica del Cambio de Perfil de Densidad mediante el Proceso de Consolidación de Lodo

El lodo fluido depositado en la dársena y el canal es una mezcla de partículas finas de lodo y agua marina. Su densidad húmeda inicial es aproximadamente entre 1,05 y 1,10 g/cm³. Por el transcurso del tiempo, las partículas de lodo se congregan y su contacto hace que se forme una estructura esqueleto tridimensional de partículas de lodo. El peso de partículas de lodo

individuales trabaja como una carga al esqueleto y expulsa el agua contenida en la misma estructura. Luego el esqueleto de partículas de lodo se reduce y aumenta la densidad de lodo fluido. Ésta es la etapa inicial de la consolidación de lodo.

El cálculo del proceso de consolidación de lodo se hizo resolviendo una ecuación de consolidación de una dimensión a lo largo del eje vertical. El peso de la capa de lodo es la consolidación de la carga del suelo activada. El cálculo numérico de la consolidación de lodo ha sido realizado por el Dr. Masaki Kobayashi de Kobayashi SoftTech Co. Ltd.

Dos series de cálculo de la consolidación de lodo han sido realizadas. Una serie está destinada a calibrar el método de predicción de consolidación. La otra serie simuló el proceso de sedimentación en el canal de acceso en 12 meses después de terminado el dragado de mantenimiento. Cuatro niveles de la diferencia de profundidad entre el interior y el exterior del canal fueron empleados para representar un posible rango de ésta de 3,0 a 7,5 m.

La evolución temporal de la altura de sedimentación predicha se muestra en la Figura 3.9 (a) y la evolución temporal de la densidad húmeda de lodo del fondo del canal se muestra en la Figura 3.9 (b). El incremento de densidad húmeda de lodo del fondo es rápida durante los primeros tres meses y el efecto de la diferencia de profundidad inicial es mínimo. La Figura 3.9 (b) indica que la densidad límite de $\rho_s=1,20 \text{ g/cm}^3$ para el fondo náutico se alcanza en 3 ó 4 meses después del dragado, con un espesor de 1 a 2 m.

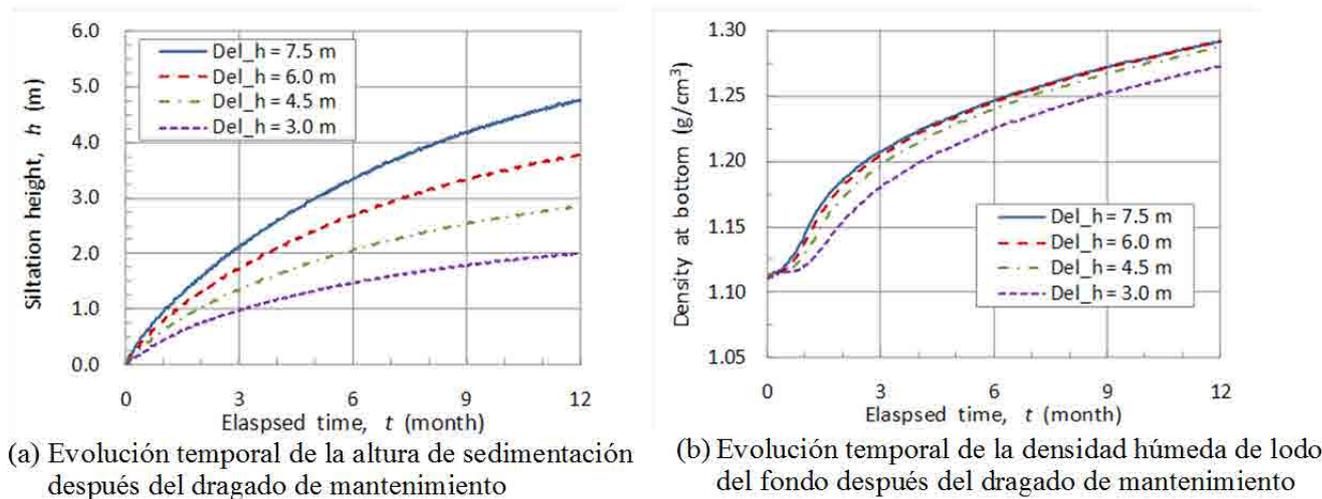


Figura 3.9 Evolución temporal de (a) altura de sedimentación y (b) densidad húmeda de lodo del fondo después del dragado de mantenimiento

3.2.5 Evaluación de Espesor de la Capa de Lodo Fluido para la Definición del Fondo Náutico

El objetivo principal del análisis de consolidación de lodo es hacer una evaluación del espesor de la capa de lodo fluido con una densidad húmeda por debajo de $\rho_s=1,20 \text{ g/cm}^3 = 1.200 \text{ kg/m}^3$, la cual se considera ser la densidad húmeda límite para definir el fondo náutico.

Para la evaluación del espesor de la capa de lodo, sería seguro suponer un espesor de 0,5 m para el canal de acceso externo teniendo en cuenta la carga adicional por la acción del oleaje. Para el canal de acceso interno, está considerado como $h = 1,0 \text{ m}$ para mayor seguridad tomando en cuenta los datos in-situ en el sitio C, aunque al análisis de consolidación sugiere una profundidad mayor de hasta 2,0 m.

3.3 Principales Resultados del Estudio de Campo

En este Capítulo, se resumen los resultados de las mediciones batimétricas y del análisis de las propiedades de lodo. Los principales hallazgos son los siguientes:

- Según los resultados de las mediciones batimétricas, está confirmado que tanto el canal interno como el canal externo se encuentran azolvados y la profundidad de los canales está actualmente casi al mismo nivel que la profundidad exterior de los canales.
- Según el análisis del lodo muestreado unos dos años después del dragado principal, está confirmado que la capa de lodo fluido cuya densidad húmeda es menor de 1.200 kg/m^3 , tiene una altura de alrededor de 0,5 m en el canal externo y cerca de 1,0 m en el canal interno.
- La capa de lodo fluido en los canales permanece por un periodo relativamente largo. Esto indica una posibilidad de reducir el volumen de dragado de mantenimiento mediante un plan de dragado de mantenimiento elaborado teniendo en cuenta la capa de lodo blando.
- Al juzgar de la experiencia del Equipo en el campo, se considera que la ecosonda de 200 kHz de frecuencia detecta la superficie superior de la capa de lodo fluido. Por tanto, la profundidad navegable para las embarcaciones será mayor que la profundidad medida con la ecosonda de 200 kHz, debido al espesor de la capa de lodo blando.

Capítulo 4 Análisis del Proceso de Sedimentación

Capítulo 4 Análisis del Proceso de Sedimentación

4.1 Datos Recopilados

Los datos recopilados para el análisis de los procesos de sedimentación son los datos batimétricos y los registros de dragado. La Figura 4.1 muestra los periodos de dragado y los tiempos de mediciones batimétricas. Los datos batimétricos obtenidos recientemente, en julio de 2013, fueron parcialmente incluidos en los análisis.

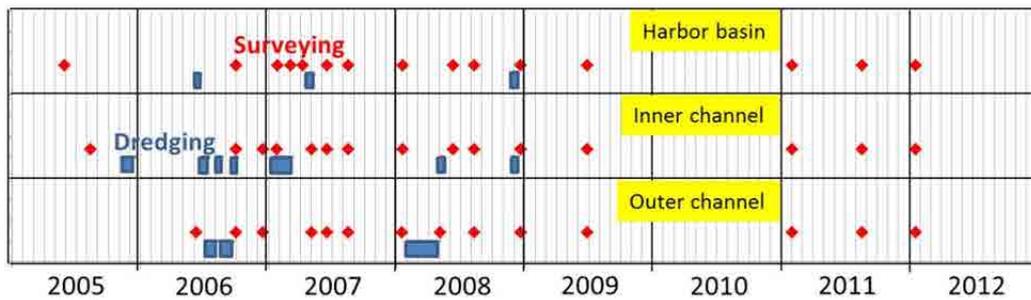


Figura 4.1 Periodos de dragado y tiempos de mediciones batimétricas

4.2 Velocidad de Sedimentación y Cambio de Profundidad en el Canal (Modelo Exponencial)

La Figura 4.2 muestra el cambio de profundidad de agua en las líneas de referencia representativas (Figura 4.3) en los canales interno y externo. En esta figura, la línea marrón indica la profundidad de agua media en el canal, las líneas azul y verde indican la profundidad de agua en las márgenes occidental y oriental del canal, respectivamente. Los periodos de dragado están indicados con las franjas gris para el canal interno y naranja para el canal externo. Observando estas figuras, se puede entender fácilmente que la sedimentación se da después del dragado.

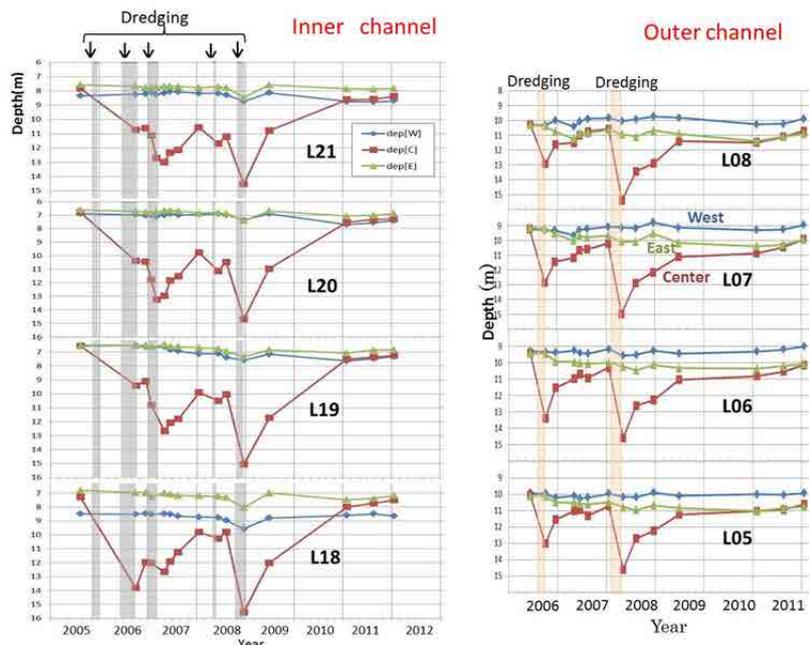


Figura 4.2 Cambio de profundidad de agua en los canales interno y externo

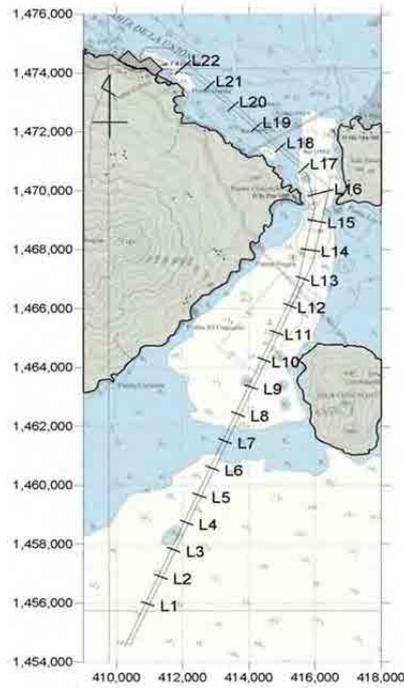


Figura 4.3 Líneas de mediciones batimétricas en el canal de acceso

La Figura 4.4 muestra la relación entre la velocidad de sedimentación del canal de acceso y la diferencia de profundidad media Δh (m) entre las profundidades dentro y fuera del canal. La definición de profundidades de agua se muestra en la Figura 4.5.

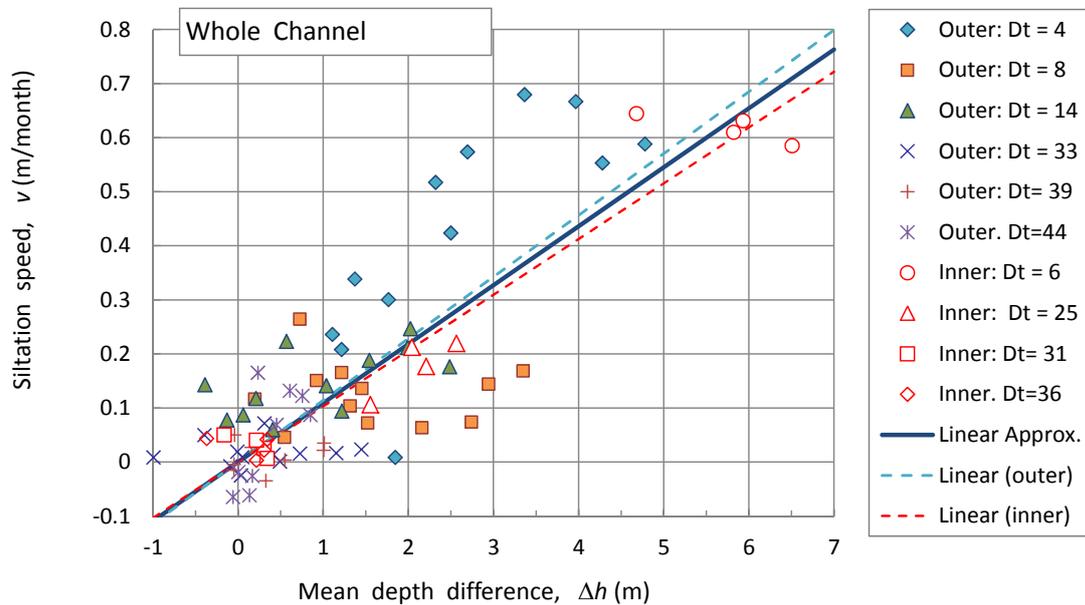


Figura 4.4 Velocidad de sedimentación en función de la diferencia de profundidad dentro y fuera del canal de acceso

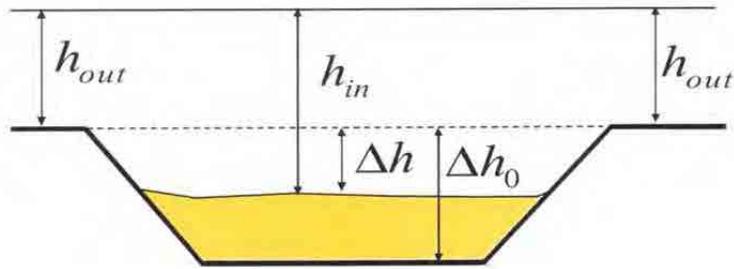


Figura 4.5 Definición de las profundidades de agua

Una recta de la regresión lineal de las profundidades al interior y exterior del canal de acceso es tentativamente la siguiente:

$$v = \frac{d\Delta h}{dt} = -0.109\Delta h \quad : \Delta h = h_{out} - h_{in} \quad : \text{Canal de acceso} \quad (4.1)$$

Las fórmulas empíricas de la Ec. (4.1) se integran fácilmente a partir de la derivación de una fórmula de predicción de la diferencia de profundidad Δh como se muestra a continuación:

$$\Delta h = \Delta h_0 \exp[-at] \quad (4.2)$$

en donde a se le asigna el valor de 0,109 para el canal de acceso. En adelante, nos referimos a la Ec.(4.2) como “modelo exponencial original”.

4.3 Análisis de los Procesos de Sedimentación en el Canal

4.3.1 Sedimentación en el Canal Interno

La Figura 4.6 muestra los cambios de tirante de agua en las líneas de referencia de la L21 a la L18. El tirante de agua cambia linealmente en todas las líneas de referencia en el Periodo A. En cambio, el tirante de agua en el Periodo B se hizo menos profundo a velocidades relativamente altas, inmediatamente después del dragado, esto se indica con una flecha roja para los datos en la línea de referencia L21 como ejemplo en esta figura, y la velocidad disminuyó conforme el tirante de agua se redujo.

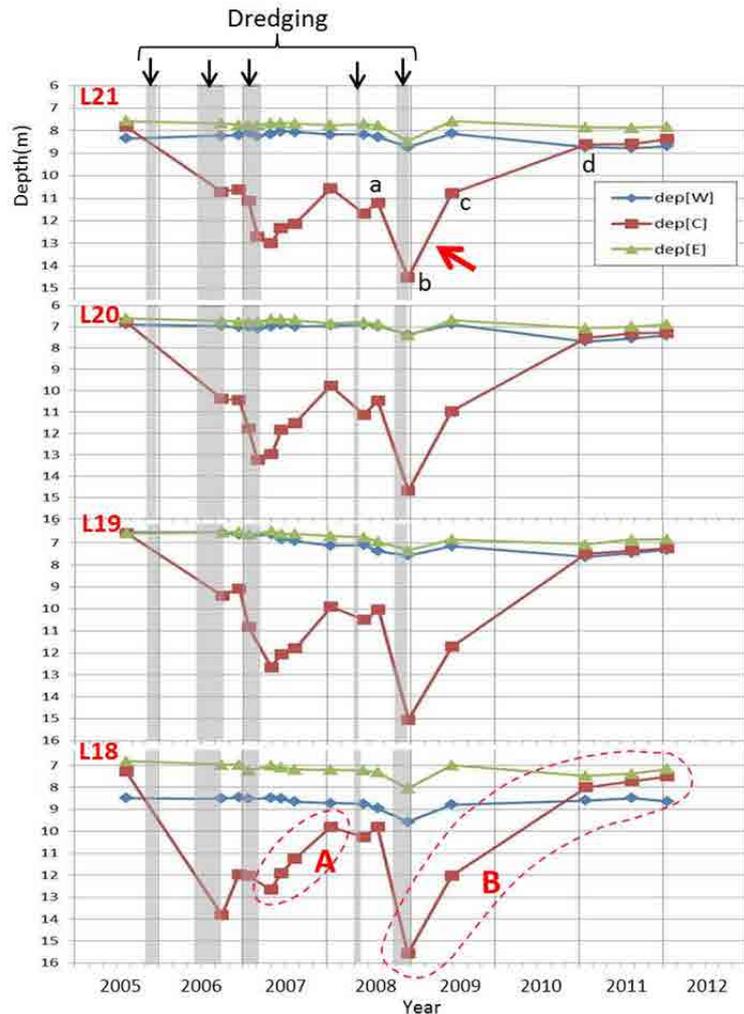


Figura 4.6 Cambios del tirante de agua en las líneas de referencia de la L21 a la L18 en el canal interno

La velocidad de sedimentación fue más rápida inmediatamente después del dragado. Con el fin de verificar la situación en detalle, se han superpuesto tres secciones transversales en la Figura 4.7 para la línea de referencia L21. Éstas son la sección antes del dragado de agosto de 2008 (denotada con "a" en la Figura 4.6), la de diciembre de 2008 inmediatamente después del dragado ("b") y la de 6 meses después del dragado de junio de 2009 ("c").

Las secciones transversales "a" y "c" son muy similares entre sí. Sin embargo, la sección transversal "b" es diferente de éstas en dos puntos. El primer punto de diferencia es la profundidad del canal, la cual es debida, por supuesto, al dragado. El segundo punto es la elevación de las partes superiores de los taludes, la cual se muestra con círculos de líneas discontinuas de color rojo en la Figura 4.7. La elevación de las partes superiores de los taludes inmediatamente después del dragado ("b") es aproximadamente 60 cm más baja que la de las otras dos, lo que resulta extraño sin duda. Las extrañas elevaciones de las partes superiores de los taludes se identifican en cada línea de referencia. Es probable que estas elevaciones se deban a que hubo algunos errores sistemáticos tales como una inadecuada corrección del nivel de la marea o un error en el nivel de referencia.

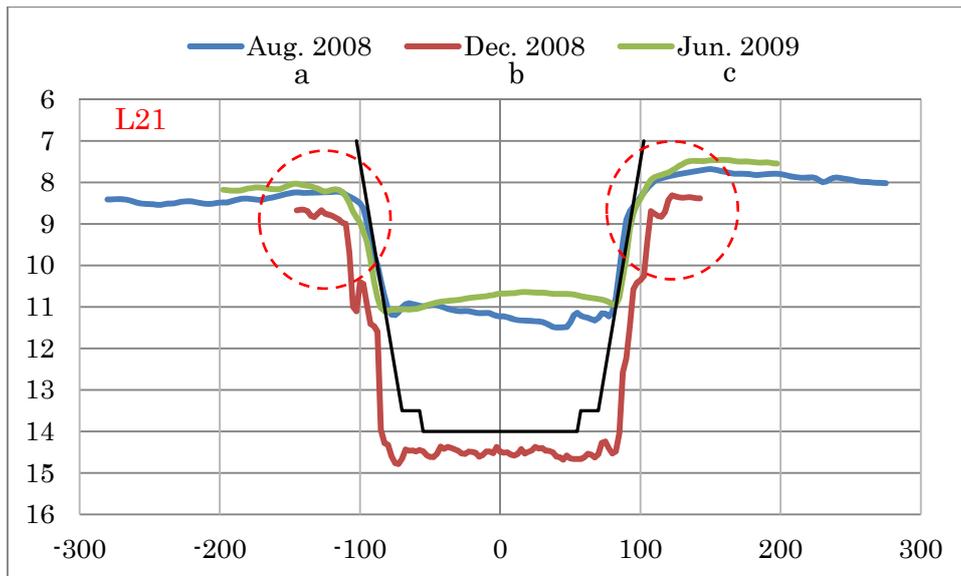


Figura 4.7 Superposición de secciones transversales a lo largo de L21

En la Figura 4.8, los valores de los datos de la sección transversal inmediatamente después del dragado se han incrementado 60 cm a manera de que la superposición de las tres secciones coincida. Como resultado se obtuvo una mejor coincidencia en general de las secciones transversales. Esta corrección se considera adecuada.

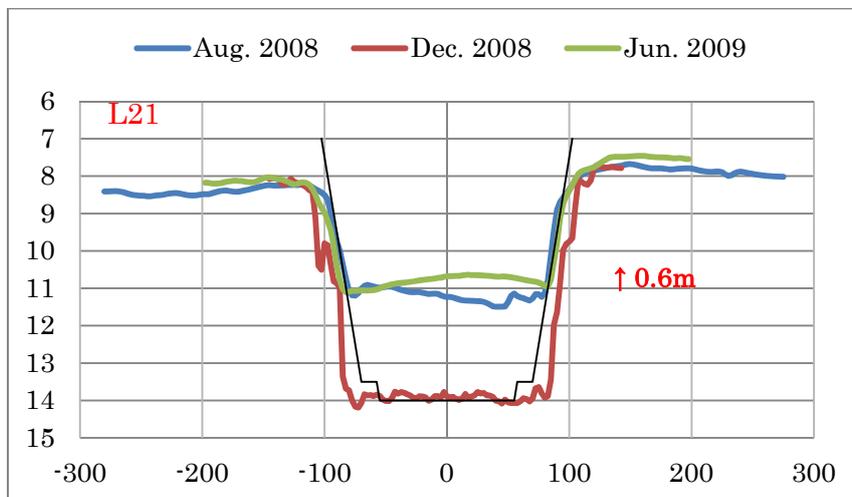


Figura 4.8 Superposición de las secciones transversales en L21 después de la corrección (Los valores de los datos de la sección transversal de diciembre de 2008 se han incrementado 0.6 m)

4.3.2 Sedimentación en el Canal Externo

La Figura 4.9 muestra los cambios de los tirantes de agua en las líneas de referencia de la L08 a la L05 en el canal externo. El tirante de agua medio en el canal externo se hizo más profundo por el dragado. Inmediatamente después del dragado, el tirante de agua en el canal externo es menos profundo y gradualmente se hace aún menos profundo con el tiempo en el periodo siguiente. Estos dos procesos: de sedimentación rápida y sedimentación lenta, se han considerado simultáneamente en el modelo exponencial original de predicción.

En junio de 2006, antes del dragado, el tirante de agua medio en el canal externo y los tirantes de agua en las márgenes occidental y oriental fuera del canal son iguales. En la parte fuera del canal externo, el tirante de agua se mantuvo casi constante en la margen occidental, mientras que se incrementó, o sea que se hizo más profundo en la margen oriental. El tirante de agua en el canal se fue haciendo menos profundo con el tiempo debido a la sedimentación, hasta alcanzar la misma elevación de la margen oriental, la cual es inferior a su elevación original antes del dragado de 2006.

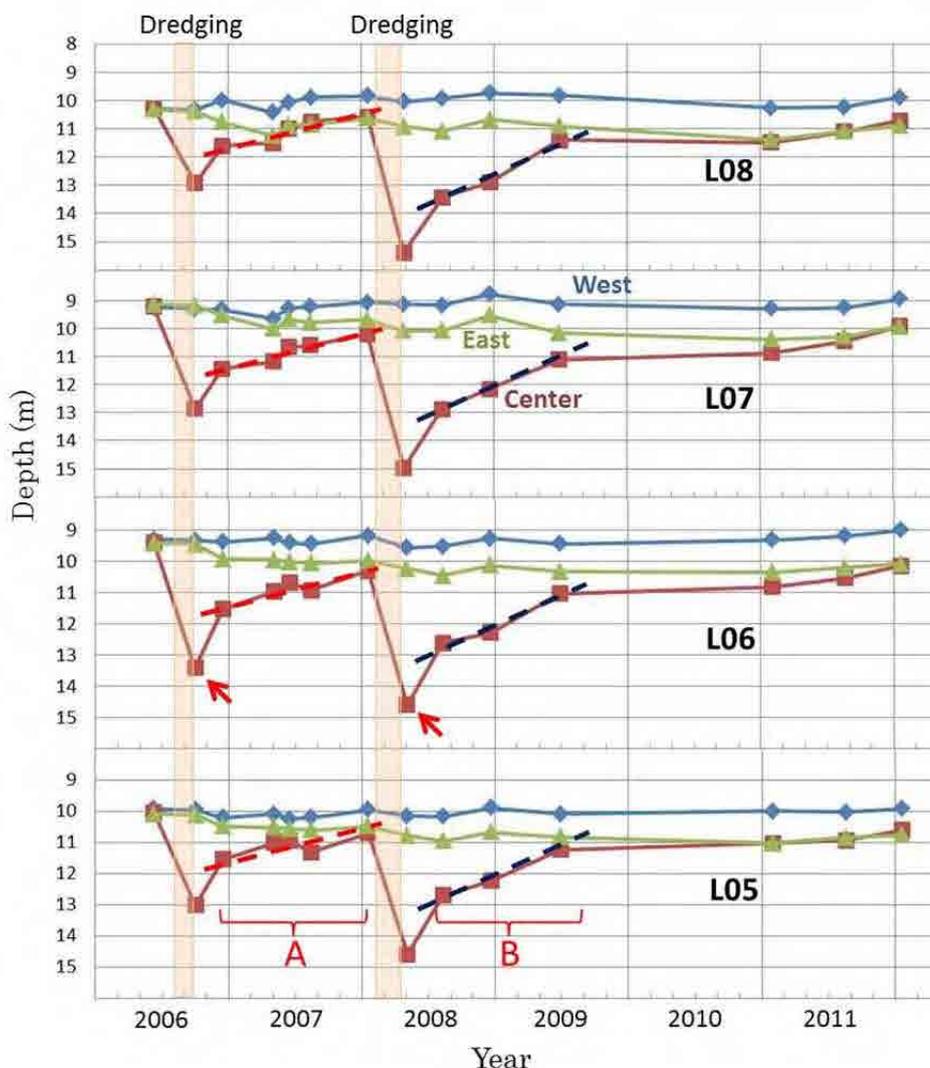


Figura 4.9 Cambios del tirante de agua en las líneas de referencia de la L08 a la L05 en el canal externo
 A continuación, la característica de la sección transversal en completa sedimentación es examinada para las líneas de referencia de la L08 a la L05. Los tres tipos de datos batimétricos que se han utilizado son:

1. Datos medidos el 10 de junio de 2006; antes del primer dragado,
2. Datos medidos el 18 de enero de 2008; alrededor de 1 año y 4 meses después del primer dragado de 2006,
3. Datos medidos el 1 de febrero de 2011; alrededor de 2 años y 8 meses después del re-dragado de 2008.

La Figura 4.10 muestra la superposición de las tres secciones transversales a lo largo de las líneas de referencia. La línea negra indica una sección planeada del canal, para la cual se llevaron a cabo los dragados de 2006 y 2008.

El fondo marino estaba plano en junio de 2006, esta situación prevalecía antes del dragado. La primera etapa el dragado fue completada por el 24 de septiembre de 2006. En enero de 2008, el canal externo estaba casi completamente azolvado. El volumen de sedimentación era mayor en la zona occidental que en la zona oriental del canal. Fuera del canal, el fondo marino no cambió en la zona Oeste; mientras que en la zona Este, el fondo marino fue erosionado por enero de 2008 y después aún más por febrero de 2011. La situación más importante e interesante es que el tirante de agua en el canal es generalmente igual o más profundo que el de la margen oriental de cada línea de referencia.

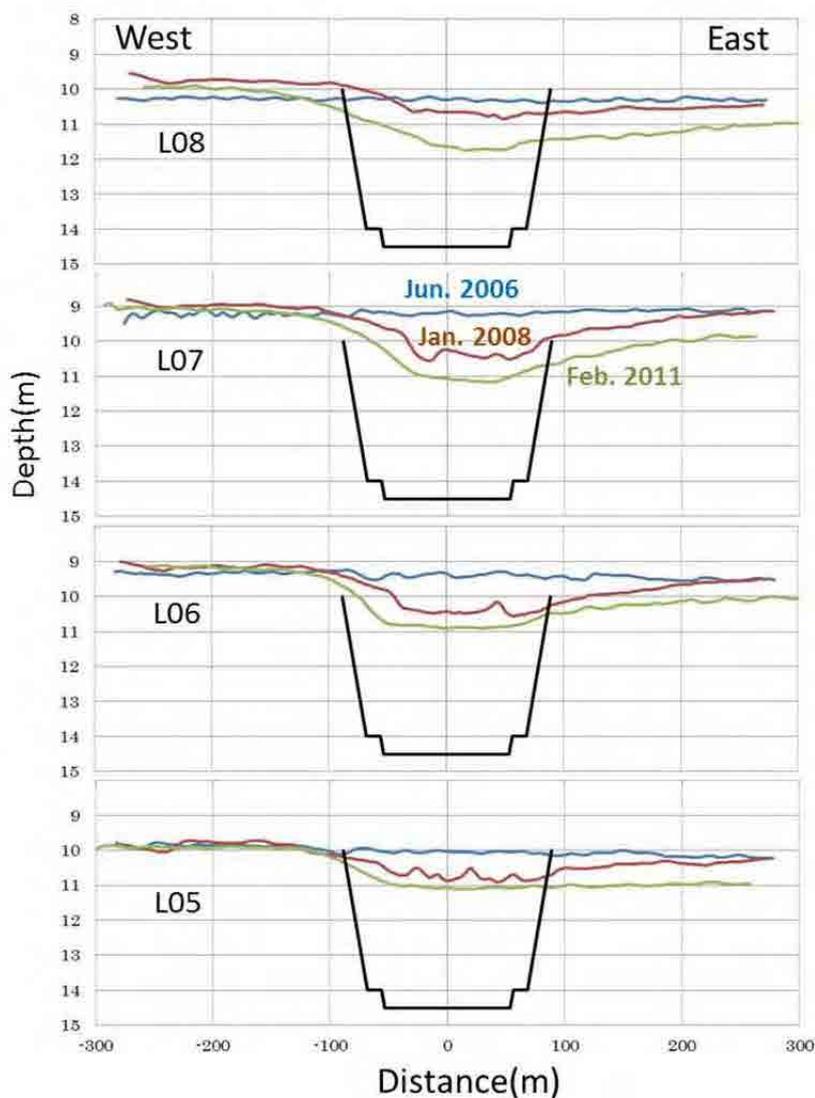


Figura 4.10 Situación de completa sedimentación a lo largo de L08 a L05 en el canal externo

4.3.3 Consideraciones Físicas para la Sedimentación Rápida Inmediatamente después del Dragado

Veamos la Figura 4.9 una vez más. La sedimentación rápida ocurrió dos veces: inmediatamente después del primer y segundo dragado. En el primer dragado la sedimentación rápida se produjo alrededor de tirantes de entre 12 y 13 metros; mientras que en el segundo, se produjo alrededor de tirantes de 14 metros. Por lo tanto, la sedimentación rápida no depende del tirante de agua, sino más bien del tiempo inmediatamente después del dragado.

La Figura 4.11 muestra la superposición de las secciones transversales a lo largo de las líneas de referencia de la L08 a la L05, cuyas mediciones se realizaron el 24 de abril y el 5 de mayo de 2008, inmediatamente después del segundo dragado de ese año. A pesar de que se quedaron algunas partes pequeñas sin excavar en las secciones de las líneas de referencia L08 y L07, el canal fue dragado poco más de la sección transversal planeada.

La Figura 4.12 muestra las secciones transversales del 11 de agosto de 2008, unos 3 meses y medio después del dragado. En esta figura se puede observar que la sedimentación rápida se produjo con el espesor de entre 1.5 y 2 metros durante este periodo. Ya que la acumulación fue horizontal a todo lo ancho del canal en todas las líneas de referencia, y no hay acumulación en los taludes, se infiere que material de alta fluidez, como por ejemplo: lodo líquido, se depositó en el canal. En resumen, justamente después del dragado, es cuando aparecen los posibles límites de que se se produzca una sedimentación rápida debida a la afluencia de sedimento de alta fluidez existente en la zona alrededor del canal antes del dragado.

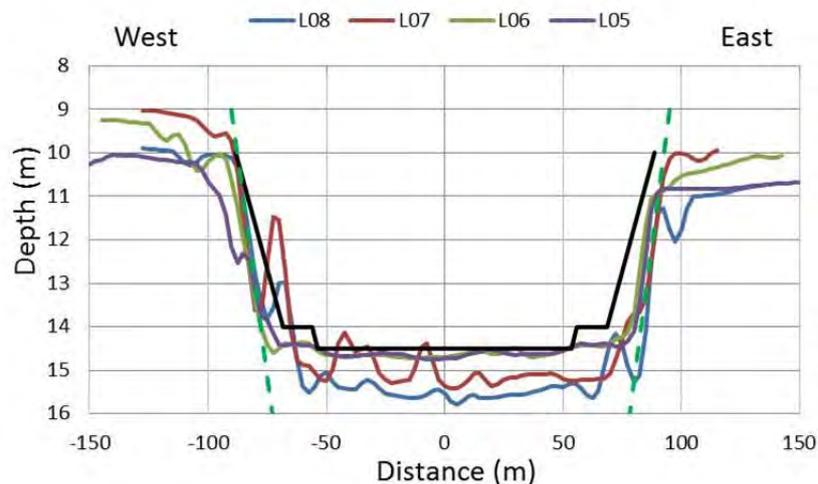


Figura 4.11 Superposición de secciones transversales justamente después del segundo dragado (Medidas el 28 de abril y 5 de mayo de 2008)

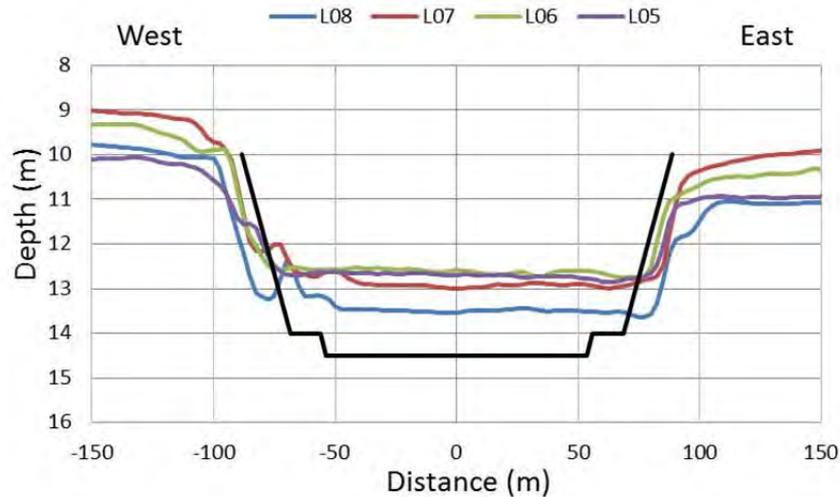


Figura 4.12 Superposición de secciones transversales del 11 de agosto de 2008, cerca de 3 meses y medio después del dragado

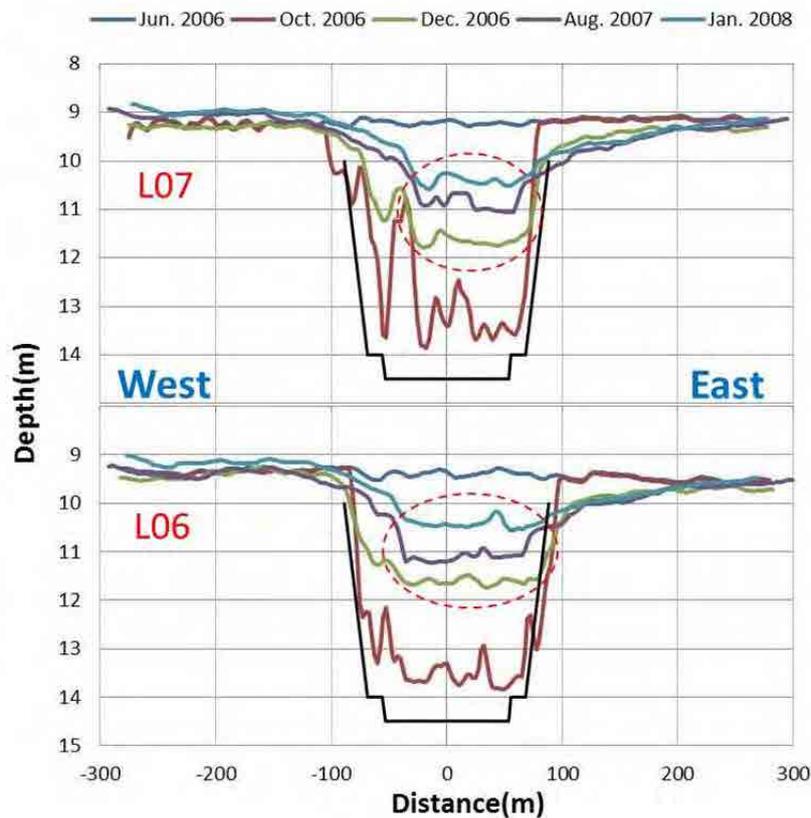


Figura 4.13 Superposición de las secciones transversales a lo largo de L07 a L06

A continuación, se examina la sedimentación lenta a velocidad constante. La Figura 4.13 muestra la superposición de las secciones transversales a lo largo de las líneas de referencia L07 y L06. Durante el periodo comprendido entre octubre de 2006 y enero de 2008 se presentó la sedimentación lentamente a velocidad constante. Con los cambios en las secciones transversales, se puede observar el proceso de acumulación de sedimento en la margen occidental, esto fue debido a que material grueso con la máxima velocidad de caída se depositó, y la evolución de la erosión se presentó en la margen oriental. Un nuevo conocimiento se puede obtener a partir de la Figura 4.13: la acumulación

continúa con la elevación del fondo plano y horizontal en la parte Este del canal, indicada con líneas discontinuas de color rojo. Esto se considera que es debido al depósito de sedimento con alta fluidez, por ejemplo: lodo líquido, en la parte Este del canal.

En la primera etapa de rápida sedimentación pocos meses justamente después del dragado, la acumulación de sedimento de alta fluidez fue horizontal a todo lo ancho del canal; mientras que en la segunda etapa de sedimentación lenta, la deposición de material grueso en el talud occidental, la erosión del fondo marino en la margen oriental y la acumulación de sedimento de alta fluidez, tal como lodo líquido, se produjeron simultáneamente. Teniendo en cuenta estas situaciones, se deduce que las características del sedimento depositado en el canal externo son como se muestra en la Figura 4.14. En resumen, durante el periodo inmediatamente posterior al dragado, material de alta fluidez, tal como lodo líquido, entró rápidamente en el canal y se depositó ahí horizontalmente. Después de eso, el material grueso, que tiene velocidad de caída más alta, se acumuló en el talud occidental; mientras que el sedimento de la alta fluidez, como lodo líquido, se depositó en el lado Este del canal.

Como se explica en la Figura 4.9, la sedimentación rápida justamente después del dragado no depende de la profundidad del canal, sino del tiempo cuando se hace el dragado. Por lo tanto, la sedimentación rápida justamente después del dragado se considera que es debida también a la entrada de sedimento muy móvil que existía alrededor del canal antes de la excavación. Si ese es el caso, la sedimentación rápida puede ser un fenómeno limitado a una sola vez en el canal recién excavado, y no se produce en el caso de que el dragado de mantenimiento se lleve a cabo continuamente.

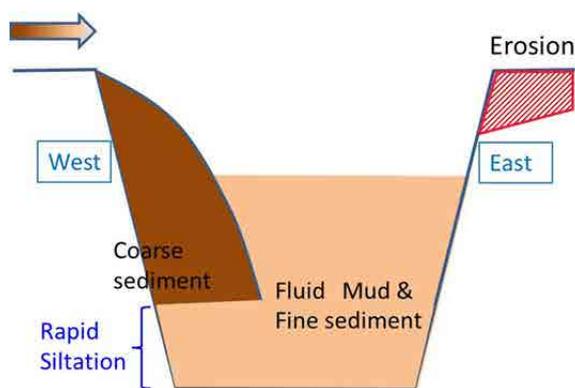


Figura 4.14 Distribución espacial de sedimento

4.4 Modelos de Predicción de Sedimentación para el Canal

4.4.1 Modificaciones al Modelo Exponencial Original

(1) Modificación para el canal interno

El tirante de agua en diciembre de 2008, inmediatamente después del segundo dragado, fue más profundo en el canal externo durante el periodo entre 2006 y 2011. Como los datos correspondientes se defasaron siendo más profundos, como se muestra por ejemplo en la Figura 4.7, estos se corrigieron incrementando sus valores. Los resultados de la corrección de las líneas de referencia de la L21 a la L18 se muestran en la Figura 4.15, en la cual los datos originales en el canal interno reproducidos de la Figura 4.4 se indican con el símbolo \circ y los datos corregidos son representadas con el símbolo \bullet . Como los valores de todos los datos de la sección transversal fueron incrementados, la diferencia de profundidad dentro y fuera del canal no cambia en la abscisa, mientras que la velocidad de sedimentación disminuye en la ordenada.

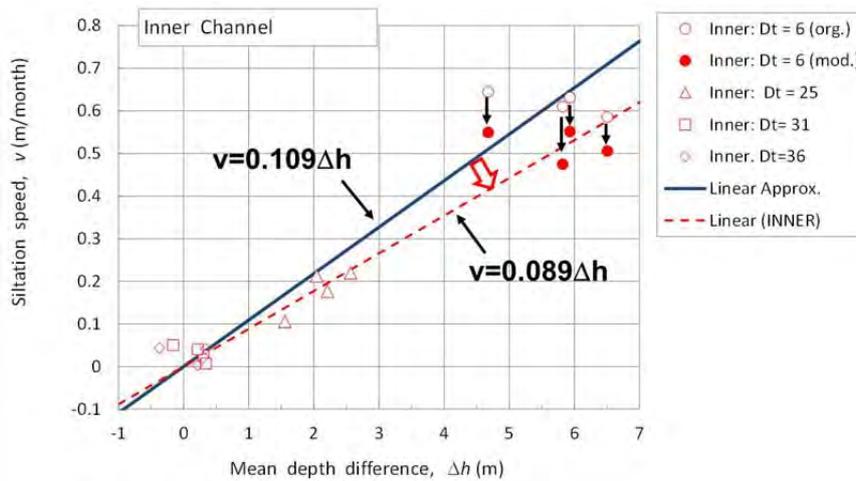


Figura 4.15 Velocidad de sedimentación en función de la diferencia de profundidad en el canal interno después de la corrección de datos

Tal como se ve en la Figura 4.15, la pendiente de la relación lineal entre la velocidad de sedimentación y la diferencia de profundidad disminuye de $a = 0,109$ a

$$a = 0,089 \quad (4.3)$$

esta última se sustituye en la ecuación (4.2) para el canal interno.

La Figura 4.16 muestra en la parte superior una comparación de las curvas predichas con el modelo exponencial original, y en la parte inferior, con el modelo modificado con el tirante de agua real en el canal interno. Los datos del tirante de agua que corresponden a la corrección están encerrados con líneas discontinuas de color rojo. Después de la modificación del modelo exponencial original, en la figura inferior, la pendiente de la curva predicha alrededor de los tirantes de agua de entre 9 y 14 metros es un poco más suave que la del modelo original, lo que significa una disminución de la velocidad de sedimentación.

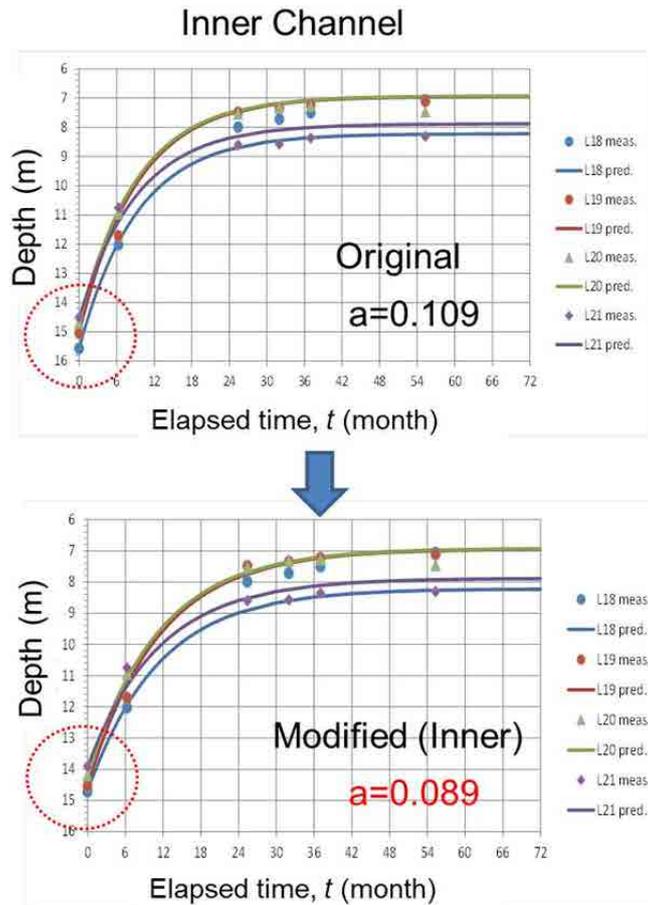


Figura 4.16 Comparación del modelo exponencial original y el modificado con el tirante de agua real (para el canal interno)

(2) Modificación del canal externo

En el canal externo, el tirante de agua es menos profundo debido a que la sedimentación se aproxima asintóticamente a la elevación de la margen oriental. Como consecuencia de que la margen oriental se erosiona después del dragado, el tirante de agua es más profundo que antes del dragado. Si el canal se deja sin dragado de mantenimiento, el tirante de agua original se recuperara en poco tiempo, siendo éste el mismo que el de la margen occidental. Se considera, sin embargo, que el tirante de agua de la margen oriental es, por lo general, más profundo que el de la margen occidental cuando se lleva a cabo el dragado de mantenimiento continuamente.

El método más simple para considerar el efecto de la margen oriental se muestra en la Figura 4.17. La profundidad de agua fuera del canal, h_{out} , y la diferencia de profundidad dentro y fuera del canal, Δh_0 , se sustituyen por h_e y Δh_{0e} , respectivamente, en el modelo exponencial original; estos se definen en la Figura 4.17. El tirante de agua en la margen oriental, h_e , se denomina "profundidad final" en adelante. El coeficiente se fija sin cambios, siendo $a = 0,109$.

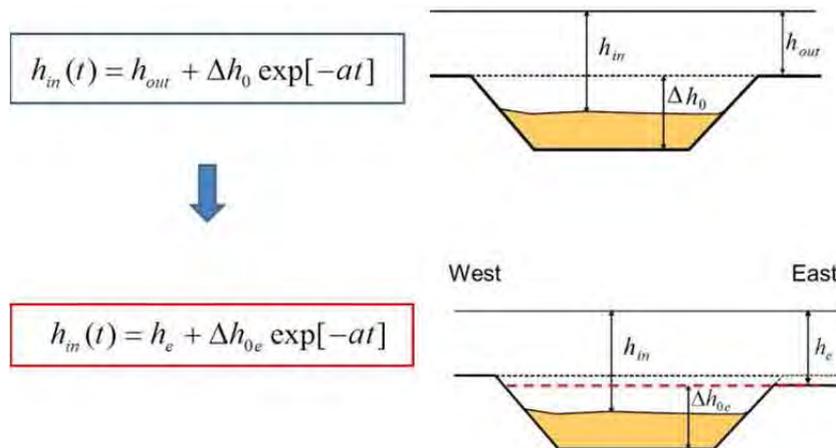


Figura 4.17 Modificación del modelo exponencial introduciendo el concepto de profundidad final (para el canal externo)

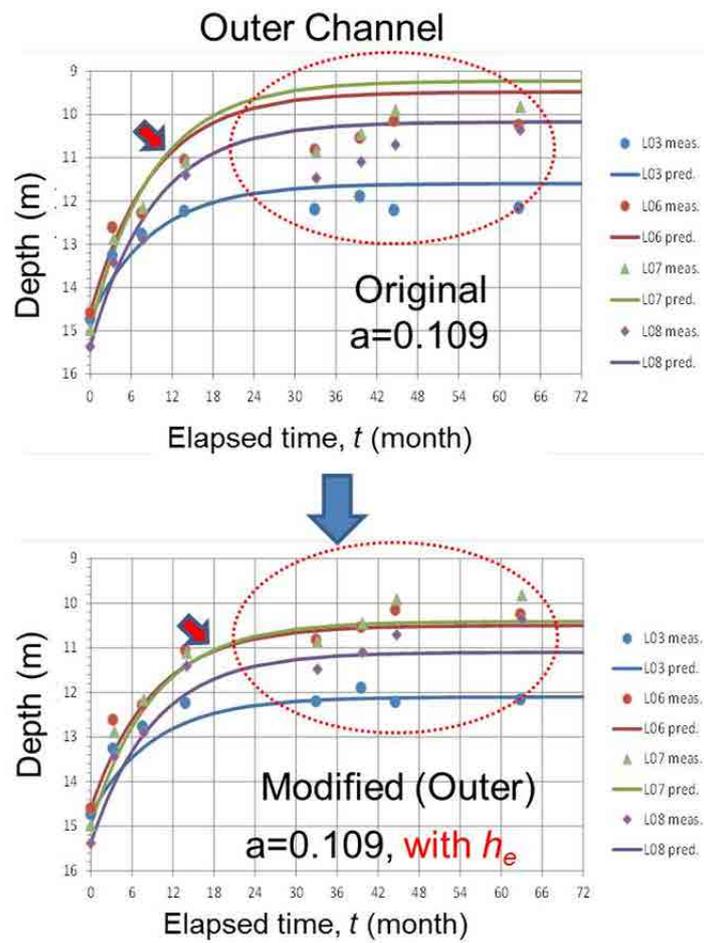


Figura 4.18 Comparación del modelo exponencial original y el modificado con el tirante de agua real (canal externo)

La Figura 4.18 muestra la comparación de las curvas predichas con el modelo exponencial original en la parte superior y por el modelo modificado con el tirante de agua real en el canal externo, en la parte inferior. Mediante la introducción de la profundidad final en el modelo, la curva predicha y el tirante de agua real casi coinciden en la zona somera, como se indica con una línea punteada de color rojo. Por otra parte, poniendo atención en los puntos señalados por las flechas rojas en la figura,

correspondientes a las líneas de referencia L07 y L06, se requiere que pasen 12 meses para que el tirante de agua disminuya hasta alcanzar los 11 metros en el modelo original mientras que con el modelo modificado se requieren 18 meses. En resumen, la modificación para el canal externo también hace que baje la velocidad de sedimentación.

4.4.2 Modelo Lineal

En la Sección 4.2 se explica que el proceso de sedimentación del canal externo puede ser dividido en dos etapas sucesivas, es decir, la sedimentación rápida justamente después del dragado y la sedimentación lenta en el periodo siguiente. La sedimentación rápida podría ser un fenómeno limitado a una sola vez en el canal recién excavado. De ser así, la sedimentación rápida no se produce en el caso de que el dragado de mantenimiento se realice continuamente. En la segunda etapa, de sedimentación lenta, la velocidad de sedimentación es constante independientemente del tirante de agua en el canal. Por lo tanto, como un intento para probar la hipótesis, se formula un modelo lineal tentativo escogiendo únicamente los datos convenientes, que son aquellos que están sobre las líneas punteadas en la Figura 4.19.

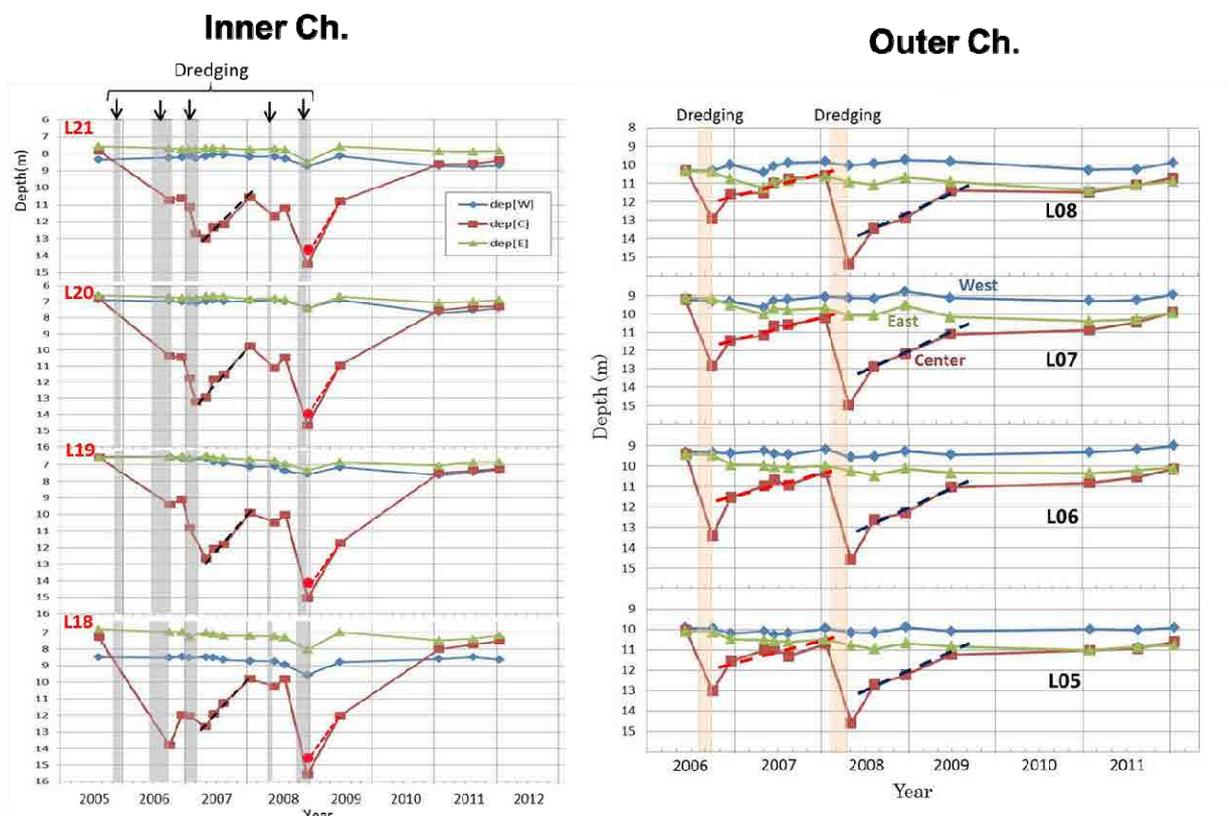


Figura 4.19 Variaciones temporales del tirante de agua en los canales interior y exterior

La velocidad de sedimentación media del canal interno es 0,39 m/mes, en promedio, y la del canal externo es de 0,14 m/mes.

$$v = -\frac{dh}{dt} = \begin{cases} 0.39 & \text{(canal externo)} \\ 0.14 & \text{(canal interno)} \end{cases} \quad (4.4)$$

Al integrar la Eq. (4.4), se obtiene la siguiente expresión lineal de la profundidad de agua en el canal en función del tiempo transcurrido,

$$h = h_0 - vt \quad (4.5)$$

en donde h es la profundidad de agua en el canal, h_0 es la profundidad de agua inicial del canal, t es el tiempo transcurrido después del dragado (unidad en meses). La Ec. (4.5) implica que la profundidad de agua cambia linealmente con el tiempo. En lo sucesivo nos referimos a la aplicación de esta ecuación como "modelo lineal".

En vista de que el modelo lineal no considera el fenómeno de sedimentación rápida, éste predice la velocidad de sedimentación más lenta que la predicha por el modelo exponencial modificado cuando la diferencia de profundidad de agua dentro y fuera del canal es grande. Mientras que cuando dicha diferencia es poca, este modelo predice la velocidad de sedimentación más rápida que la de las mediciones. Por otra parte, después de transcurrido cierto tiempo, la predicción conduce a la aberración de que la profundidad de agua dentro del canal es menor que la profundidad fuera de éste. Para evitar esta discrepancia y mejorar la aproximación con los datos, el modelo lineal se ha conectado al modelo exponencial modificado en el área donde la diferencia de profundidades es pequeña. La continuidad de ambos modelos se asegura específicamente con la velocidad de sedimentación, como se muestra con las líneas continuas en la Figura 4.20.

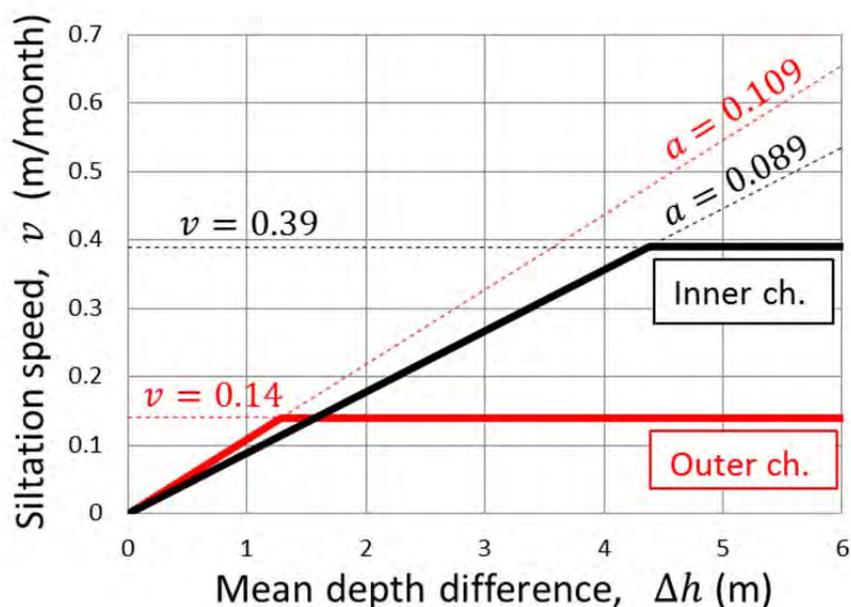


Figura 4.20 Conexión del modelo lineal al modelo exponencial modificado

4.4.3 Aplicabilidad de los Dos Modelos

El modelo exponencial modificado se puede adoptar para predecir el cambio del tirante de agua después del redragado y en el dragado de mantenimiento.

Existe la posibilidad de que el modelo lineal pueda ser aplicado para predecir el volumen de sedimentación cuando el dragado se realiza continuamente. Sin embargo, es muy importante destacar que el modelo lineal está formulado sólo tentativamente. Existe todavía la significativa hipótesis de que el fenómeno de sedimentación rápida justamente después del dragado podría ser limitado a una única vez en el canal recién excavado. Por lo tanto, debemos restringir el uso del modelo lineal hasta que la hipótesis sea verificada con los datos batimétricos, o se confirme la aplicabilidad del modelo lineal.

4.5 Modelo de Predicción de Sedimentación para la Dársena y el Canal del Puerto

La sedimentación se presenta también en la dársena del puerto. Desafortunadamente, no se cuenta con más datos batimétricos para establecer un modelo empírico de predicción para la sedimentación en la dársena. Por lo tanto, el modelo de predicción de tipo exponencial, Ec.(4.6), para el canal externo en donde se considera el concepto de profundidad final, se aplica para la dársena

$$\Delta h = \Delta h_e + (\Delta h_0 - \Delta h_e) \exp[-at] \quad (4.6)$$

en donde Δh_e es la diferencia de profundidad final dentro y fuera del canal del puerto y la dársena. Δh_e se determina para cada lugar a partir de los datos batimétricos observados.

Capítulo 5 Estimación del Volumen de Dragado y Su Costo

Capítulo 5 Estimación del Volumen de Dragado y Su Costo

5.1 Volumen de Re-Dragado

En el caso del Puerto de La Unión, tanto la dársena como el canal se han azolvado con una gran cantidad de lodo y tienen que ser re-dragados primero antes de iniciar el dragado de mantenimiento. Por eso, se llama re-dragado. El volumen de re-dragado se calcula basándose en los resultados de tirantes de agua obtenidos de las últimas mediciones batimétricas realizadas en julio de 2013.

El volumen total de re-dragado para seis profundidades de navegación objeto de D.L.-9 a D.L.-14 m variando por metro ha sido estimado aproximadamente como se muestra en la Tabla 5.1. El volumen de re-dragado está calculado teniendo en cuenta la forma del canal presentada en la Figura 5.1. Cabe destacar que el volumen de re-dragado no incluye el volumen de post-dragado.

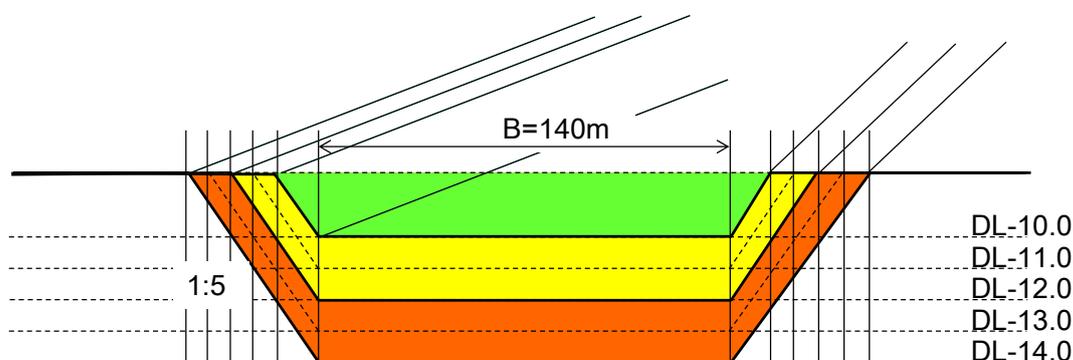


Figura 5.1 Forma del Canal para el cálculo del volumen de Re-Dragado

Tabla 5.1 Volumen de re-dragado estimado (unidad: 1.000 m³)

Profundidad (m)	Canal externo	Canal interno	Dársena	Total
D.L.-9,0	0	895	0	895
D.L.-10,0	25	1.535	59	1.619
D.L.-11,0	404	2.215	344	2.964
D.L.-12,0	1.161	2.936	798	4.895
D.L.-13,0	2.284	3.696	1.471	7.452
D.L.-14,0	3.882	4.496	2.186	10.565

5.2 Volumen de Dragado de Mantenimiento

5.2.1 Profundidad Navegable

La Figura 5.2 presenta la definición de profundidad navegable. En este estudio, la profundidad navegable es la profundidad que incluye la capa de lodo fluido con densidad menor de 1.200 kg/m³. De acuerdo con los resultados de las mediciones descritos en el Capítulo 3, el espesor del lodo fluido se considera de 1,0 m para el canal interno y de 0,5 m para el canal externo y la dársena.

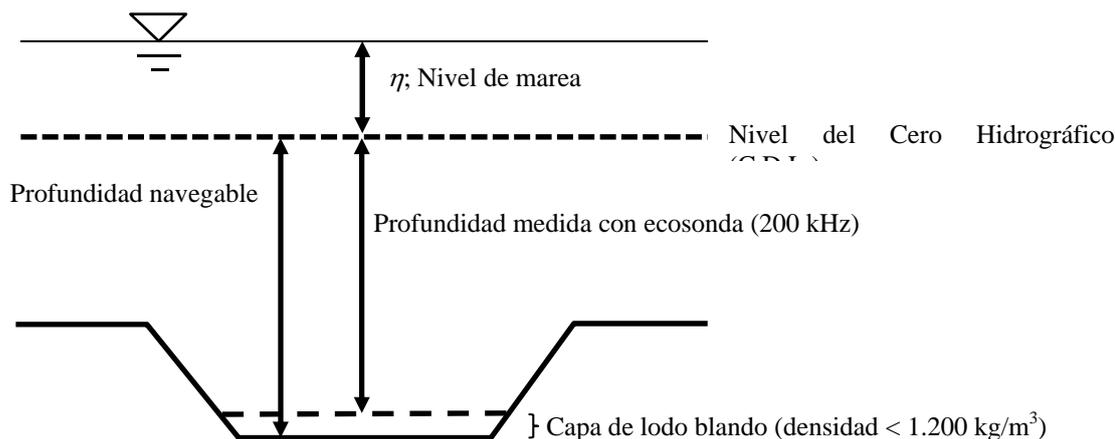


Figura 5.2 Definición de profundidad navegable y profundidad medida

5.2.2 Método de Estimación del Volumen de Dragado de Mantenimiento

En el Capítulo 4, se presenta el análisis de la velocidad de sedimentación, con base en resultados previos de mediciones batimétricas, y la formulación de dos modelos de predicción: modelo exponencial modificado y modelo lineal. Los dos modelos se aplican para estimar el volumen del dragado de mantenimiento.

Tabla 5.2 Modelos de previsión de sedimentación para estimar volumen de dragado de mantenimiento

Modelo de predicción	Observaciones
1. Modelo exponencial modificado	$V = a\Delta h$ ● $a = 0,089$ (Canal interno) ● $a = 0,109$ (Canal externo) con profundidad final (h_e)
2. Modelo lineal	$V = \min(a\Delta h, V_{\max})$ ● $V_{\max} = 0,39$ m/mes (Canal interno) ● $V_{\max} = 0,14$ m/mes (Canal externo)

El volumen de dragado tiene que ser proporcional a la altura de sedimentación en el ciclo de dragado de mantenimiento. Siendo Δh_{tar} la diferencia de profundidad entre la profundidad objetivo del canal y la profundidad del canal externo y T el ciclo del dragado de mantenimiento en meses, la profundidad requerida de dragado D_X , que incluye el post-dragado, se calcula como se describe a continuación.

1) Modelo exponencial modificado

$$D_X = \Delta h_{tar} \exp[aT] \text{ para el canal interno} \quad (5.1)$$

$$D_X = \Delta h_e + (\Delta h_{tar} - \Delta h_e) \exp[aT] \text{ para el canal externo, canal del puerto y dársena} \quad (5.2)$$

2) Modelo lineal

$$D_X = v_{linear} T \quad (5.3)$$

donde a tiene asignado el valor de 0,089 para el canal interno, y 0,109 para el canal externo, canal del puerto y dársena, Δh_e es la diferencia de profundidad entre la profundidad final y la

profundidad externa ($=h_e - h_{out}$), y v_{linear} es la velocidad de sedimentación constante del modelo lineal y tiene asignado el valor de 0,39 para el canal interno y 0,14 para el canal externo.

La Figura 5.3 muestra el proceso de dragado y la subida del fondo del canal. Para explicar el uso de la Ecuación (5.), se ha tomado el punto L20 (KP2.9) con una supuesta profundidad externa de DL-6,9 m. Si la profundidad objetivo de navegación es DL-11,0 m, la diferencia de profundidad es de hecho $\Delta h_{tar} = 4,1$ m. Aquí, si se considera la capa de lodo blando de 1,0 m, la diferencia de profundidad se supone que es $\Delta h_{tar} = 3,1$ m. Para un ciclo de dragado de $T = 6$ meses, la diferencia de profundidad inicial de $D_x = 5,3$ m tiene que ser garantizada, por tanto, la profundidad de dragado inicial objetivo es DL-12,2 m. Dentro del ciclo de mantenimiento de 6 meses, el fondo del canal se elevará gradualmente y finalmente alcanzará la profundidad DL-10,0 m, cuya profundidad navegable es DL-11,0 m. Después de 6 meses, el canal será re-dragado nuevamente a DL-12,2 m.

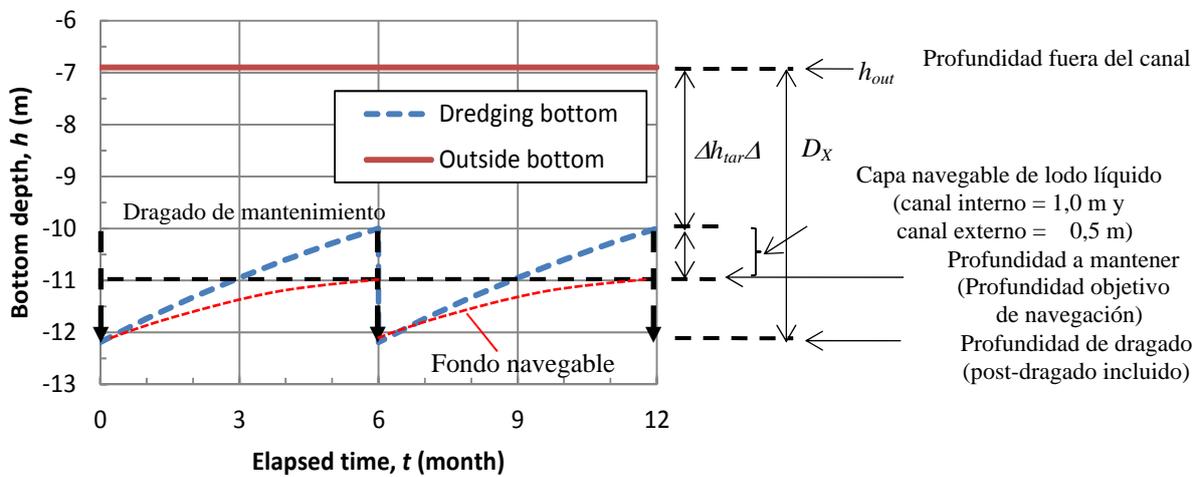


Figura 5.3 Esquema de la subida del fondo del canal entre los dragados de mantenimiento

5.2.3 Volumen de Dragado de Mantenimiento en Función de la Profundidad

El volumen de dragado de mantenimiento se calcula para seis niveles de profundidad objetivo: DL-9,0 m, DL-10,0 m, DL-11,0 m, DL-12,0 m, DL-13,0 m y DL-14,0 m. El ciclo del dragado de mantenimiento sucesivo se establece en 3, 4, 6, ó 12 meses. El volumen de dragado de mantenimiento bajo un ciclo especificado a una profundidad de navegación dada se calcula con los dos modelos de predicción: modelo exponencial modificado y modelo lineal. Los resultados del cálculo se presentan en la Tabla 5.3, por ejemplo.

La Figura 5.4 presenta todos los resultados del cálculo de volumen de dragado anual en función de la profundidad objetivo. Los volúmenes estimados con el modelo exponencial modificado están indicados con símbolos en azul y los del modelo lineal, con símbolos en naranja. Las curvas en el diagrama están trazadas para conectar los valores mínimos de cada profundidad objetivo.

Al comparar el modelo exponencial modificado con el modelo lineal, se observa que la diferencia del volumen calculado se incrementa cuando la profundidad objetivo es mayor de 13 m. Ya que en el modelo lineal la velocidad de sedimentación es constante para profundidades del canal mayores de 12 m aprox., cuando la profundidad objetivo es mayor de 12m, aparece la diferencia entre el modelo exponencial modificado y el modelo lineal.

Tabla 5.3 Volumen de dragado de mantenimiento calculado con el modelo exponencial modificado

Profundidad objetivo de navegación (m)	Ciclo de dragado (meses)	Volumen de dragado por área (10 ³ m ³ /ciclo)			Total (10 ³ m ³ /ciclo)	Total (10 ³ m ³ /año)
		Externo	Interno	Dársena		
9,00	3,00	0	54	0	54	215
	4,00	0	75	0	75	224
	6,00	0	123	0	123	245
	12,00	0	323	0	323	323
10,00	3,00	0	193	0	193	770
	4,00	0	267	0	267	802
	6,00	0	435	0	435	871
	12,00	0	1.107	0	1.107	1.107
11,00	3,00	5	358	3	365	1.461
	4,00	7	495	4	505	1.516
	6,00	11	798	6	815	1.631
	12,00	33	1.937	19	1.988	1.988
12,00	3,00	164	519	53	736	2.944
	4,00	230	715	74	1.020	3.060
	6,00	384	1.140	125	1.650	3.300
	12,00	1.057	2.401	355	3.813	3.813
13,00	3,00	438	677	182	1.297	5.188
	4,00	613	928	256	1.797	5.390
	6,00	1.011	1.463	428	2.902	5.804
	12,00	2.620	2.532	1.190	6.342	6.342
-14,00	3,00	818	831	419	2.068	8.272
	4,00	1.139	1.133	589	2.861	8.584
	6,00	1.857	1.766	982	4.605	9.210
	12,00	3.904	2.846	2.691	9.442	9.442

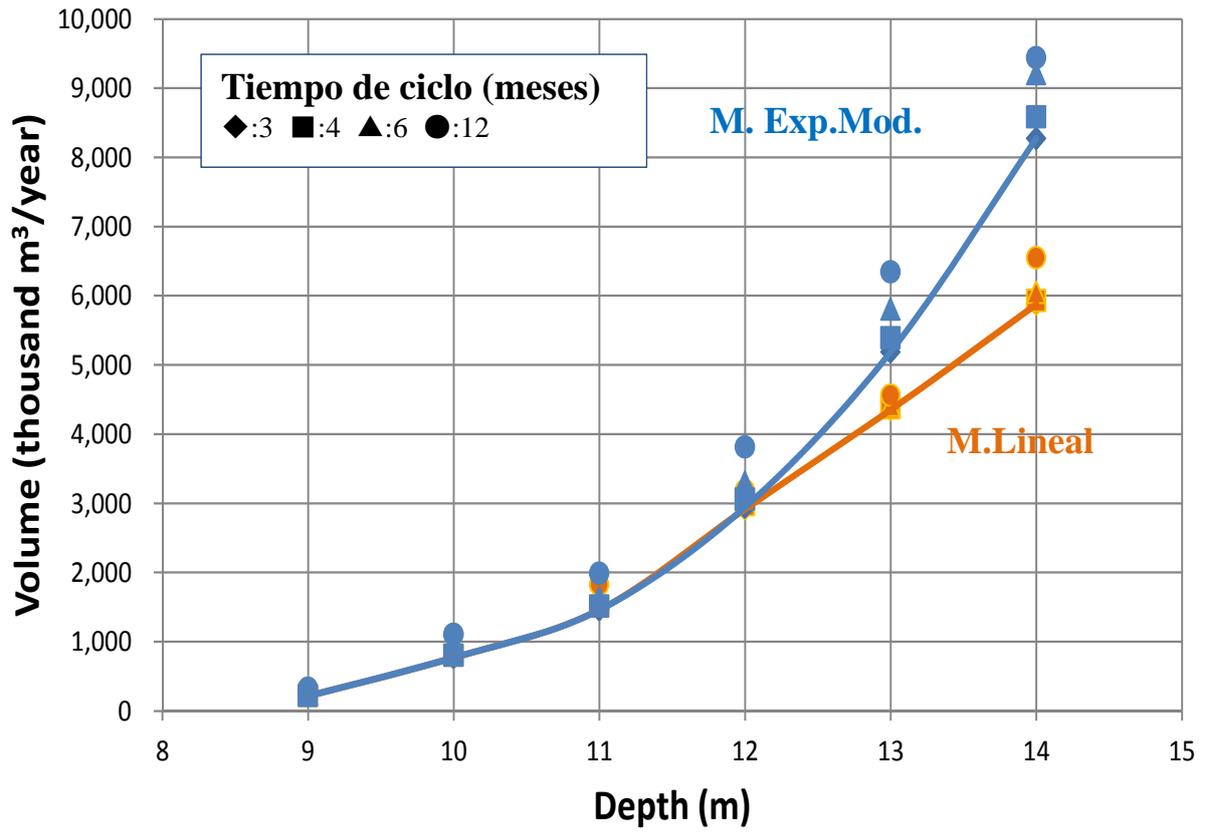


Figura 5.4 Volumen de dragado de mantenimiento en función de la profundidad

5.3 Análisis de Métodos de Dragado y de Capacidad de Dragas

5.3.1 Tipos de Draga

(1) Draga de succión con cabezal cortador (CSD) (Foto 5.1)

Este es un método para succionar por bombeo la lechada del suelo agitado con el cabezal cortador motorizado, montado en el extremo de la escalera. La lechada succionada se descarga hidráulicamente a través de una tubería a un botadero. El rango económico para una distancia de descarga es generalmente entre 2 y 3 km. Este tipo de draga se coloca con perforadores, que son 2 juegos de pilares para ser elevados y sumergidos en el fondo marino, y con un cable balanceando del torno colgando del extremo de la escalera conectada al ancla instalada en el fondo del mar.



Foto 5.1 Draga de succión con cabezal cortador
(Fuente: "Draga de succión con cabezal cortador Beaver" International Marine Consultancy)

(2) Draga de succión en marcha (TSHD) (Foto 5.2)

Es un método para succionar la lechada por bombeo desde el cabezal de la draga instalado en el extremo del tubo de succión. La lechada succionada se carga en la tolva instalada en la draga. Cuando la tolva se llena de tierra, la draga va en forma autopropulsada al botadero y descarga el material dragado desde la apertura inferior de la tolva.



Foto 5.2 TSHD
(Fuente: "TSHD Glenn Edwards 10.000 m³" The art of dredging.com)

(3) Dragas de cuchara (GD) (Foto 5.3 y Foto 5.4)

Es un método para dragar el fondo marino con una cuchara que funciona por una grúa. El material agarrado se carga en la tolva instalada en la draga. Cuando la tolva se llena de tierra, la draga va en forma autopropulsada al botadero y descarga el material dragado desde la apertura inferior de la tolva. Al lado de la draga de cuchara, está una draga de cuchara tipo pontón, que no cuenta con propia tolva ni sistema autopropulsado. La draga de cuchara tipo pontón carga el material dragado en las tolvas de barcas transportadoras de tierra.



Foto 5.3 Dragas de cuchara
Fuente: "Draga de cuchara CRANE" Axeonalias, RC Groups.com



Foto 5.4 Draga de cuchara (tipo pontón)

Fuente: “Proceso cerrado de dragado con cucharas y almeja en arena saturada de agua” Dr. ir. S.A. Miedema et al.

(4) Draga retroexcavadora no autopropulsada (BHD) (Foto 5.5)

Es un método para excavar la tierra con una pala retroexcavadora operada por un brazo hidráulico. El componente principal es una retroexcavadora instalada sobre la tierra. La tierra dragada se carga normalmente en barcazas de apoyo de carga de tierra. Una draga retroexcavadora está normalmente equipada con 2 ó 3 juegos de perforadores para posicionarse y resistirse a la fuerza de excavación de la pala.



Foto 5.5 Draga retroexcavadora

(Fuente: “Mimar Sinan” Jan De Nul Group)

5.3.2 Método Apropriado de Dragado

La selección de métodos de dragado y dragas apropiadas para el trabajo de dragado particular se hará teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- 1) Material a dragar

- 2) Acceso al área de dragado
- 3) Tirante de agua
- 4) Configuración del área de dragado
- 5) Condiciones marítimas
- 6) Tráfico de otras embarcaciones
- 7) Botadero
- 8) Productividad
- 9) Eficiencia del costo

Los resultados de las consideraciones arriba mencionadas se listan en la Tabla 5.4, en donde, la draga de succión con cabezal cortador está descartada principalmente debido a las condiciones del mar y del botadero, junto con los ítems de interrupción del tráfico de otras embarcaciones en el canal. También la draga retroexcavadora está descartada principalmente debido a los ítems de condiciones del mar y del botadero, junto con el ítem de tirante de agua. Y, la draga de cuchara está descartada principalmente debido a los ítems de interrupción del tráfico de otras embarcaciones en el canal y la productividad, junto con el ítem de eficiencia del costo.

Como consecuencia, la TSHD está seleccionada como la draga aplicable al Puerto de La Unión.

La TSHD es especialmente superior en las evaluaciones de “tráfico de otras embarcaciones”, “productividad” y “eficiencia del costo” en comparación con las otras dragas indicadas en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Aplicabilidad de métodos de dragado al Puerto de La Unión

Ítems de evaluación de condiciones de dragado		DRAGA DE SUCCIÓN CON CABEZAL CORTADOR	DRAGA DE SUCCIÓN EN MARCHA	DRAGA DE CUCHARA AUTOPROPULSADA	DRAGA RETROEXCAVADORA NO AUTOPROPULSADA
1)	Material a dragar	Bien	Bien	Bien	Bien
2)	Acceso al área de dragado	Bien	Bien	Bien	Bien
3)	Tirante de agua	Bien	Bien	Bien	NG
4)	Configuración del área de dragado	Bien	Bien	Bien	Bien
5)	Condiciones del mar	NG	Mejor	Bien	NG
6)	Tráfico de otras embarcaciones	NG	La mejor	NG	NG
7)	Botadero	NG	Bien	Bien	Bien
8)	Productividad	NG	La mejor	NG	NG
9)	Eficiencia del costo	NG	La mejor	NG	NG
Posibilidades de aplicar conclusión final de la selección del método de dragado			Seleccionada		

Nota: La palabra “NG” significa No Good (no bueno).

5.3.3 Capacidad Requerida de Draga

Las dragas de menor capacidad no pueden completar el dragado dentro del periodo objetivo y las de mayor capacidad son poco económicas. Por tanto, debe ser seleccionada una draga económica que sea adecuada para el volumen y periodo de dragado.

Por ejemplo, en caso de un ciclo de dragado de 3 meses y empleando una draga cuya capacidad requiere de un mes para completar el dragado, el ratio de trabajo es solamente del 33 % (1 mes/3 meses) o sea que el tiempo de espera de draga es más largo que el tiempo de trabajo. Este tiempo de trabajo no es necesario si se empleara una draga de menor capacidad que requiera de 3 meses para completar el dragado. Mientras, el ratio de trabajo es del 133 % (4 meses/3 meses) si la capacidad de la draga es menor y se requieren de 4 meses para completar el dragado. En este caso, el ciclo de dragado de 3 meses no puede ser mantenido.

O sea, conforme la capacidad de la draga es menor, el periodo de dragado es mayor. Y, ya que el ratio de trabajo está dado por la siguiente igualdad

$$\text{Ratio de Trabajo} = (\text{periodo que sea necesario para el dragado por cierta capacidad de draga} / \text{periodo de dragado requerido}) \times 100$$

la capacidad de draga debe ser seleccionada lo más grande posible dentro del rango que no exceda el 100 % del ratio de trabajo.

(1) Condiciones físicas de dragado

1) Material a dragar	Limo y arcilla
2) Eficiencia de carga de tierra en la tolva	60%
3) Distancia del área de dragado al botadero	De 15 a 36 km (Refiérase a la Figura 5.5)
4) Tiempo de dragado y retorno	0,5hr y 0,25hr (total 0,75hr)
5) Tiempo de descarga y retorno	0,15hr y 0,15hr (total 0,3hr)
6) Velocidad de draga (a plena carga)	10,2 kn
7) Velocidad de draga (a carga ligera)	10,8 kn

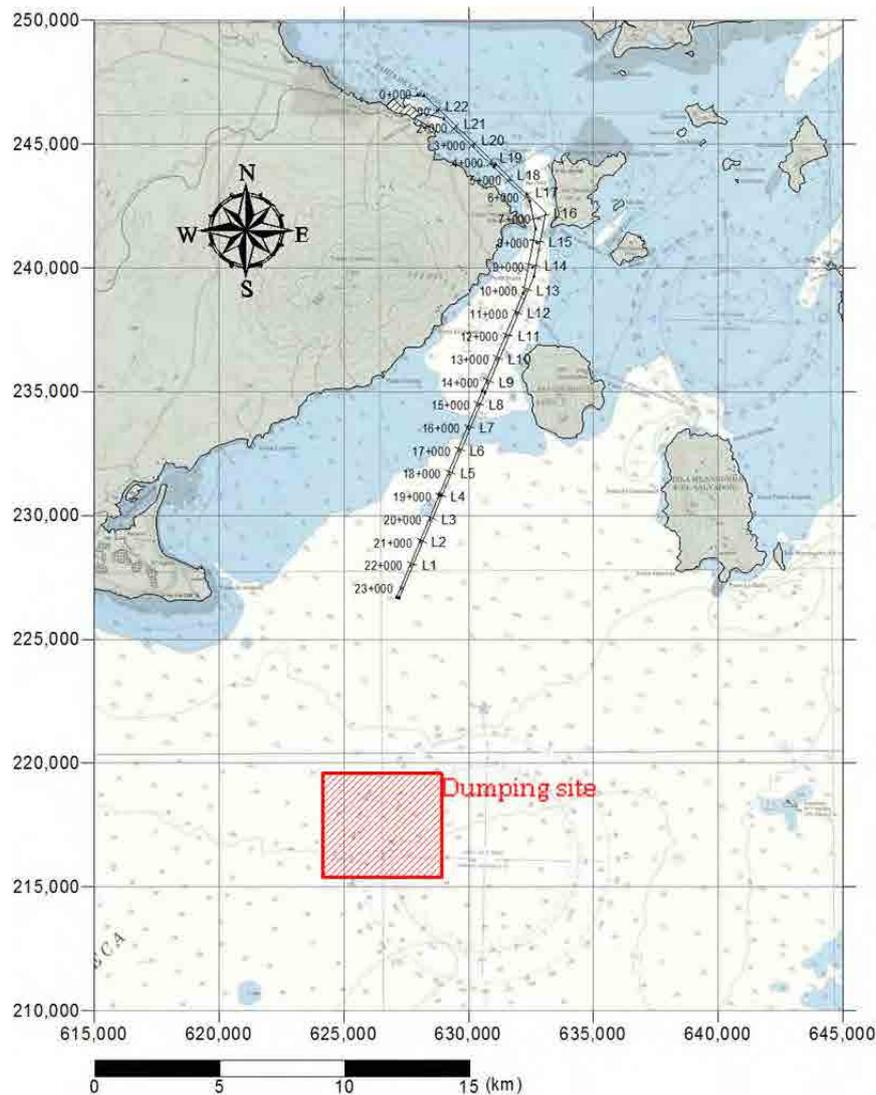


Figura 5.5 Ubicación del botadero

(2) Condiciones de trabajo de dragado

1) Semanas laborables/año	44 semanas (220 días)
2) Inspección anual y semanas no laborables	8 semanas
(Inspección periódica en dique)	(4 semanas)
(Reparación, cambio de consumibles, mantenimiento usual, etc.)	(3 semanas)
(Días no laborables debido al mal tiempo)	(1 semana)
3) Días laborables/semana	5 días
4) Horas laborables reales (eficiencia de trabajo 0.8)	19,2 horas
(3) Consideraciones sobre el ratio de trabajo	

Para recorrer la distancia desde el área de dragado hasta el botadero se tarda un tiempo considerable fuera del tiempo total de dragado. La distancia al botadero es 15 km en el caso más cercano y 36 km, en el más distante, puesto que el canal del Puerto de La Unión tiene una longitud de unos 22 km. Por tanto, el ratio de trabajo debe ser calculado en cada sección zonificando el canal en secciones cortas

ya que el tiempo de recorrido al botadero varía considerablemente dependiendo del área de dragado. Así, el cálculo fue hecho para cada sección de 1 km del canal.

(4) Proceso de determinación de la capacidad de dragado necesaria

En caso de re-dragado, se estudia el caso de dragado en un año. En caso de dragado de mantenimiento, el estudio se realiza para los ciclos de 3, 4, 6 y 12 meses.

El cálculo comienza con el ratio de trabajo para la draga de capacidad 1.000 m³ para cada caso. Cuando el ratio de trabajo calculado sobrepase el 100 %, éste será re-calculado para una draga a cuya capacidad se le agregan 500 m³. El cálculo se hará en forma repetida agregando 500 m³ de capacidad de draga cada vez y la capacidad de draga que esté por primera vez por debajo del 100 % se considera como “capacidad necesaria de draga” para el caso.

(5) Capacidad de draga necesaria

La Tabla 5.5 presenta los volúmenes necesarios de dragado para el re-dragado y el ratio de trabajo según el tirante de agua bajo la condición de que el periodo de dragado sea un año. La Tabla 5.6 presentan capacidades necesarias de draga y ratios de trabajo de cada ciclo de dragado según el tirante de agua en los casos de aplicar el modelo exponencial modificado y el modelo lineal.

Tabla 5.5 Capacidad de draga necesaria para re-dragado (m³)

Tirante objetivo de agua para el dragado de mantenimiento	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Capacidad de draga (m ³)	2.000	3.000	5.500	8.500	15.000	18.000
Ratio de trabajo (%)	(80)	(96)	(93)	(97)	(82)	(95)

Tabla 5.6 Capacidad de draga necesaria para el dragado de mantenimiento (m³), aplicando el modelo exponencial modificado

Tirante de agua de mantenimiento Ciclo de dragado		9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
		3 meses	1.000 (39)	1.500 (92)	3.000 (87)	5.000 (99)	8.500 (99)
Capacidad de draga m ³	4 meses	1.000 (40)	1.500 (96)	3.000 (90)	5.500 (94)	9.500 (92)	15.000 (91)
	6 meses	1.000 (44)	2.000 (78)	3.000 (97)	6.000 (92)	9.500 (99)	15.000 (98)
	12 meses	1.000 (58)	2.000 (99)	4.000 (89)	6.500 (97)	11.000 (92)	15.000 (100)

Los números entre paréntesis son ratios de trabajo (%)

5.4 Estimación del Costo de Dragado

5.4.1 Consideraciones sobre el Costo Estimado de Dragado

La estimación del costo de dragado ha sido estudiada en dos casos; uno en que una compañía de dragado trabaja con la consignación (dragado a base de contrato) y el otro en que CEPA trabaja directamente teniendo su propia draga (dragado con draga propia). El costo con una draga propia fue estimado basándose en el concepto considerado actualmente por CEPA.

La Figura 5.6 y la Figura 5.7 presentan los factores de la estimación de costo tanto del dragado a base de contrato como del de propia draga. Los ítems del mismo color en estas figuras indican que la misma estimación de costo es considerada en ambos casos. Mientras que los ítems sin color (en blanco) indican que la estimación del costo difiere de un caso al otro.

La estructura de la estimación del costo en ambos casos es el total de los costos directos e indirectos en todos los eventos. El costo directo consta del costo de maquinaria, combustible y de tripulantes. Sin embargo, los ítems desglosados son ligeramente distintos entre los dos casos. Los conceptos de la estimación del costo y del contenido del costo indirecto difieren entre el dragado a base de contrato y el dragado con propia draga excepto en el costo de movilización.

Un método reciente para la estimación del costo de cada uno de los ítems se describe detalladamente en el Informe Final.

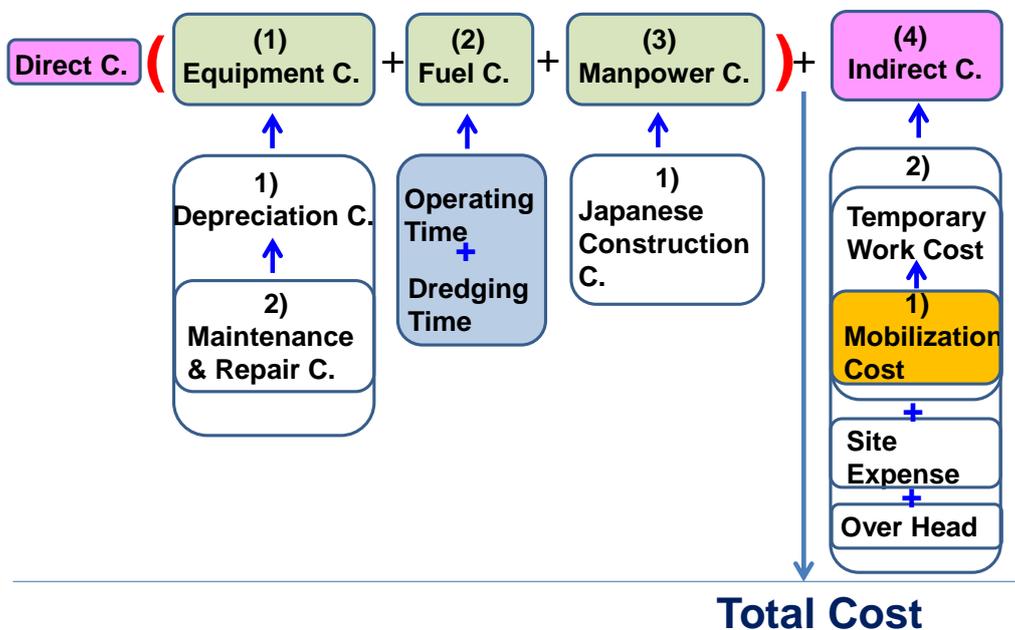


Figura 5.6 Estimación del costo de dragado a base de contrato

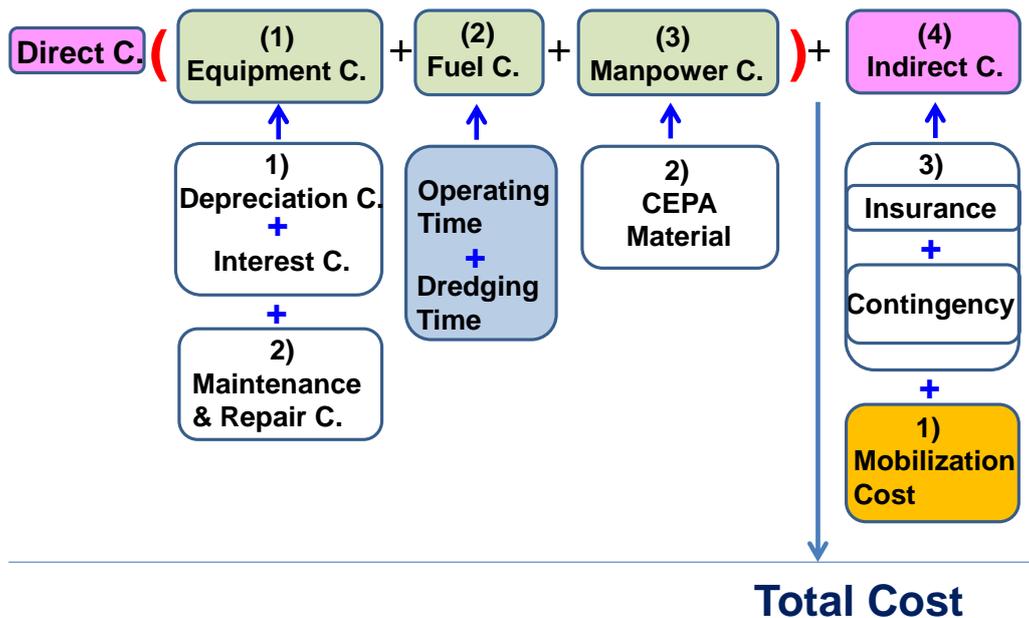


Figura 5.7 Estimación del costo de dragado con propia draga de CEPA

5.4.2 Costo de re-dragado

El re-dragado se inicia a base de contrato sin considerar el dragado con draga propia. La Tabla 5.7 presenta los volúmenes de re-dragado y costo de dragado según el tirante de agua a base de contrato. Dichos costos incluyen el costo de movilización inicial de ida desde Europa y el costo de recorrido de ida y vuelta para la inspección periódica.

Tabla 5.7 Costo de dragado según el tirante de agua

Depth (-m)	Hopper capacity (m3)	Operating hour (h)	Operating Month (m)	Volume (m3)	Dredging cost by contract base (US\$/m3)	Dredgibg cost by contract base (US\$)
9	2,000	3,366	9.6	895,000	13.79	12,342,319
10	3,000	4,064	11.5	1,619,000	10.87	17,603,115
11	5,500	3,941	11.2	2,964,000	9.34	27,686,793
12	8,500	4,096	11.6	4,895,000	7.15	35,010,001
13	15,000	3,464	9.8	7,452,000	7.31	54,466,014
14	18,000	4,020	11.4	10,565,000	6.47	68,371,225

5.4.3 Costo de Dragado de Mantenimiento

El volumen de dragado de mantenimiento para el canal se predice con el modelo exponencial modificado y el modelo lineal. La Figura 5.8 muestra el costo de dragado a base de contrato aplicando el modelo exponencial modificado y el modelo lineal. En esta figura el costo mínimo de dragado para cada tirante de agua está representado con una curva. De la misma manera, la Figura 5.9 muestra el costo de dragado con draga propia.

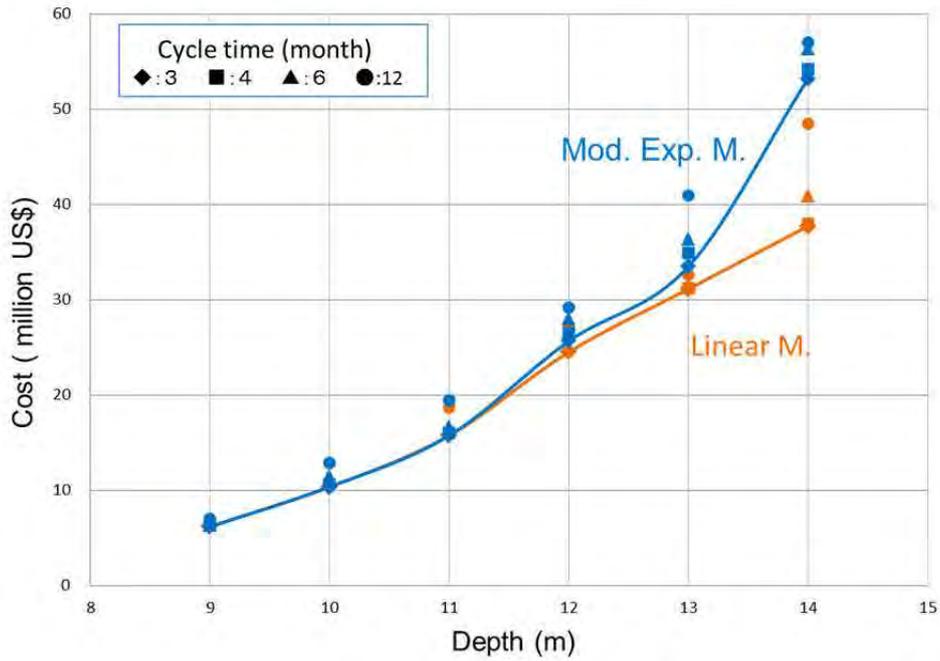


Figura 5.8 Costo de dragado a base de contrato (comparación de costo entre el modelo exponencial modificado y el modelo lineal)

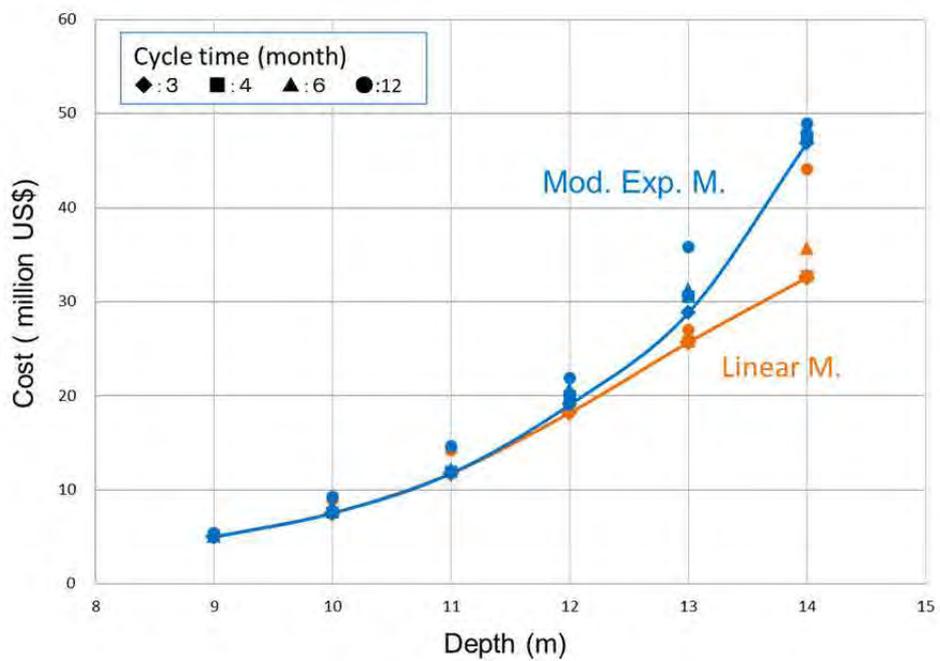


Figura 5.9 Costo de dragado con draga propia (comparación de costo entre el modelo exponencial modificado y el modelo lineal)

5.4.4 Comentarios sobre el Costo de Re-Dragado

Será necesario también prevenir una futura sedimentación post-dragado cuando haya terminado el

re-dragado. Sin embargo, el costo de re-dragado considera solamente el costo para dragar a un tirante de agua objetivo. Por tanto, el costo de post-dragado al terminar el re-dragado se representa con un simple método indicado en la Figura 5.10. Es decir, el costo de post-dragado se establece al igual que el costo del dragado de mantenimiento. Así que el costo que incluye el de post-dragado viene a ser el costo total de re-dragado y dragado de mantenimiento.



Figura 5.10 Estructura de los costos de re-dragado y dragado de mantenimiento

5.4.5 Efecto de Disminuir el Ciclo de Dragado (Caso Estudiado para la Profundidad Objetivo del Canal de 12 m)

Se examina la variación del costo de dragado cuando el ciclo de dragado es más corto en el caso de la profundidad objetivo de 12 m. El volumen del dragado de mantenimiento se predice con el modelo exponencial modificado.

Es imposible dragar simultáneamente toda el área del canal y se requiere de un determinado periodo de tiempo. Así, se supone un mes como el ciclo mínimo de dragado. Si se desea inferir la situación para ciclos más cortos que éste, se puede tener una idea a partir de extrapolar las curvas hacia el “punto cero” del ciclo en la Figura 5.11 y la Figura 5.12.

La Figura 5.11 muestra la relación entre el ciclo de dragado y el volumen de dragado de mantenimiento predicho por el modelo exponencial modificado. El volumen de dragado de mantenimiento se reduce cuando el ciclo se hace más corto. La línea negra punteada en esta figura indica que el volumen de dragado se reduce en 0.11 millones de m^3 cuando el ciclo disminuye a un mes. Cuando el ciclo disminuye de 3 a 1 mes, la tasa de reducción en el volumen anual de dragado es 7.5%.

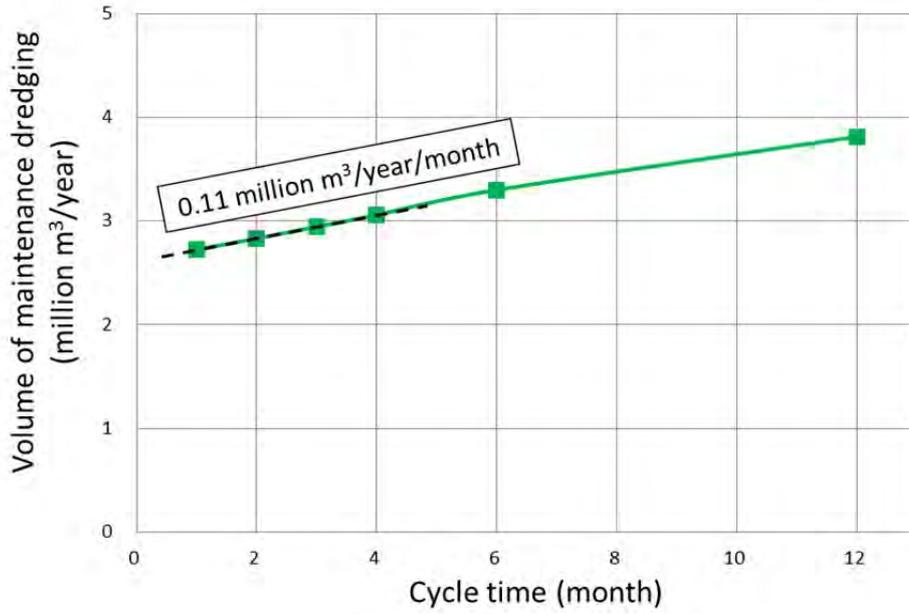


Figura 5.11 Relación entre el ciclo de dragado y el volumen anual del dragado de mantenimiento (predicho con el modelo exponencial modificado para la profundidad objetivo del canal de 12 m)

La Figura 5.12 muestra el costo anual de dragado con la draga de la capacidad necesaria. El costo baja con la disminución del ciclo de dragado. Cuando el ciclo se reduce de 3 a 1 mes, la tasa de decremento en el costo de dragado es 3.9%, que es cerca de la mitad del costo mostrado en la Figura 5.11

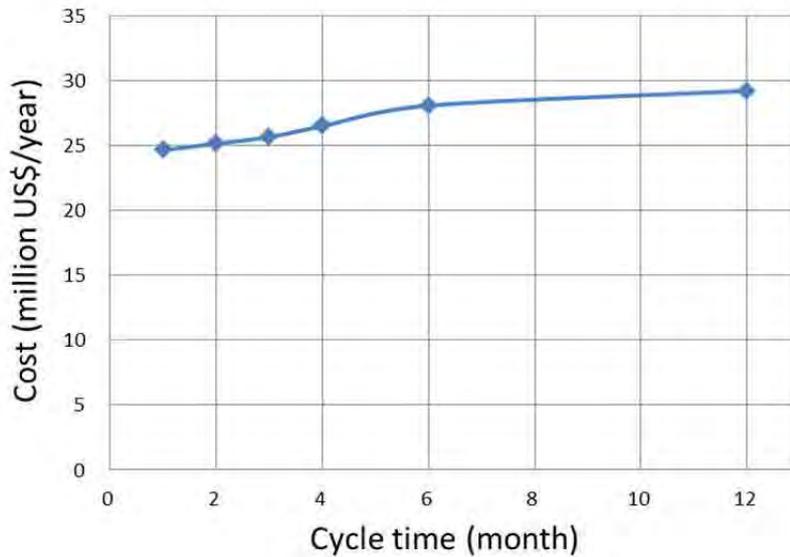


Figura 5.12 Relación entre el ciclo y costo anual de dragado

5.4.6 Recomendaciones sobre el Marco de Dragado

(1) Comparación de costo entre un dragado a base de contrato y un dragado con draga propia

La Figura 5.13 muestra de manera colectiva el costo mínimo. Para facilitar la comparación, el costo de dragado a base de contrato se indica con línea roja y el de dragado con draga propia, con la línea verde. De acuerdo con esta figura, la línea verde se encuentra siempre por debajo de la línea roja. Es decir, el costo de dragado con draga propia considerado por CEPA es siempre más bajo.

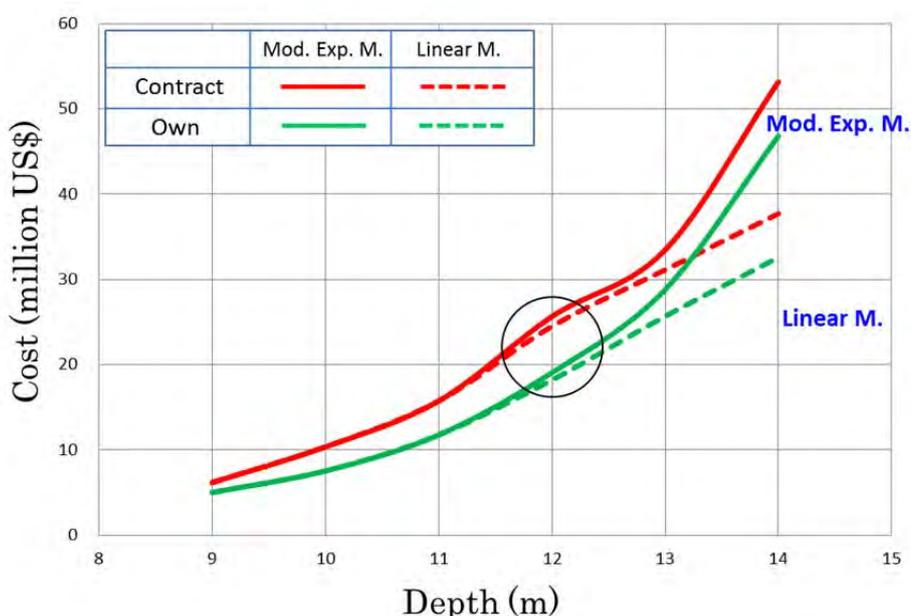


Figura 5.13 Comparación del costo de dragado entre dragado a base de contrato y dragado con draga propia

La Figura 5.14 muestra la comparación por separado del costo directo y el indirecto para el costo de dragado correspondiente a la parte marcado con un círculo en la Figura 5.13, a base de contrato y con draga propia. Según la Figura 5.14, el costo directo es casi igual, pero el costo indirecto es bastante bajo en el dragado con draga propia. El costo indirecto del dragado a base de contrato considera el costo de movilización, costo de seguro, costo relacionado con contingencias y muchos otros tipos de costo. Por el contrario, el costo indirecto del dragado con draga propia considerado por CEPA contempla sólo movilización, seguro y contingencias.

De hecho, muchos tipos de costo considerados en el dragado a base de contrato son necesarios para la operación de draga propia de CEPA. Por ejemplo, respecto al costo temporal, se requieren los siguientes costos.

- Flota y tripulación se requieren para un barco seguro para controlar la seguridad de

navegación en el momento del dragado del canal, un barco de mediciones para realizar mediciones de campo y control de avance del trabajo, un remolcador para apoyar el atraque y desatraque de la draga, un barco de transporte para llevar la tripulación en caso de emergencia y otros.

- Nueva organización con instalaciones de mantenimiento y reparación (atracadero, varadero y taller de reparación) es necesaria para reparar y mantener la flota de draga.
- Organización para el manejo técnico como el control de calidad, avance y programa del trabajo, será necesario que la organización controle la totalidad del trabajo de dragado.
- Y, con las tres organizaciones arriba mencionadas, el costo de servicios como el terreno, agua, electricidad, etc. aumentará.

Por tanto, en caso de dragado con draga propia, el costo será más de lo considerado por CEPA.

Además, existen ítems necesarios para el caso de dragado con draga propia, que no son necesarios en el dragado a base de contrato. Por ejemplo, la capacidad laboral de la tripulación en la etapa inicial será baja así que se requiere de un costo para el entrenamiento de la tripulación en el momento del periodo inicial de dragado.

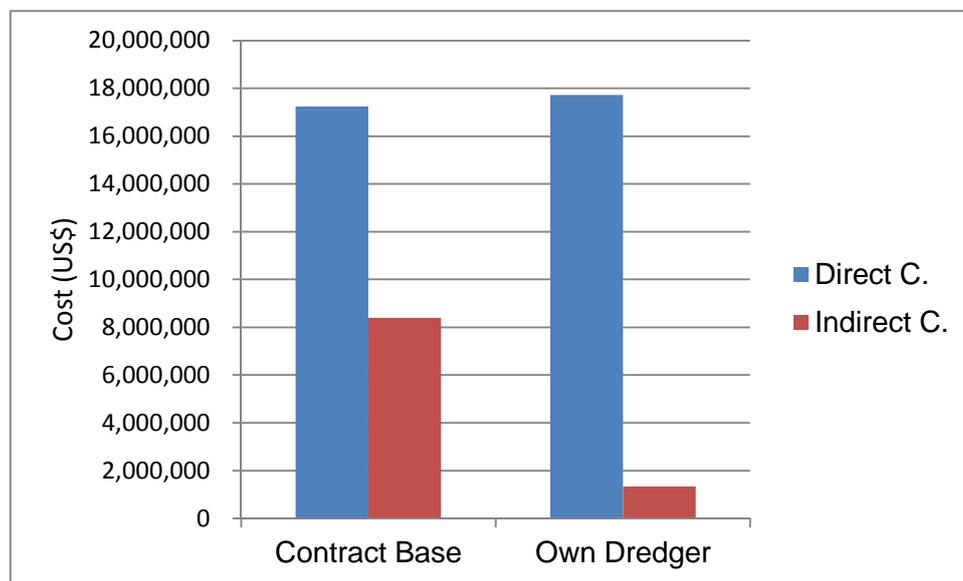


Figura 5.14 Comparación de los costos directo e indirecto del dragado a base de contrato y del dragado con draga propia (profundidad objetivo: 12 m para el modelo exponencial modificado con un ciclo de 3 meses)

(2) Precisión del modelo de predicción de volumen de sedimentación

De acuerdo con los resultados del sondeo del fondo, fueron elaborados empíricamente dos modelos para predecir la sedimentación en el canal. Lamentablemente en la actualidad hay grandes diferencias entre los dos modelos en el resultado de la predicción del volumen de sedimentación (Figura 5.4) y pasa lo mismo con el costo estimado de dragado (Figura 5.8 y Figura 5.9). Esto implica correr serios riesgos para CEPA al tener una draga propia bajo una situación en que no sea alta la precisión de la predicción del volumen de sedimentación. Esto se explica utilizando la Figura 5.15.

La Figura 5.15 representa las capacidades necesarias de draga, agregadas a la Figura 5.9, que presenta el costo de dragado con draga propia de CEPA. Por ejemplo, en caso de un tirante de agua objetivo de 13 m en el canal, se requiere una draga con una capacidad de 8.500 m³ para dragar el volumen objetivo predicho con el modelo exponencial modificado, y será posible dragar con una draga de capacidad de 7.500 m³, en caso del volumen de dragado con el modelo lineal. Así que en esta etapa, aunque el tirante de agua objetivo se fije a 13 m, ya que existe diferencia entre los dos modelos de predicción de volumen de sedimentación, será difícil juzgar apropiadamente la capacidad de draga, por tanto, es un gran riesgo para CEPA tener una propia draga fijando su capacidad.

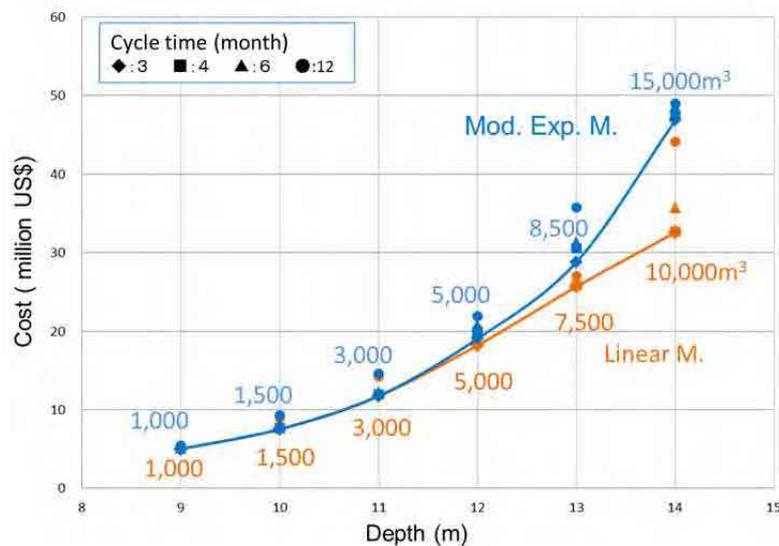


Figura 5.15 Costo de dragado y capacidad de draga según el tirante de agua

(3) Tirante de agua objetivo junto con el desarrollo del Puerto de La Unión

De acuerdo con la Figura 5.15, se comprende que cuanto más grande el tirante de agua objetivo en el canal, mayor capacidad de draga será necesaria. Es decir, se hará difícil la relación entre la posesión de draga propia de CEPA y el desarrollo del puerto.

La razón se explica con la capacidad necesaria de draga (línea azul en la Figura 5.15) respecto al

volumen de sedimentación predicho con el modelo exponencial modificado. Por ejemplo, suponiendo que el tirante de agua objetivo esté establecido en 10 m y que se fabrique una draga con una capacidad requerida de 1.500 m³. Después de cierto tiempo, se necesitará atender embarcaciones de mayor calado, para atraerlos al puerto y si el tirante de agua objetivo en el canal cambiara a 11 m, la capacidad necesaria de draga sería 3.000 m³ para mantener el tirante de agua. Para satisfacer esta demanda, habrá que deshacerse o vender la draga de 1.500 m³ de capacidad y obtener nuevamente una draga de 3.000 m³ de capacidad. Alternativamente, se puede considerar que se quede con la draga de 1.500 m³ y se tenga otra nueva de 1.500 m³ de capacidad.

Surgirá el mismo problema si el Puerto de La Unión sigue desarrollándose y cambie el tirante de agua objetivo a 12 m. En otras palabras en caso de que CEPA tenga su propia draga, se requiere un costo adicional para mantener apropiadamente el tirante de agua en el canal junto con el desarrollo del Puerto de La Unión.

(4) Recomendaciones

Juzgando de lo arriba mencionado, se han hecho recomendaciones sobre “el dragado a base de contrato” para el dragado de mantenimiento del canal.

Capítulo 6 Propuesta de Plan de Monitoreo después de Re-Dragado

Capítulo 6 Propuesta de Plan de Monitoreo después de Re-Dragado

6.1 Objetivos de Monitoreo

Se han establecido empíricamente dos modelos de predicción basados en datos batimétricos que no son necesariamente suficientes ni en calidad ni en cantidad. El monitoreo de la profundidad del canal con mediciones batimétricas es el único método para mejorar la precisión de la predicción y reforzar la aplicabilidad del modelo lineal al dragado de mantenimiento.

Hasta la fecha los datos batimétricos en la dársena no son suficientes para formular un modelo empírico de predicción. En la actualidad, el modelo exponencial original ha sido aplicado al cálculo del volumen de sedimentación en la dársena. Para confirmar la idoneidad de la aplicación, es importante y necesario recolectar datos batimétricos en el área del Puerto.

El propósito del monitoreo son los dos puntos siguientes:

Verificar la adecuación del volumen de sedimentación.

Confirmar el fenómeno de rápida sedimentación inmediatamente después del dragado.

El plan de monitoreo establecido está sujeto a la condición de que las mediciones batimétricas sean ejecutadas por la propia CEPA con sus instrumentos.

6.2 Verificación de la Adecuación del Volumen de Sedimentación Predicho

Con el fin de verificar la adecuación del volumen de sedimentación predicho con los modelos empíricos de predicción, es necesario básicamente medir el volumen real de sedimentación. Puesto que el re-dragado se llevará a cabo para activar el uso del Puerto de La Unión, el dragado de mantenimiento frecuente debe ser realizado también una vez terminado el re-dragado. Aunque se requiere repetir las mediciones batimétricas, el volumen de sedimentación no puede ser obtenido únicamente con éstas. Recopilación de registros de dragado de mantenimiento, como el volumen excavado y su ubicación, se requiere para una estimación más precisa del volumen de sedimentación. Además, deben ser recopilados los registros de embarcaciones que entran y salen del puerto.

(1) Mediciones batimétricas

- 1) Un levantamiento batimétrico será realizado sobre las líneas de medición actualmente designadas en las áreas del canal interno, canal externo y la dársena.
- 2) Las mediciones batimétricas serán realizadas justo antes y después del re-dragado. Posteriormente, las mediciones batimétricas se repetirán con un intervalo de tiempo de dos meses, o un mes si es posible.
- 3) Las mediciones batimétricas deben ser ejecutadas usualmente con las dos señales acústicas de 38 y 200 kHz.

(2) Volumen de dragado

El volumen de dragado puede ser estimado multiplicando la capacidad de la TSHD (draga de succión en marcha) por el número de recorridos de ida y vuelta al botadero.

(3) Estimación del volumen de sedimentación

Primero, el volumen del cambio topográfico en el canal se calcula utilizando los datos batimétricos de dos mediciones sucesivas. El volumen de dragado cuya ubicación y periodo corresponden a aquellos de los datos batimétricos, está agregado al volumen del cambio topográfico. El resultado es básicamente el volumen de sedimentación.

6.3 Confirmación de Rápida Sedimentación Inmediatamente después de Dragado

Rápida sedimentación ocurrió inmediatamente después del dragado. Para confirmar este fenómeno, es necesario repetir las mediciones batimétricas con un intervalo corto. Nótese que una oportunidad de confirmar el fenómeno de rápida sedimentación puede estar limitada solamente a una sola vez cuando el re-dragado esté completo.

(1) Mediciones batimétricas

- 1) Las mediciones batimétricas deben realizarse a lo largo de las líneas de medición actuales en las áreas designadas de los canales interno y externo.
- 2) Las mediciones batimétricas deben realizarse justo después del dragado. Luego de esto, se recomienda que se repitan en intervalos de dos semanas durante varios meses.
- 3) Idéntico a la Subsección 6.2 (1) 3)

(2) Volumen de dragado: Idéntico a la Sección 6.2 (2)

(3) Efectos de la navegación de embarcaciones: Idéntico a la Sección 6.2 (3)

(4) Estimación del volumen de sedimentación: Idéntico a la Sección 6.2 (4)

6.4 Corrección por Mareas Aplicada a Datos Batimétricos

6.4.1 Mejoramiento de la Corrección de Mareas para los Datos de Mediciones Batimétricas

Para el mantenimiento del canal, se requiere un monitoreo continuo de la profundidad del canal. Durante el 1er trabajo de campo en abril de 2013, el Equipo de Estudio inspeccionó las mediciones batimétricas realizada por el personal de CEPA. Durante las mediciones, el personal de CEPA condujo satisfactoriamente los trabajos de campo tales como el montaje de equipos y las mediciones. No obstante, el personal de CEPA tomó bastante tiempo para analizar los datos medidos, por falta de herramientas de procesamiento posterior.

Por consiguiente, el Equipo de Estudio dispuso herramientas para un favorable procesamiento posterior de los datos de mediciones batimétricas, como parte de la transferencia de tecnología. Para agilizar el procesamiento posterior de dichos datos, el Equipo de Estudio desarrolló un Libro Macro de Excel. El Libro Macro está codificado con VBA y las principales funciones son las siguientes:

- Abrir y leer los archivos de datos medidos de la ecosonda EA-400
- Predicción de las mareas tomando en cuenta la posición de las mediciones
- Corrección por mareas de los datos batimétricos
- Conversión de coordenadas entre geodésica/WGS84 y Lambert/NAD27

- Suprimir datos anormales (casi automático)
- Preparar una base de datos con coordenadas basándose en la línea central del canal

La Figura 6.1 presenta una captura de pantalla de Libro Macro de Excel como un ejemplo. Como se muestra en esta figura, los datos de la profundidad y del posicionamiento están bien convertidos en el Libro Macro simplemente haciendo clic en los botones de comandos. El Libro Macro y su uso serán introducidos en el 2º trabajo de campo en agosto de 2013.

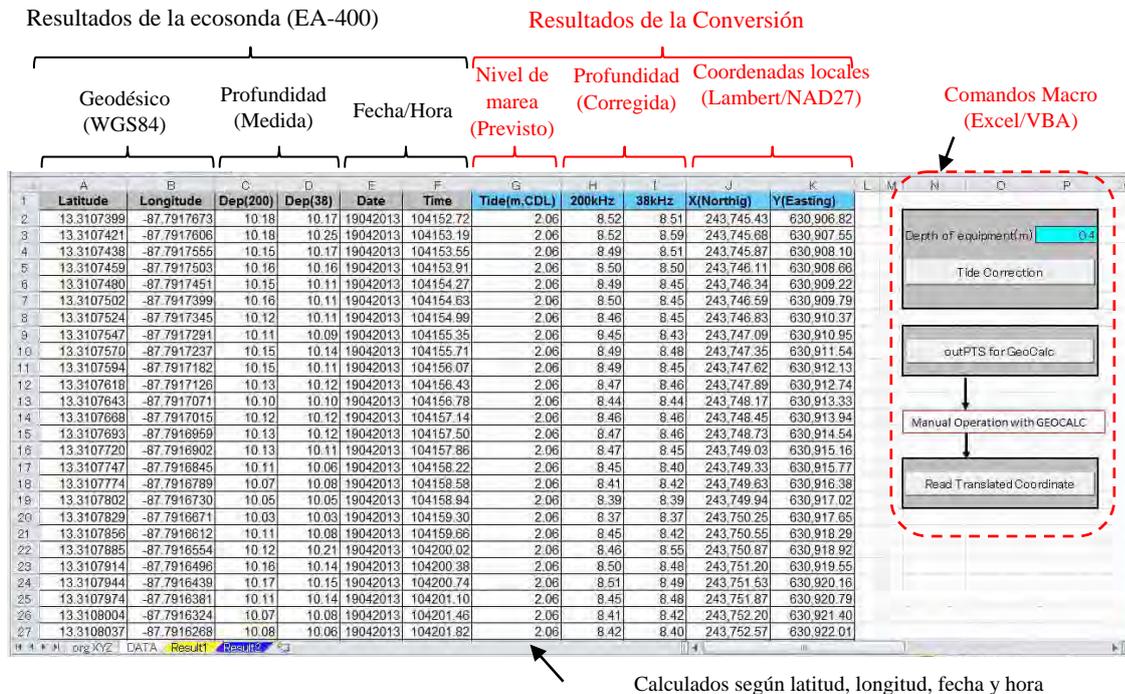


Figura 6.1 Herramientas de procesamiento posterior codificadas con Excel/VBA

6.4.2 Nivel de Referencia del Puerto de La Unión

Con el fin de confirmar el nivel de referencia para las mediciones batimétricas, el Equipo de Estudio deliberó con oficiales de CNR, encargados de la predicción de mareas de la costa de El Salvador. La reunión de oficiales de CNR tuvo lugar en la oficina de CNR, San Salvador, el 24 de agosto de 2011. El objetivo de la reunión fue aclarar los niveles de mareas, la metodología de la predicción de mareas y el nivel de referencia vertical adoptado en El Salvador.

En la Tabla 6.1 se presenta la relación entre el GVD y los niveles de mareas proporcionados por CNR. En La Unión, el nivel de referencia de la profundidad de agua en el mar ha sido establecido como la altura del MLLW (= -1,3381 m) desde 1960. Sin embargo, para fines de navegación marítima, la profundidad de agua se calcula con el nivel de referencia de 1,5381 m (=1,3381+0,2) debajo del MSL, donde los adicionales 0,2 m son un factor de seguridad para una navegación segura.

Tabla 6.1 Niveles de referencia vertical en El Salvador proporcionados por CNR.

		La Unión	Acajutla	La Libertad
Nivel de marea máximo observado	HTO	1,9812	1,5240	1,6154
Nivel alto de marea viva de primavera	HWS		0,9601	1,0211
Nivel medio de marea más alta	MHHW	1,2710	0,8656	0,9235
Nivel medio de marea alta	MHW	1,1704	0,7711	0,8260
Nivel medio del mar	MSL	0,0000	0,0000	0,0000
Nivel medio de marea	MTL	-0,0518	0,0000	0,0061
Nivel medio de marea baja	MLW	-1,2771	-0,7742	-0,8138
Nivel medio de marea más baja	MLLW	-1,3381	-0,8169	-0,8595
Nivel bajo de marea viva de primavera	LWS		-0,9601	-1,0211
Nivel de marea mínimo observado	LTO	-2,2860	-1,4021	-1,4935

Según la reunión con oficiales de CNR, está confirmado que el nivel del cero hidrográfico (CDL) para fines de navegación es 1,5381 m debajo de MSL. La relación entre MSL y CDL se representa en la Figura 6.2. La altura del mojón de CUT-9 se observa también en la Figura 6.2, donde el mojón CUT-9 está ubicado en la esquina sudeste del muelle de contenedores en el Puerto de La Unión.

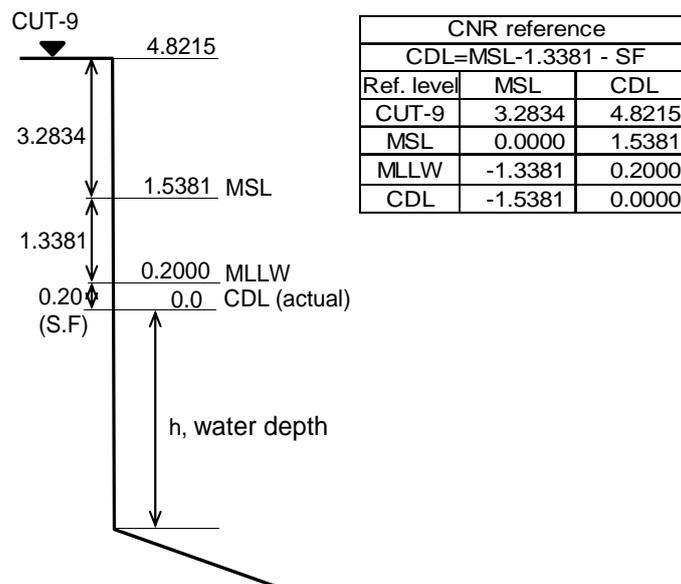


Figura 6.2 Nivel de referencia vertical adoptado por CNR

Capítulo 7 Revisiones del Modelo de Pronóstico de Demanda y del Modelo de Asignación de Mercados desarrollados por CEPA

Capítulo 7 Revisiones del Modelo de Pronóstico de Demanda y del Modelo de Asignación de Mercados desarrollados por CEPA

En este capítulo, se presenta el esquema de cómo calcular la tasa prevista de crecimiento del volumen de contenedores que salen de CA4 (El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua) y cómo se desarrolla el modelo de asignación de mercados que realiza CEPA.

7.1 Esquema del Modelo de Pronóstico de Demanda y del Modelo de Asignación de Mercados desarrollados por CEPA

El “estudio de demanda del Puerto de La Unión” llevado a cabo por CEPA consiste en tres partes:

1. Tasa prevista de crecimiento del volumen de contenedores que entran y salen de CA4
2. Desarrollo de mercado asignado del modelo
3. Asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión

7.2 Tasa prevista de crecimiento del volumen de contenedores que entran y salen de CA4

(1) Adquisición de datos de series de tiempo histórico en el PIB y volumen de contenedores

Para estimar la elasticidad del PIB pasado de cargas de contenedores, es necesario obtener las series de tiempo histórico del PIB y el volumen de contenedores que entran y salen de cada país de CA4 (El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua).

Los datos históricos del PIB en CA4 se pueden obtener de la UNCTAD (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo) y el Banco Mundial.

Los datos históricos del volumen de contenedores que entran y salen de cada país de CA4 se estiman a partir de la base de datos de estadísticas comerciales de la SIECA (La Secretaria de Integración Económica Centroamericana). Los datos desde 2000 hasta 2010 se utilizan para el análisis.

(2) Estimación de la actual y futura elasticidad del PIB del volumen de contenedores

La actual elasticidad del PIB del crecimiento en el volumen de contenedores fue estimado utilizando series de tiempo del PIB y del volumen de contenedores entre 2000-2010.

La CEPA utilizó el análisis de regresión para estimar el grado de correlación entre el crecimiento de la producción de CA4 (variable independiente) y el volumen de contenedores de importación y exportación de los mismos (variable dependiente).

La CEPA supuso que la elasticidad PIB presente calculada anteriormente se podría mantener igual básicamente hasta 2030. Sin embargo, la elasticidad PIB se supone que disminuye linealmente a 2,0 hacia el año meta 2030 cuando la elasticidad PIB presente excede a 2,0 porque la elasticidad de 2,0 es límite superior de promedio de elasticidad en economías en desarrollo y hay necesidad de evitar exageración en la estimación.

Tabla7.1 Elasticidad PIB

		2000-2010	2020	2030
EL SALVADOR	IMPORT	2.11	2.06	2.0
	EXPORT	4.57	3.28	2.00
GUATEMALA	IMPORT	0.96	0.96	0.96
	EXPORT	1.55	1.55	1.55
HONDURAS	IMPORT	0.99	0.99	0.99
	EXPORT	1.18	1.18	1.18
NICARAGUA	IMPORT	1.59	1.59	1.59
	EXPORT	2.82	2.41	2.00

Fuente: Cálculos de CEPA basándose en los datos de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTADSTAT), Sistema de Estadísticas de Comercio de Centroamérica (SIECA) y Oficina del Censo de los Estados Unidos

(3) Cálculo de la tasa de crecimiento de volumen de contenedores

La tasa de crecimiento de contenedores se estimó utilizando la tasa de crecimiento del PIB de futuro y la elasticidad PIB. La tasa de crecimiento del PIB futuro se obtuvo desde USDA (Servicio de Investigación Económica, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) y FMI.

La fórmula de cálculo es la siguiente.

$$\text{Tasa de Crecimiento de Contenedores} = (\text{Tasa de Crecimiento PIB}) \times (\text{Elasticidad PIB})$$

Tabla7.2 Tasa de Crecimiento de Contenedores (2010 = 100)

		2010-2020	2010-2030
Importación	El Salvador	200	395
	Guatemala	167	278
	Honduras	158	252
	Nicaragua	203	343
Exportación	El Salvador	340	776
	Guatemala	167	277
	Honduras	160	248
	Nicaragua	207	349

Fuente: El Salvador, Guatemala: USDA, Honduras, Nicaragua: FMI

7.3 Desarrollo del modelo de asignación de mercado

(1) Volumen estimado de importación y exportación de contenedores

Para predecir la participación en el mercado, la CEPA ha estimado la matriz de hinterland recopilando y analizando varios datos del flujo de contenedores de CA4.

Como no existen datos exactos del flujo de contenedores en CA4, la CEPA está utilizando

algunas hipótesis. El procedimiento de estimación por la CEPA se describe abajo.

- 1) Calcular el volumen de contenedores del área geográfica donde las cargas se importan y se exportan de cada puerto en CA4.
 1. Los datos del volumen total de contenedores importados y exportados a puertos de CA4 se adquieren de la COCATRAM (La Comisión Centroamericana de Transporte Marítimo).
 2. Los datos del Puerto Quetzal y del Puerto de Santo Tomás sobre la distribución del volumen total de carga importada y exportada entre diferentes áreas geográficas se adquieren de la CPN (Comisión Portuaria Nacional Guatemala).
Las áreas geográficas de la CPN se dividen en 6 zonas (costa Oeste de EE.UU.: costa Oeste de EE.UU., costa Este de EE.UU.: costa Este de EE.UU., UE, Asia, Otros del Pacífico y Otros del Atlántico). Con estos datos, calculamos la participación de la carga de cada área geográfica.
 3. Como la situación de gestión y la situación de manejo son similares, la misma participación del Puerto Quetzal se aplica a los Puertos Corino y Acajutla. De igual manera, la misma participación del Puerto Santo Tomas se aplica a los Puertos Cortes y Castilla.
 4. Para calcular el volumen de contenedores del área geográfica, el volumen total de contenedores de cada puerto y la participación de cada área geográfica se multiplican.
- 2) Calcular el volumen de contenedores del área geográfica donde las cargas se importan y se exportan de cada país de CA4.
 1. Los datos de cada país de CA4 sobre distribución del volumen total de cargas importadas y exportadas entre diferentes áreas geográficas se adquieren desde la SIECA.
 2. Las áreas geográficas de la SIECA se dividen en 5 áreas (EE.UU., UE, Asia, Otros del Pacífico y Otros del Atlántico).
Para dividir los datos de los Estados Unidos en la Costa Oeste de EE.UU. y la Costa Este de EE.UU., calculamos la proporción de la Costa Oeste de EE.UU. y Costa Este de EE.UU. utilizando los datos de Comercio en Línea de los Estados Unidos. Con estos datos calculamos la participación de cada área geográfica.
 3. Para calcular el volumen de contenedores entre cada país de CA4 y las áreas geográficas, multiplicamos la participación de las áreas geográficas por el volumen total de contenedores de las áreas geográficas.

(2) Estimación de contenedores importados y exportados por vía terrestre, como área de influencia de los puertos

El área de influencia de los puertos e hinterland se refiere a cómo se distribuyen en la región centroamericana las cargas que entran y salen a través de los puertos de CA4, este es el segundo paso para desarrollar el modelo. Fue necesario calcular el volumen de contenedores exportados e importados por vía terrestre o aérea de influencia de los diferentes puertos bajo estudio. Las cifras fueron calculadas basándose en los datos que proporcionaron las aduanas de diferentes países de CA4.

Para calcular el volumen de contenedores, multiplicamos esta participación por el volumen total de contenedores de cada puerto calculado anteriormente. Los datos se clasificaron en

importaciones/exportaciones del Pacífico, importaciones/exportaciones del Atlántico, por cada país.

Tabla7.3 Matriz de transporte de hinterland (2010)

Matriz de transporte de hinterland para la Importación: Pacífico (2010) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Santo Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	Total
El Salvador (E)	484	43	10	16	25	578
El Salvador (O)	47,870	4,246	1,030	1,606	2,479	57,232
Guatemala	1,930	51,725	13,117	2,534	0	69,306
Honduras (N)	617	541	131	10,543	658	12,491
Honduras (S)	264	232	56	4,519	282	5,353
Nicaragua	89	0	0	1,220	15,504	16,813
Total	51,254	56,786	14,345	20,437	18,949	161,772

Matriz de transporte de hinterland para la Importación: Atlántico (2010) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Santo Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	Total
El Salvador (E)	179	16	123	140	9	468
El Salvador (O)	17,731	1,573	12,203	13,876	918	46,301
Guatemala	715	19,158	150,550	21,894	0	192,318
Honduras (N)	229	200	1,555	91,107	244	93,335
Honduras (S)	98	86	666	39,046	105	40,001
Nicaragua	33	0	0	10,542	5,743	16,317
Total	18,984	21,033	165,097	176,606	7,019	388,739

Matriz de transporte de hinterland para la Exportación: Pacífico (2010) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Santo Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	Total
El Salvador (E)	230	1	0	11	27	269
El Salvador (O)	22,754	145	20	1,060	2,634	26,614
Guatemala	114	37,157	6,667	1,673	0	45,612
Honduras (N)	505	17	279	6,570	925	8,296
Honduras (S)	216	7	119	1,643	396	2,382
Nicaragua	68	0	0	806	5,369	6,242
Total	23,888	37,328	7,085	11,763	9,351	89,415

Matriz de transporte de hinterland para la Exportación: Atlántico (2010) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Santo Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	Total
El Salvador (E)	83	1	11	165	10	269
El Salvador (O)	8,241	53	1,094	16,293	954	26,635
Guatemala	41	13,458	172,028	25,707	0	211,234
Honduras (N)	183	6	7,195	100,946	335	108,665
Honduras (S)	78	3	3,083	25,237	144	28,545

Nicaragua	25	0	0	12,378	1,944	14,347
Total	8,652	13,520	183,411	180,725	3,387	389,695

7.4 Asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión

La potencial cuota de mercado del Puerto de La Unión y el futuro volumen de contenedores se calculan a través del Modelo Logit.

(1) Adquisición de datos sobre el tiempo y costo de tránsito actual

Los dos elementos esenciales para calcular la demanda potencial para los países de CA4 son los tiempos de tránsito y los costos de transporte marítimo y terrestre, que se calcularon en base a unos supuestos:

Tabla7.4 Costos del Transporte por TEU en 2010 (US\$)

	Acajutla	La Unión	Quetzal	Santo Tomas	Prto. Barrios	Prto. Cortés	Prto. Castilla	Corinto
Costo de Flete Marítimo								
hacia Costa Oeste de EE.UU.	1,823.53	1,266.49	1,764.71	1,188.28	1,188.17	2,000.00	1,254.76	1,304.87
desde Costa Oeste de EE.UU.	1,823.53	1,266.49	1,764.71	1,188.28	1,188.17	2,000.00	1,254.76	1,304.87
hacia Golfo de EE.UU.	1,764.71	2,115.00	1,647.06	2,115.00	2,115.00	1,647.06	2,115.00	2,058.82
desde Golfo de EE.UU.	1,764.71	2,115.00	1,647.06	2,115.00	2,115.00	1,647.06	2,115.00	2,058.82
hacia China	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00
desde China	4,411.76	2,400.00	4,411.76	2,400.00	2,400.00	5,000.00	2,400.00	4,470.59
hacia UE	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00
desde UE	3,529.41	2,400.00	2,941.18	2,400.00	2,400.00	3,235.29	2,400.00	3,470.59
THC (Cargos por uso del terminal en origen)	73.48	65.79	117.65	64.7		64.70	64.70	58.82
Transporte terrestre								
El Salvador								
Este	346.64	73.67	621.88	764.35	769.66	562.45	558.88	623.67
Oeste	127.07	269.98	402.79	560.23	565.25	604.12	520.35	429.15
Guatemala	287.04	629.68	150.51	450.66	450.66	568.68	623.45	976.88
Hondura								
Norte	680.95	495.70	786.22	233.91	233.91	88.81	86.90	746.71
Sur	614.98	274.47	1,079.59	542.82	542.82	452.33	368.56	395.74
Nicaragua	877.13	536.62	1,151.70	1,053.09	1,053.09	962.59	878.82	212.33

Tabla7.5 Tiempo de Tránsito en 2010 (días)

	Acajutla	La Unión	Quetzal	Santo Tomas	Prto. Barrios	Prto. Cortés	Prto. Castilla	Corinto
Tiempo de Tránsito Marítimo								
Costa Oeste de EE.UU.	6.90	7.38	6.76	12.09	12.09	12.11	11.55	7.55

Golfo de EE.UU.	6.57	6.33	6.74	2.60	2.59	2.67	2.36	6.09
China	24.77	25.25	24.63	29.96	29.96	29.98	29.42	25.42
UE	18.16	17.92	18.33	15.65	15.65	15.73	15.42	17.68
Tiempo de Permanencia en Puerto	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Tiempo de Tránsito Terrestre								
El Salvador								
Este	0.17	0.17	0.75	0.94	0.94	0.65	1.03	0.45
Oeste	0.31	0.17	0.32	0.63	0.63	0.80	1.37	0.84
Guatemala	0.70	1.20	0.17	0.50	0.50	0.64	1.27	1.09
Honduras								
Norte	0.76	0.30	0.88	0.26	0.26	0.10	0.59	0.84
Sur	0.69	0.60	1.21	0.61	0.61	0.51	0.68	0.44
Nicaragua	0.98	0.59	1.29	1.18	1.18	1.08	1.24	0.24

(2) La potencial cuota de mercado del Puerto de La Unión

- 1) El costo total incluyendo el valor del tiempo se calcula desde los datos arriba mencionados.
El costo es Costo de Flete Marítimo y Transporte terrestre.
- 2) Calculamos θ = Coeficiente de Costo y γ = Coeficiente de tiempo, para que la participación estimada (%) sea más cercana a la participación de 2010 (%).
- 3) Con estos datos, calculamos la Utilidad de cada Puerto y la potencial cuota de Mercado del Puerto de La Unión.

Tabla 7.6 Matriz de transporte de hinterland (con La Unión)

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2020 (Importación: Pacífico) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Santo Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	67	6	1	2	4	498	578
El Salvador (O)	30,012	2,890	289	285	2,134	10,692	46,302
Guatemala	9,802	59,481	9	0	0	14	69,306
Honduras (N)	15	1	1,029	10,995	1	449	12,490
Honduras (S)	11	0	1	8	113	5,220	5,353
Nicaragua	0	0	0	0	16,813	0	16,813
Total	39,907	62,378	1,329	11,290	19,065	16,873	150,842

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2020 (Importación: Atlántico) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Santo Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	85	23	29	61	18	253	469
El Salvador (O)	15,313	1,412	11,769	10,434	1,262	6,111	46,301
Guatemala	4,577	17,212	149,886	20,555	0	87	192,317
Honduras (N)	0	0	1,891	91,444	0	0	93,335
Honduras (S)	0	0	576	28,012	15	11,397	40,000
Nicaragua	38	0	0	10,145	5,524	610	16,317

Total	20,013	18,647	164,151	160,651	6,819	18,458	388,739
-------	--------	--------	---------	---------	-------	--------	---------

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2020 (Exportación: Pacífico) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Santo Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	18	2	0	0	0	248	268
El Salvador (O)	19,808	1,950	73	29	293	4,482	26,635
Guatemala	4,286	41,324	1	0	0	1	45,612
Honduras (N)	75	10	1,486	5,669	13	1,043	8,296
Honduras (S)	19	0	2	7	167	2,186	2,381
Nicaragua	0	0	0	0	6,242	0	6,242
Total	24,206	43,286	1,562	5,705	6,715	7,960	89,434

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2020 (Exportación: Atlántico) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Santo Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	7	0	1	13	0	248	269
El Salvador (O)	6,926	1,307	7,057	6,408	1,238	3,699	26,635
Guatemala	3,189	11,791	171,402	24,780	0	73	211,235
Honduras (N)	0	0	7,457	101,208	0	1	108,666
Honduras (S)	1	0	1,782	24,247	11	2,504	28,545
Nicaragua	27	0	0	12,134	1,905	281	14,347
Total	10,150	13,098	187,699	168,790	3,154	6,806	389,697

(3) El volumen de contenedores a futuro para el Puerto de La Unión

1) Senario 1: Cambio de competitividad debido a la diferencia de la tasa de inflación entre los países de CA4.

Determinar las diferencias de los niveles de inflación de CA4, es importante para estimar el potencial de las variaciones de la demanda debido a los cambios de inflación como son:

a) Las tasas de inflación fueron obtenidas del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) sobre la base del año 2010.

b) Los elementos fueron variados:

+ Costos marítimos: Los costos de transporte marítimo para 2020 y 2030 fueron calculados multiplicando el costo de 2010 para la inflación global en 2020 y 2030 respectivamente, y dividiendo el resultado para la inflación global del año base.

+ Costos de gestión de terminal: Los costos por uso del terminal para 2020 y 2030 fueron calculados multiplicando el costo de 2010 para la inflación de cada país en 2020 y 2030 respectivamente, y dividiendo por la inflación del país del año base.

+ Costos de transporte terrestre: Los datos de inflación fueron utilizados para los costos de transporte terrestre por país, multiplicando el costo de cada país por su respectiva inflación en 2020/2030.

+ Coeficientes: El factor de tiempo queda constante; de igual manera, el factor de costo

se adiciona al análisis de inflación del país.

La asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión en los años 2020 y 2030 se presenta abajo.

(Caso donde la capacidad del Puerto Acajutla no es limitada.)

	2010	2020	2030
Mundo	100	135.7	179.73
El Salvador	100	136.26	174.63
Guatemala	100	156.13	228.59
Honduras	100	170.93	270.93
Nicaragua	100	191.48	311.75

Tabla7.7 Asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión en los años 2020 y 2030 (Escenario 1)

Asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión en 2020 (TEU)

Puerto de La Unión	IMPORTACIÓN: Pacífico	IMPORTACIÓN: Atlántico	EXPORTACIÓN: Pacífico	EXPORTACIÓN: Atlántico
El Salvador (E)	1,006	551	499	513
El Salvador (O)	22,422	15,235	9,528	8,856
Guatemala	0	315	5	2,099
Honduras (N)	1,987	0	2,017	5
Honduras (S)	8,335	51,388	3,573	24,070
Nicaragua	6	1,908	697	792
Total	33,756	69,397	16,319	36,335

Asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión en 2030 (TEU)

Puerto de La Unión	IMPORTACIÓN: Pacífico	IMPORTACIÓN: Atlántico	EXPORTACIÓN: Pacífico	EXPORTACIÓN: Atlántico
El Salvador (E)	1,997	1,164	987	1,030
El Salvador (O)	45,726	35,768	19,467	20,529
Guatemala	178	1,243	22	6,224
Honduras (N)	385	3	3,888	3
Honduras (S)	13,268	95,934	5,747	60,650
Nicaragua	30,600	2,243	8,916	880
Total	92,154	136,355	39,027	89,316

Capítulo 8 Modelo de Recalado de Buques

Capítulo 8 Modelo de Recalado de Buques

8.1 Puertos de El Salvador

8.1.1 Perspectiva general de El Salvador

La República de El Salvador mira hacia el Océano Pacífico y tiene fronteras con la República de Guatemala y la República de Honduras. Su superficie terrestre es de 21.949 km² y con una población de 6,23 millones de personas en 2011 (datos del Banco Mundial). San Salvador es la capital. El Puerto de Acajutla mira hacia el Océano Pacífico mientras que el Puerto de La Unión está situado en el lado oeste del Golfo de Fonseca que se encuentra conectado con el Océano Pacífico a través de un canal de navegación.

Su industria principal es la confección cuyos productos se fabrican en Maquiladoras. El PIB es de US\$23.054 millones y su Per Cápita es de US\$3.728,6 en 2011 (Banco Central). El PIB ha tenido un sostenido crecimiento positivo a pesar del daño causado por un terremoto y un huracán luego del fin de la guerra civil.

Las exportaciones ascendieron a US\$5.308,8 millones (FOB) y las importaciones a US\$10.118,2 millones (CIF) en 2011. Las principales mercancías de exportación son la confección, café y azúcar, y las principales mercancías de importación consisten en materias primas y en proceso tales como el aceite, los fertilizantes, los productos al consumidor y los bienes de capital tales como los vehículos.

8.1.2 Perspectiva general de puertos de El Salvador

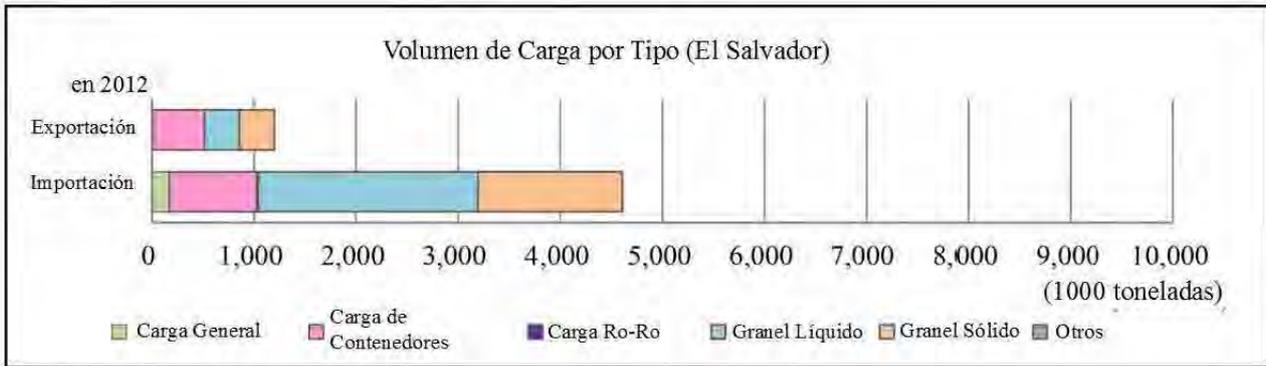
Los cuatro puertos de Acajutla, La Unión, Corsain y el de Boyas Alba Petróleos, Cenergica y RASA están enumerados en las estadísticas de COCATRAM (2012). El Puerto de Acajutla y el Puerto de La Unión son puertos comerciales gestionados por CEPA. El Puerto Corsain es un puerto para actividades pesqueras y es gestionado por CORSAIN. El puerto de Boyas Alba Petróleos, Cenergica y RASA es un puerto privado que es propiedad de Alba Petróleos.

8.1.3 Principales instalaciones portuarias

En El Salvador, no hay puertos con sistemas avanzados de carga y descarga completos. El Puerto de La Unión, que se concluyó en 2009, está programado para estar equipado con la única grúa pórtico para contenedores del país. El Puerto de Acajutla, que maneja más carga que cualquier otro puerto en el país, carga y descarga contenedores principalmente mediante una grúa de barco, sin embargo, no cuenta con una grúa pórtico de muelle.

8.1.4 Volumen de carga por tipo

En 2012, la recalada de buques en dichos puertos asciende a 742 y el volumen de carga mediante estos puertos fue de 5.806.000 toneladas. Un desglose de la carga de importación y exportación de acuerdo a su clase se muestra en la Figura 8.1. La carga de contenedores representa 42,5% de la carga de exportación y un 18,6% de carga de importación. La Tabla 8.1 muestra la tendencia de recaladas de barcos y el volumen de carga de estos cuatro puertos de 2007 a 2012.



Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

Figura 8.1 Volumen de Carga de Principales Puertos de El Salvador

Tabla 8.1 Tendencia de Recaladas de Barcos y Manejo de Carga de los Principales Puertos de El Salvador

		2007	2008	2009	2010	2011	2012
Recalada de Barcos		855	729	651	620	725	742
Volumen de Carga	Importación	1,068	1,211	980	1,204	1,119	1,199
	Exportación	5,087	4,800	3,951	4,187	4,729	4,607
	Total	6,156	6,010	4,931	5,392	5,848	5,806

Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

8.1.5 Puerto de Acajutla

(1) Perspectiva general

El Puerto de Acajutla se encuentra situado en el Oeste de El Salvador en la costa del Pacífico del Estado de Sonsonate cerca de Guatemala. Son necesarias alrededor de 2 horas de viaje en carretera desde la ciudad capital de San Salvador; aproximadamente han pasado 50 años desde que empezó a utilizarse durante la década de 1960 (véase la Figura 8.2).



Fuente: Worldatlas

Figura 8.2 Ubicación del Puerto de Acajutla

(2) Instalaciones del Puerto

El Puerto de Acajutla cuenta con tres muelles adentrándose en el Pacífico que tienen una forma de “F” (véase la Figura 8.3). El muelle A tiene una longitud total de atraque de 300 m y su profundidad es de 12 m. Es el muelle más antiguo, construido entre 1957 y 1960, que tiene ahora 50 años de edad. Es un muelle con pantallas de tablestacas, y el lado que mira hacia el océano exterior tiene una estructura continua que actúa como un rompeolas. El muelle B es un muelle de tipo abierto encima de un muelle de pilotes verticales, con una longitud de 328 m en el lado que mira hacia el océano y 345 m en el lado que mira hacia tierra. El muelle C comienza en la punta del muelle A, que es la línea superior de la forma de F. Doblado ligeramente hacia la tierra, tiene 270 m de longitud y su profundidad es de 14 m. Es una estructura tipo cajón que también actúa como un rompeolas, impidiendo que las olas ingresen al puerto interior.

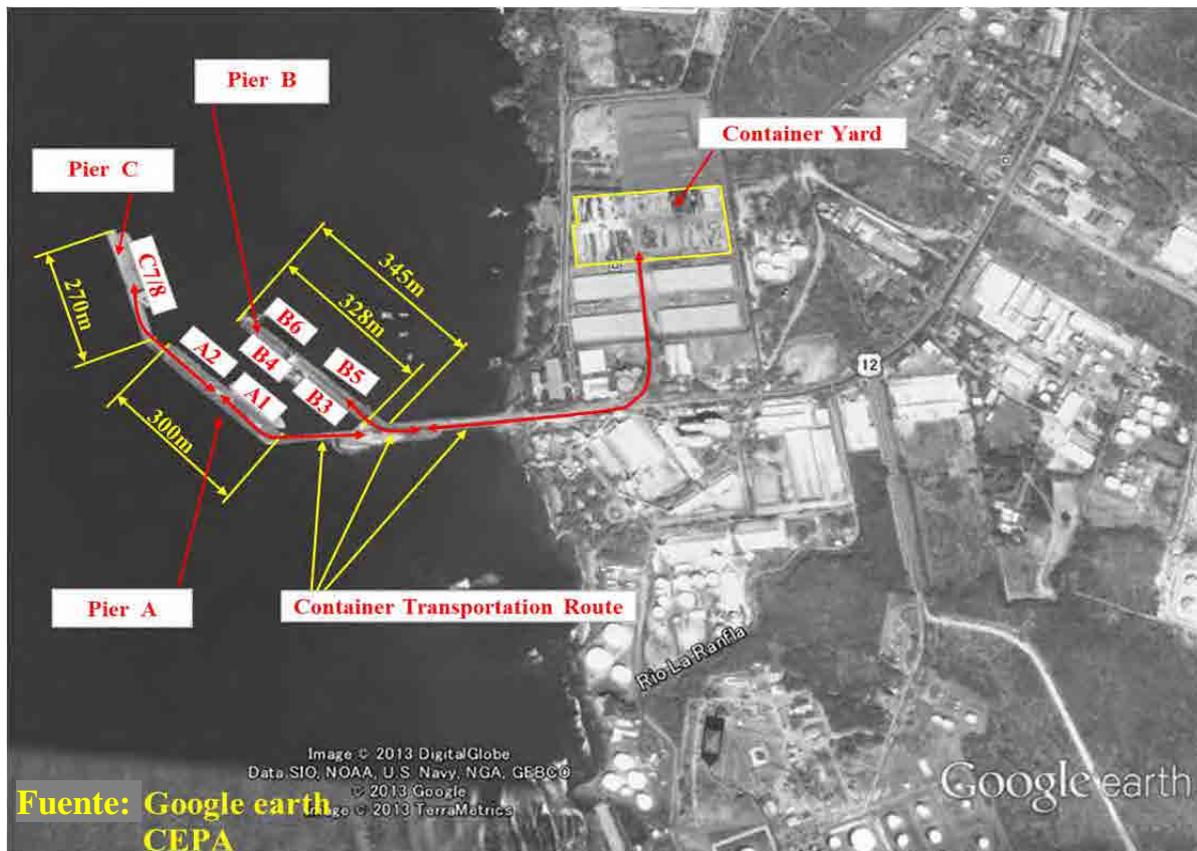


Figura 8.3 Plano del Puerto

(3) Actividades portuarias

1) Tráfico de carga

a) Carga total

La carga que maneja el puerto se clasifica en 4 categorías: carga general, carga en contenedores, granel seco y granel líquido. El volumen de carga total alcanzó 3,96 millones de toneladas en 2012, un aumento de 36% comparado con el año 2003. Las importaciones representan un 71% del comercio total, mientras que las exportaciones abarcan el 29%.

b) Carga de contenedores en TEUs

La carga de contenedores manejada en el Puerto de Acajutla alcanzó 160.000 TEU en 2012: 82.000 (51%) TEU de importaciones y 78.000 (49%) TEU de exportaciones.

Con respecto a los países socios de importación y exportación de las mercancías en carga de contenedores en 2012, los volúmenes de comercio con China (27,3%) y los Estados Unidos (25,0%) fueron altos, significando que estos dos países suministraron más de la mitad de todas las importaciones. Con respecto a principales productos de importación, el puerto importó grandes cantidades de materiales para confección, papel, neumáticos, fruta, productos enlatados y diversos artículos de los Estados Unidos, así como grandes cantidades de materiales de confección, productos de metal y aparatos eléctricos de China.

Entre los países de destino de las exportaciones, los Estados Unidos fue el primero (47,7%) seguido por China (5,6%), Taiwán (5,6%) y Corea del Sur (4,3%). Los productos más exportados a los Estados Unidos fueron confecciones, café y alimentos congelados. Las exportaciones top a Chile fueron confecciones, alimentos congelados y papel reciclado, entre otros. Para Taiwán y Corea del Sur, las exportaciones top fueron confecciones y café respectivamente.

2) Recalada de barcos

La mayoría de los buques de carga recalados en el Puerto de Acajutla fueron buques portacontenedores. Un total de 269 buques portacontenedores recalaron en 2012, seguidos por 115 buques a granel seco, 83 buques de carga general, 78 buques a granel líquido y 7 buques mixtos. Un total de 82 buques a granel líquido atracaron en la boya petrolera en el agua.

(4) Capacidad de manejo de contenedores

1) Manejo de operación de contenedores

Los muelles en el Puerto de Acajutla se construyeron hace alrededor de 50 años. Sus limitaciones estructurales impiden la instalación de grúas para manejar contenedores, por lo que los contenedores se cargan y descargan utilizando una grúa de barco. La carga y descarga de carga de contenedores se realiza principalmente en los atraques A-2, B-6 y C-7/8, donde la eficiencia de manejo de grúa de barco por hora es de: 13,5 cajas/1grúa de barco/hora. El patio de contenedores tiene un área de alrededor de 40.000 m² y su capacidad de almacenamiento es de 2.500 TEU/tiempo. El número promedio de días que los contenedores permanecen en el patio de contenedores es de 4,9 días. La proporción de contenedores vacíos es de 1% para las importaciones y 33% para las exportaciones.

2) Capacidad de manejo de los contenedores

a) Capacidad de los lados de muelle

Las tasas de ocupación de atraques de cada muelle son de 12% para el muelle A-1, de 44% para el muelle A-2, de 10% para el muelle B-3, de 23% para el muelle B-4, de 6% para el muelle B-5, de 14% para el muelle B-6 y de 58% para el muelle C-7/8. Típicamente, cuando el BOR llega a alrededor del 60%, el uso del atraque es alto y la congestión generalmente comienza; cuando el BOR supera el 65%, se necesita usualmente la construcción de un nuevo atraque.

Los atraques de los muelles A-2, B-6 y C-7/8 principalmente manejan carga de contenedores y el BOR de cada atraque es de 24%, 10% y 26% respectivamente. Sin embargo, otras cargas tales como la carga general, la carga a granel y la carga mixta se manejan en estos atraques y entonces los valores totales del BOR en cada atraque son de 44%, 14% y 58% respectivamente. El atraque

C-7/8 ya se encuentra en un estado de uso alto, sin embargo, sería difícil aumentar significativamente el volumen de contenedores manejados en el atraque B debido a la instalación de un descargador a granel con un sistema transportador hacia la mitad del muelle. El atraque A-2, sin embargo, puede todavía manejar más contenedores.

El valor del aumento estimado de contenedores en TEU se considera en base a la diferencia entre la asignación actual de atraques y el valor de límite superior del BOR (se adopta el 65%). El aumento estimado en los contenedores resulta en 36.115 TEU en el atraque A-2 y 6.054 TEU en el atraque C-7/8 significando un aumento total de 42.000 TEU. Por lo tanto, la capacidad del lado del muelle se estima en 202.000 TEU por año.

b) Capacidad de patio de contenedores

Los contenedores se manejan y almacenan en el patio de contenedores, por lo que la capacidad anual de manejo de carga de un terminal de contenedores está determinada por la capacidad de almacenamiento y la tasa de rotación de los contenedores en el patio. La capacidad anual del patio de contenedores se estima en 183.000.

La CEPA tiene previsto introducir medidas para aumentar el volumen de carga de contenedores a través del Puerto de Acajutla. Será posible garantizar la capacidad de 26.000 TEU/año mediante la reasignación de 11.000 m² de espacio no utilizado entre los almacenes en el patio como un espacio para patio de contenedores. Aumentar el número de niveles de apilamiento en el patio de 3 a 4 niveles, también, está siendo analizado. Esto aumentará la capacidad del patio a alrededor de 61.000 TEU/año, alcanzando su capacidad total en aproximadamente 270.000 TEU por año.

(5) Encuesta de diagnóstico sobre los grados de deterioro de los atraques en el Puerto de Acajutla

1) Los atraques del Puerto de Acajutla

Las características de las instalaciones portuarias en el Puerto de Acajutla se presentan en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2 Instalaciones portuarias y sus estados actuales en el Puerto de Acajutla

Atraque		Atraque A	Atraque B	Atraque C
Año de construcción		Entre 1957 y 1960	1969	Entre 1973 y 1974
Estructura		Tipo célula	Tipo pila de tubos de acero	Tipo cajón
Carga más pesada permitida		A1,2 y 3: 3,0 tonelada/m ² A4 y 5: AASHTO [*] 20-S16	B1,2 y 3: 0,815 tonelada/m ² B4: 1,56 tonelada/m ²	3,5 tonelada/m ²
Edad (años)		53	44	39
Situación actual		Se están ejecutando obras de reparación para la parte de las pantallas de acero	Actualmente ninguna reparación está programada.	Actualmente ninguna reparación está programada.
Reparación		Realizada según sea necesario	Realizada según sea necesario	Realizada según sea necesario
Estado actual	Protección catódica	Método de alimentación externa de energía	Método de alimentación externa de energía	
	Estructuras de acero	Pintando las pantallas de acero Actualmente en reparación de la parte de las pantallas de acero	Pintando las pilas de tubos de acero	
	Hormigón		Pintando en el hormigón	Pintando la superficie lateral de hormigón

*AASHTO: Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte

Fuente: CEPA, Equipo de Estudio

2) Estudio de diagnóstico sobre los grados de deterioro

a) Inspecciones visuales y de martillo

Las inspecciones visuales y de martillo se realizaron desde un bote con respecto a los cimientos de los atraques A, B y C. Un continuo óxido de color naranja rojizo se observó en las pantallas de acero en el atraque A. El óxido no se pudo observar en las pilas de tubos de acero en el atraque B. Algo parecido al óxido rojizo se observa, y se asume que esto se origina en la pintura anticorrosiva base color negro que se ha descascarado. Asimismo, no se observan ni rajaduras ni óxido de la superficie pintada del atraque C que mira hacia el mar exterior.

b) Ensayo del martillo Schmidt

La medición de la fuerza del hormigón se realizó con un martillo Schmidt sobre la viga de hormigón del cimiento de la losa del atraque A y una porción de hormigón de la plataforma en el atraque C. Los ensayos se realizaron en 15 puntos de cada lugar. Los cinco puntos donde los valores obtenidos fueron extremadamente bajos o altos fueron excluidos y luego el valor promedio se obtuvo a partir de los diez puntos restantes. Los resultados del ensayo con el martillo Schmidt son 391 kg/cm² en el muelle A, 469 kg/cm² en el borde del cimiento del muelle C y 248 kg/cm² en el centro del cimiento del muelle C respectivamente.

c) Consideración sobre la vida útil restante de las instalaciones portuarias en el Puerto de

Acajutla

Con respecto al atraque A, la CEPA realizó inspecciones periódicas como, por ejemplo, la medición del grosor de los materiales de acero y está parchando o aplicando otros métodos de reparación a fin de cumplir la norma de diseño original. Está prevista la reparación de la sección del atraque A donde el hormigón se ha despegado según el diseño original. Por lo tanto, los actuales problemas estructurales se están abordando, lo que extenderá la vida útil de las instalaciones. Los atraques B y C están bien mantenidos a pesar de la edad avanzada de sus estructuras. Es necesario continuar la gestión de mantenimiento actual en el futuro.

En consecuencia, en base a los resultados de las inspecciones y la edad de los atraques, se considera que estas instalaciones se pueden utilizar por un período de 5 a 10 años en caso que el actual sistema de mantenimiento continúe siendo observado. La CEPA no tiene un plan para la rehabilitación o ampliación de gran escala en las instalaciones existentes, sin embargo, su vida útil se puede extender a través de obras de reparación. A fin de predecir la vida restante de las estructuras de acero, se consideran como medidas eficaces la medición del grosor de los materiales de acero así como el uso de la protección catódica en la pila de tubos de acero para el atraque B. El uso de pintura anticorrosiva para proteger las estructuras de hormigón del agua de mar es una medida eficaz que ya se ha introducido. A fin de predecir la vida restante de las estructuras de hormigón, se pueden aplicar métodos que utilizan equipos para realizar pruebas no destructivas, tales como romper una parte del núcleo escogido para la medición de la profundidad de penetración del ion cloruro en el hormigón así como verificar visualmente el daño causado por la sal o la reacción álcali-sílice, entre otros.

A fin de realizar la gestión apropiada de mantenimiento de las instalaciones en el Puerto de Acajutla, es importante efectuar inspecciones periódicas (como, por ejemplo, la medición del grosor de los materiales de acero y de la profundidad de penetración de álcali-sílice en el hormigón, entre otros) y recopilar los datos obtenidos que luego se pueden usar para predecir las necesidades de mantenimiento para los próximos 10-20 años.

(6) Plano de desarrollo portuario

Con respecto a la ampliación de instalaciones portuarias en el Puerto de Acajutla, un desarrollo de gran escala está planeado; en ese sentido, ha sido propuesta la construcción de una planta de generación de energía eléctrica con capacidad de 200 MW que se alimenta con gas dentro de la zona portuaria. Este plan incluye la construcción de un gasoducto desde el muelle C a fin de suministrar gas natural como combustible.

(7) Red de carreteras de entrada y salida del Puerto de Acajutla

La red de carreteras conectadas con el puerto es una cuerda salvavidas tan importante o aún más importante que las instalaciones portuarias, ya que permite la distribución fluida de carga que maneja el puerto. Son 85 km de este puerto a San Salvador que es la ciudad capital que es también un área de industrias concentradas, 45 km a Hachadura en la frontera con Guatemala, 205 km al Puerto Quetzal en la costa del Pacífico de Guatemala, 209 km a San José en el lado Atlántico y 527 m a Santo Tomás, mientras que son 273 km a Amatillo en la frontera con Honduras y 486 km a Puerto Cortés en la Costa Atlántica de Honduras.

8.1.6 Puerto de La Unión

(1) Perspectiva General

El Puerto de La Unión se encuentra situado en el Departamento de La Unión en el extremo este de El Salvador a alrededor de 185 km desde la capital, donde mira hacia el Golfo de Fonseca. Se espera que se convierta en una base que estimulará el desarrollo industrial en el parte oriental de El Salvador a fin de acelerar su economía perezosa. Se ha desarrollado como un nuevo puerto que tiene el manejo de contenedores como su función principal. Financiada por préstamos en yenes otorgados por Japón, su construcción comenzó en abril de 2005 y fue concluida en 2009. El puerto se abrió en 2010.

(2) Instalaciones del puerto

El Puerto de La Unión consiste en un atraque para contenedores (longitud total de 340 m y profundidad de 14 m), en un atraque multipropósito (longitud total de 220 m y profundidad de 14 m) y en un atraque para pasajeros (longitud total de 240 m y profundidad de 9,5 m). (véase la Figura 8.4).

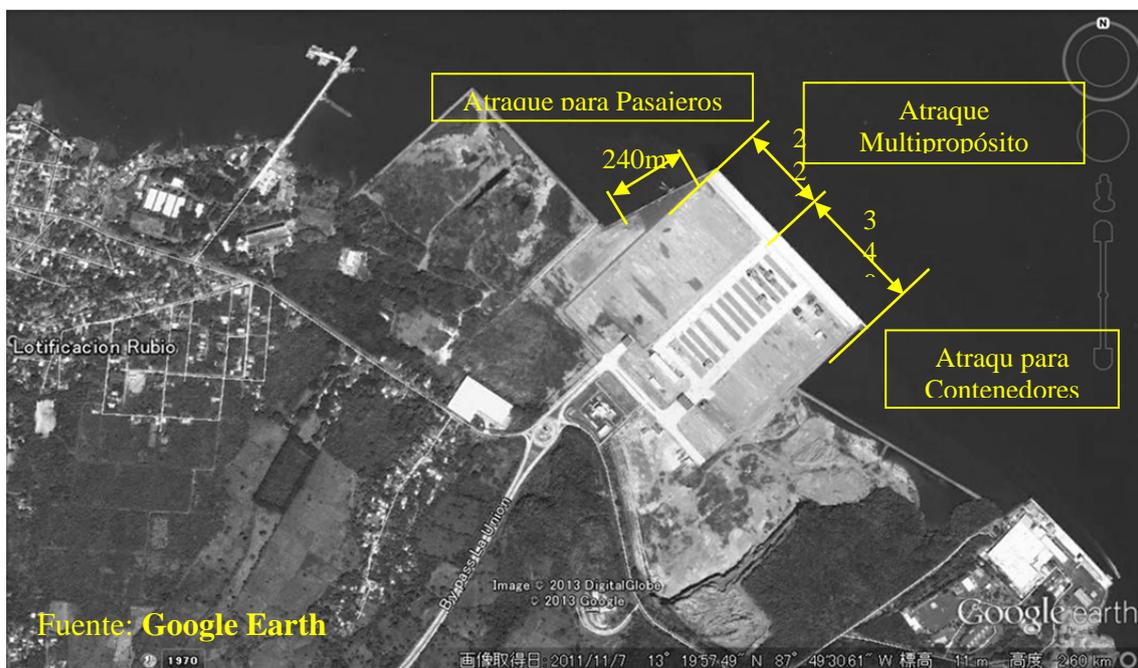


Figura 8.4 Plano del Puerto de La Unión

(3) Actividades portuarias

El Puerto de La Unión comenzó a operarse en 2010. Ofreció el servicio regular de buques portacontenedores, sin embargo, a finales de 2012 fue difícil para los buques portacontenedores visitar el puerto. Como resultado de la sedimentación, que ha sido una preocupación desde el tiempo de su construcción, la profundidad del pasaje se ha reducido.

1) Tráfico de carga

El Puerto de La Unión comenzó a manejar carga en 2010. Después de que los buques portacontenedores dejaron de recalar en los puertos en diciembre de 2012, los graneleros transportando fertilizante visitaron el puerto una vez a la semana. En 2010, el rendimiento total

de importación y exportación alcanzó 19.670 toneladas. En 2012, subió a 42.820 toneladas y a 118.424 toneladas en 2012, sin embargo, esto es una cantidad pequeña.

La operación de contenedores en el Puerto de La Unión comenzó en 2010, y el tráfico de contenedores era de 886 TEU en ese año, seguido por 3.958 TEU en 2011 y 18.398 TEU en 2012. La operación terminó en diciembre de 2012, y desde entonces ningún buque portacontenedor ha recalado en el puerto. En este momento, un buque a granel seco que transporta fertilizante recalca una vez a la semana.

2) Recalada de barcos

En 2012, 57 buques de carga recalaron en el Puerto de La Unión. La mayoría (48) fueron buques portacontenedores, seguidos por 5 buques de carga general y 4 buques a granel seco. El tipo promedio de buques portacontenedores fue de 18.600 DWT llevando de 1.000 a 1.200 TEU. De manera similar, el buque promedio a granel seco fue de 37.000 DWT y el promedio buque de carga general fue de 2.200 DWT.

(4) Plano de desarrollo portuario

El plan maestro para el Puerto de La Unión consta de cuatro fases, de la Fase I a la Fase IV. La Fase I que está ahora en curso, será seguida por la Fase II ampliando el puerto al Sudeste, y luego por la Fase III que será una ampliación en dirección opuesta al Noroeste. La Fase IV extenderá aún más la ampliación Sudeste construida en la Fase II. Está previsto que la capacidad de manejo de carga de los contenedores sea de 750.000 TEU después de la Fase I, y 2.500.000 TEU después de la Fase III.

8.2 Puertos de los países CA5 en la costa del Pacífico

A fin de comprender las características de cada puerto y qué estos puertos tienen en común, se resume: la situación económica de los países CA5, la ubicación de los puertos a lo largo del Océano Pacífico, las condiciones físicas de los puertos, la descripción de recalada de barcos y manejo de carga, el manejo de contenedores, la gestión y operación y el futuro desarrollo de los puertos.

8.2.1 Indicador básico

Las superficies terrestres de Guatemala, Honduras y Nicaragua exceden más de 100.000 km². La superficie terrestre de Costa Rica que es de alrededor de 50.000 km² es aproximadamente la mitad de dichos tres países, aunque la superficie terrestre de El Salvador que es alrededor de 20.000 km² es menos de la mitad de Costa Rica.

Guatemala tiene la población más grande de 15 millones, seguido por Honduras (7,75 millones), El Salvador (6,23 millones), Nicaragua (5,87 millones) y Costa Rica (4,72 millones).

Los PIB de Guatemala y Costa Rica exceden US\$40 billones. El de El Salvador es de alrededor de US\$20 billones. Y el de Honduras es de alrededor de US\$17 billones. El PIB de Nicaragua es de US\$7 billones. El per cápita de Costa Rica supera los US\$8.000. El Salvador y Guatemala están a nivel de US\$3.000, aunque Honduras está a nivel de US\$2.000 y Nicaragua está a nivel de US\$1.000.

8.2.2 Condiciones de ubicación

Se encuentran seis puertos de contenedores a lo largo del Océano Pacífico de los países del CA5: Puerto Quetzal (Guatemala), Puerto de Acajutla (El Salvador), Puerto de la Unión (El Salvador), Puerto San Lorenzo (Honduras), Puerto Corinto (Nicaragua) y Puerto Caldera (Costa Rica).

El Puerto de Acajutla, el Puerto Corinto y el Puerto de La Unión se encuentran lejos de las capitales de los países aunque los otros puertos están situados a menos de 100 km de las ciudades capitales.

Los puertos al lado del Puerto Corinto y el Puerto Quetzal están situados a menos de 15 km de carreteras principales.

Las distancias entre el Puerto de Acajutla y la frontera con Guatemala, el Puerto de La Unión y la frontera con Honduras y el Puerto San Lorenzo y la frontera con El Salvador son de aproximadamente 50 km aunque las distancias entre otros puertos y las fronteras son de 100 km a 400 km;

Los puertos de los países del CA5 en la costa del Pacífico se sitúan a una distancia de navegación de un día con una velocidad de 20 nudos. Las distancias náuticas entre puertos en la costa del Pacífico de los países del CA5 y el Puerto de Manzanillo en México o el Puerto de Balboa en Panamá, los cuales son puertos hub internacionales en la costa del Pacífico de la región de América Central, son aproximadamente de dos a tres días o uno a dos días con una velocidad de 20 nudos respectivamente.

8.2.3 Condiciones físicas

El Puerto Quetzal es un puerto tipo excavado con muelles y patios ubicados en varias áreas. El

Puerto de Acajutla tiene varios muelles con forma de dedos y una superficie terrestre para almacenamiento de carga. El Puerto de La Unión es un nuevo puerto desarrollado con varios atraques y grandes patios traseros por recuperación en la Bahía de Fonseca. El Puerto San Lorenzo tiene un muelle separado con forma de T y superficie terrestre para almacenamiento de carga, y está situado en la Bahía de Fonseca. El Puerto Corinto se encuentra en el lado interno de la península y tiene un muelle marginal con un patio trasero para almacenamiento de carga.

El Puerto de La Unión y el Puerto de San Lorenzo que se ubican en la Bahía de Fonseca cuentan con un largo canal de aproximación;

Según la Guía para Entrada en Puertos publicada por Shipping Guides Ltd., que proporciona información útil para aquellos que pretenden entrar a un puerto, la profundidad de los muelles para buques portacontenedores en cada puerto son de 11,0 m en el Puerto Quetzal, de 8,00 m a 12,00 m en el Puerto de Acajutla, de 10,70 m en el Puerto San Lorenzo, de 10,30 m a 11,30 m en el Puerto Corinto y de 7,50 a 11,0 m en el Puerto Caldera. El calado máximo de buques que se puede acomodar es de 11,1 m (MLSW) en el Puerto Quetzal, de 11,89 m en el Puerto de Acajutla, de 9,45 m (MLW) en el Puerto San Lorenzo, de 11,15 m en el Puerto Corinto y de 10,0 m en el Puerto Caldera. La información sobre la nuevo Puerto de La Unión no está incluida en la Guía.

Muchos contenedores se cargan y descargan en muelles que no se dedican al manejo de contenedores. Todos los puertos menos el Puerto Corinto no tienen grúas pórtico y la grúa en el Puerto Corinto está fuera de servicio actualmente. La capacidad de patio de cada puerto es de 1.974 TEU en el Puerto Quetzal, 3.753 TEU en el Puerto de Acajutla, 1.500 TEU en el Puerto Corinto y 700 TEU en el Puerto Caldera.

8.2.4 Gestión y operación portuaria

El Puerto de Acajutla y el Puerto de La Unión son gestionados por la Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma (CEPA), aunque el Puerto San Lorenzo y el Puerto Corinto son gestionados por la Empresa Nacional Portuaria (ENP) y por la Empresa Portuaria Nacional (EPN) respectivamente. CEPA, ENP y EPN son las agencias gubernamentales responsables de la gestión y operación de los puertos en cada país. El Puerto Quetzal es gestionado por la Empresa Portuaria Quetzal (EPQ) que es una agencia gubernamental. EPQ es responsable de la gestión y operación del Puerto Quetzal, sin embargo, un nuevo terminal de contenedores será construido y operado por una compañía privada a través de un contrato de concesión. Con respecto al Puerto Caldera, el Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico (INCOP) que es una agencia gubernamental juega un papel de regulador de dicho puerto. El Puerto Caldera SPC y el Puerto Caldera SPGC son consorcios de una empresa Costarricense y una empresa Colombiana, y son responsables de la operación portuaria a través de un contrato de concesión.

Cada puerto está abierto 24 horas, sin embargo, el Puerto de La Unión, el Puerto San Lorenzo y el Puerto Corinto imponen restricciones en el uso portuario de acuerdo a las condiciones de la marea.

8.2.5 Características de los puertos

En 2012, 1.47 barcos recalaron en el Puerto Quetzal, 552 en el Puerto de Acajutla, 57 en el Puerto de La Unión, 190 en el Puerto San Lorenzo, 403 en el Puerto Corinto y 611 en el Puerto Caldera. El número total de buques que recalaron en estos puertos fue de 3.059 en 2012.

Los buques portacontenedores representan la proporción más grande entre todos los tipos de

buques, en todos los puertos a excepción del Puerto San Lorenzo.

El Puerto Quetzal y el Puerto Caldera reciben todas clases de buques menos los petroleros. El Puerto de Acajutla, también, recibe a casi todas clases, sin embargo, los buques frigoríficos, petroleros y cruceros no utilizan el puerto. En el Puerto San Lorenzo, la mayoría de recaladas son de buques Ro-Ro, buques a granel sólido y petroleros. El Puerto Corinto recibe muchos buques convencionales.

El volumen de manejo de carga del Puerto Quetzal para 2012 fue de 11.258.000 toneladas (8.560.000 toneladas de importación y 2.698.000 toneladas de exportación), mientras que en el Puerto de Acajutla dicho volumen fue de 5.096.000 toneladas (3.967.000 toneladas de importación y 1.129.000 toneladas de exportación). En el Puerto de La Unión el mismo fue de 118.000 toneladas (52.000 toneladas de importación y 66.000 toneladas de exportación), mientras que en el Puerto San Lorenzo fue de 3.903.000 toneladas (2.395.000 toneladas de importación y 1.598.000 toneladas de exportación). En el Puerto Corinto dicho volumen fue de 3.439.000 toneladas (2.750.000 toneladas de importación y 689.000 toneladas de exportación), mientras que en el Puerto Caldera fue de 4.732.000 toneladas (4.032.000 toneladas de importación y 700.000 toneladas de exportación). El volumen total de carga manejada en estos puertos para 2012 fue de 28.546.000 toneladas (21.756.000 toneladas de importación y 6.790.000 toneladas de exportación).

Los volúmenes de carga de exportación son más grandes que los volúmenes de carga de importación en todos los puertos en 2012. El porcentaje del volumen de carga de exportación de cada puerto es del 76,0% para el Puerto Quetzal, 77,8% para el Puerto de Acajutla, 61,3% para el Puerto San Lorenzo, 79,9% para el Puerto Corinto y 85,2% para el Puerto Caldera.

Las clases dominantes de carga de cada puerto son:

Granel sólido importado y exportado, y contenedores exportados para el Puerto Quetzal;

Granel sólido importado y exportado, contenedores exportados y granel líquido exportado para el Puerto de Acajutla;

Granel líquido importado y granel sólido exportado para el Puerto San Lorenzo;

Granel líquido importado, granel sólido importado y exportado, y contenedores exportados para el Puerto Corinto; y

Contenedores importados y exportados, y granel sólido importado para el Puerto Caldera

8.2.6 Características del Manejo de los Contenedores

El tráfico de contenedores del Puerto Quetzal para 2012 fue de 324.507 TEU, mientras que en el Puerto de Acajutla el mismo fue de 160.981 TEU. En el Puerto de La Unión dicho tráfico fue de 13.398 TEU, aunque en el Puerto Corinto fue de 89.538 así como en el Puerto Caldera fue de 184.315 TEU. El tráfico total de contenedores de estos puertos para 2012 fue de 777.379 TEU.

Los ratios de contenedores vacíos son aproximadamente de una cuarta a tercera parte. Los porcentajes de contenedores vacíos en todos los contenedores de carga son altos, tales como 53,8% en el Puerto de Acajutla, 47,5% en el Puerto Corinto, 41,9% en el Puerto Caldera y 33,2% en el Puerto Quetzal.

El Puerto Quetzal y el Puerto Corinto manejan contenedores de tránsito y de transbordo. El Puerto de Acajutla maneja contenedores de transbordo.

8.2.7 Futuro Desarrollo y Mejora

El Puerto Quetzal tiene un plan para desarrollar un nuevo terminal de contenedores. Dicho terminal está programado a abrirse al lado del atraque comercial existente en 2015 (Fase I). Un atraque de 540 m de largo con una profundidad de 14,5 m y cuatro grúas pórtico (de 300 m en Fase I) se construirá por el Terminal de Contenedores de Barcelona (TCB) a través de un contrato de concesión. El volumen de contenedores a que se aspira es de 150.000 TEU en 3 a 5 años y de 450.000 a 600.000 TEU en 5 a 10 años. Existe otro proyecto para ampliar el atraque comercial existente a un atraque multipropósito con 400 m de longitud. El Puerto Quetzal pretende convertirse en el puerto de transbordo en la región de América Central y Sur de México.

El Puerto de Acajutla tiene un plan para mejorar la carretera de acceso y ampliar la capacidad de patio de contenedores, cumpliendo con las necesidades urgentes.

El Puerto de La Unión planifica mejorar el canal. Además, los procedimientos de contratación de concesión se encuentran en proceso.

La Oficina de ENP en el Puerto San Lorenzo tiene un plan para profundizar el canal hasta 11 m.

La EPN planea dragar el canal exterior del Puerto Corinto en 2014. Se estima que el volumen alcanzará 5,6 millones de m³. El costo del dragado fue de US\$12 por m³ en la obra anterior, sin embargo, se estima que costará entre US\$5 y US\$7 por m³ esta vez porque se espera que el costo de vertido y el costo de movilización de los barcos serán menores que en la vez anterior. Además del dragado, la EPN desea mejorar el muelle Sur que no se utiliza actualmente. La grúa de muelle que está fuera de servicio será reparada. La productividad de una grúa pórtico es de 18 a 22 cajas por hora. La productividad de un aparejo de barco es de 13 a 15. Debido al costo elevado por uso, sólo Maersk utilizó la grúa pórtico. El Puerto Corinto tiene la posibilidad de introducir un sistema de concesión en el futuro de acuerdo a ley.

En el Puerto Caldera, un nuevo atraque para carga a granel con 180 m de longitud y 13 m de profundidad está en construcción. El proyecto fue planeado por el INCOP y se está ejecutando por la SPGC. Con respecto a la obra de dragado, el gobierno es responsable de mejorar y mantener el canal y la cuenca, y la SPC es responsable de dragar la zona frente a los atraques.

8.3 Actividades de Contenedores de la Región de América Central

8.3.1 Movimiento de los buques portacontenedores en la región de América Central

El movimiento de contenedores de la región de América Central ha venido aumentando y el tráfico de contenedores de los puertos en la región refleja dicha situación. El número de contenedores manejados en los puertos de Centroamérica ha venido creciendo constantemente en estos diez años y el número total de contenedores manejados en estos veintidós puertos ha superado los 10 millones de TEUs desde 2008.

El tráfico de contenedores de los puertos de Cristóbal, Balboa y Manzanillo muestra cifras distintas. Estos puertos funcionan como puertos hub internacionales y sus actividades han venido aumentando. Otra característica distintiva es el aumento del tráfico de contenedores en los puertos en la costa del Pacífico. Dicho tráfico representó un cuarto del tráfico de contenedores en los puertos en la costa del Mar Caribe en 2001. Sin embargo, el tráfico de contenedores de los puertos a lo largo de la costa del Océano Pacífico en 2010 superó al tráfico de los puertos en la costa del Mar Caribe.

Según el Banco de Datos sobre Buques Portacontenedores de MDS proporcionado en mayo de 2013 por MDS Transmodal Inc. (de aquí en adelante referida como MDS), treinta y un buques se usan en el servicio a los puertos en la costa del Pacífico de los países del CA5. El buque más grande tiene 5.040 TEU de capacidad y el buque más pequeño tiene 860 TEU.

Los puertos de los países del CA5 en la costa del Pacífico reciben principalmente buques con menos de 11,0 m de calado a carga completa. Buques más grandes con más de 13,0 m de calado a carga completa pueden recalcar en los puertos cuando estos buques entran al puerto en condiciones de media carga.

La Tabla 8.3 presenta los cambios en el número de los servicios de contenedores que recalcan en los puertos (MDS: mayo de 2010, febrero de 2012 y mayo de 2013). Aunque el número de servicios en total disminuyó de 13 a 9 entre mayo de 2010 y mayo de 2013, el número de los servicios que ofrecieron navegación colectiva aumentó de 3 a 6. Asimismo, el número de compañías navieras que fletaron espacios aumentó de 1 a 4.

Varios tipos de buques portacontenedores con capacidad de 204 TEU a 4.420 TEU se usaron en cada servicio. Los buques portacontenedores que recalcaron en el Puerto de Acajutla tuvieron capacidad de 905 TEU a 2.517 TEU. La capacidad promedio es de 1.577 TEU. Los buques portacontenedores de la clase de 4.000 TEU recalcaron en el Puerto Quetzal. Estos buques portacontenedores manejan carga Asiática que se transborda en el Puerto Quetzal.

Fuente: elaborado a partir del Banco de Datos de MDS

MDS, mayo de 2010

Puerto de Recalada (CA – lado del Pacífico)	Servicio	Compañía naviera	TEU promedio de buques porta-contenedores	Frecuencia del servicio
Acajutla	-	APL	830	52
Puerto Quetzal				
Acajutla	ANDEX 2	CSAV	1,695	52
Caldera				
Acajutla	ACSA	CMA-CGM	2,516	52
Puerto Quetzal		CSCL		
Corinto		CCNI (Fletamento de espacio)		
Acajutla	MAREX	NYK	1,610	52
Puerto Quetzal				
Corinto				
Caldera				
Acajutla	MAYA	MSC	1,232	26
Puerto Quetzal				
Caldera				
Balboa				
Acajutla	WCCA	MAERSK LINE	1,695	52
Puerto Quetzal				
Corinto				
Caldera				
Balboa				
Puerto Quetzal	NACSA	CCNI CSAV HAMBURG-SUD	1,892	52
	ALPALGA	CCNI MSC HAMBURG-SUD	4,184	52
	MPS	HAPAG-LLOYD	2,336	33
	WC	GREAT WHITE FLEET	204	52
	ALEX	NYK	2,706	52
Puerto Quetzal	PUMA	MSC	2,350	52
Caldera				
Balboa				
Puerto Quetzal	MXP	HAPAG-LLOYD	2,211	26
Caldera				
Total de servicios				13
El número de servicios que recalán en el Puerto de Acajutla				6
El número de servicios que recalán en el Puerto Quetzal				12

MDS, febrero de 2012

Puerto de Recalada (CA – lado del Pacífico)	Servicio	Compañía naviera	TEU promedio de buques porta-contenedores	Frecuencia del servicio
Acajutla	MCX/WECA	APL	1,100	52
Puerto Quetzal	2	HAMBURG-SUD		
Acajutla	ACSA	CMA CGM	1,000	52
Puerto Quetzal		MSC		
Corinto		CSAV		
Caldera	WCCA	MAERSK LINE	2,504	52
Balboa		MSC (Fletamento de espacio)		
Acajutla	MAREX	NYK	1,458	52
Puerto Quetzal				
Corinto				
Caldera				
Acajutla	MXC	CFS	1,304	26
Puerto Quetzal		HAPAG-LLOYD (Fletamento de espacio)		
Caldera				
La Unión	WCX/WECA	APL	1,324	52
Puerto Quetzal		HAMBURG-SUD		
Caldera				
Balboa				
Puerto Quetzal	WC	GREAT WHITE FLEET	2,625	36
	WAMS	HAMBURG-SUD	1,982	52
	CCNI			
	MXP	HAPAG-LLOYD	2,294	26
Puerto Quetzal	WCSA	DOLE	910	52
Caldera				
Total de servicios				10
El número de servicios que recalán en el Puerto de Acajutla				5
El número de servicios que recalán en el Puerto de La Unión				1
El número de servicios que recalán en el Puerto Quetzal				10

MDS, mayo de 2013

Puerto de Recalada (CA – lado del Pacífico)	Servicio	Compañía naviera	TEU promedio de buques porta-contenedores	Frecuencia del servicio
Acajutla	WCX	APL	1,310	52
Puerto Quetzal				
Balboa				
Acajutla		CMA-CGM	1,553	52
Puerto Quetzal	TIKAL/WCCA	CSAV		
Corinto				
Caldera				
Acajutla	MAREX/CCF	NYK	2,517	52
Puerto Quetzal		HAPAG-LLOYD		
Corinto				
Caldera				
Acajutla	WCCA	MAERSK LINE	1,922	52
Puerto Quetzal		MSC (Fletamento de espacio)		
Corinto		Evergreen (Fletamento de espacio)		
Balboa				
Acajutla	WCA	Evergreen	905	52
Puerto Quetzal		X-Press Feeders		
San Lorenzo		Hamburg-Sud (Fletamento de espacio)		
Corinto				
Caldera				
Puerto Quetzal	WSA2	COSCO	4,420	46
		Evergreen		
		PIL		
		WAN HAI		
Puerto Quetzal	WCSA	DOLE	910	52
Caldera				
Puerto Quetzal	WAMS	Hamburg-Sud	1,820	52
Balboa		CCNI		
		Great White Fleet (Fletamento de espacio)		
Caldera	PAN/CHL	MAERSK LINE	1,122	52
Balboa				
Total de servicios				9
El número de servicios que recalán en el Puerto de Acajutla				5
El número de servicios que recalán en el Puerto Quetzal				8

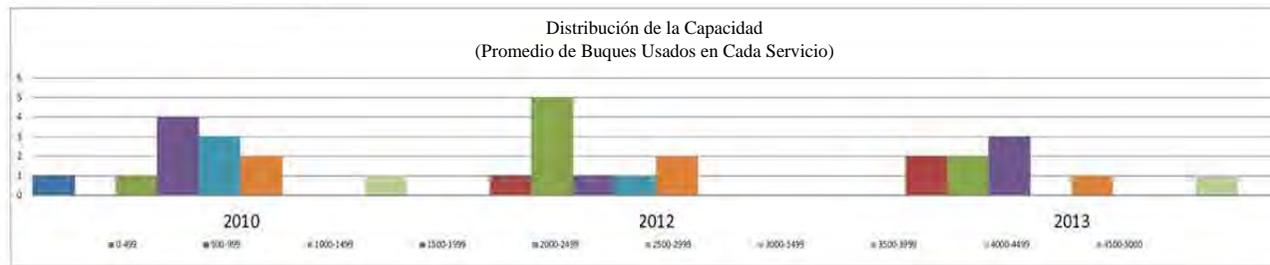


Tabla 8.3 Cambios en el número de los servicios de contenedores que recalán en los puertos

8.3.2 Opiniones de operadores de transporte marítimo

(1) Perspectiva General sobre el transporte de contenedores en la costa del Pacífico de los países del CA5

Se realizaron entrevistas con agentes marítimos, expedidores y otras organizaciones que se encuentran en El Salvador y sus países vecinos. Los puntos principales captados a través de las entrevistas se resumen como sigue:

- a) Cada operador de transporte marítimo desarrolla sus negocios en base a su propia política, sin embargo, casi todos los operadores tienen la opinión de que los puertos de los países del CA5 en la costa del Pacífico se están posicionando como puertos de alimentador en las redes de contenedores basadas en México o Panamá.
- b) Muchos operadores brindan servicios semanales a los Puertos Quetzal, de Acajutla, Corinto y Caldera. Sin embargo, algunos operadores seleccionan uno u unos puertos como puertos de recalada según el volumen previsto de carga. Existen servicios que omiten el Puerto Caldera debido a problemas en la asignación de los atraques.
- c) Muchos servicios se operan conjuntamente por algunas compañías porque el volumen de carga que un operador puede recoger no es suficiente por sí solo.
- d) Varios tamaños de buques portacontenedores se usan en el servicio de esta región. El más grande es uno de la categoría de 2.800 TEU (LOA: 200 m, Calado: 11 m), y el más pequeño es de 670 TEU (Calado 8,5 m). Varios operadores de transporte marítimo consideran que el tamaño de los buques usados en esta región no se verá afectado por el proyecto de la tercera esclusa del Canal de Panamá.
- e) Todos los operadores señalan que el mercado de América Central es pequeño y no se expandirá rápidamente en un futuro próximo. La mayoría de la carga que se importa o exporta a la UE y América del Norte y del Sur utiliza puertos en la costa del Caribe. Dicha carga a menudo no se transporta mediante el Canal de Panamá.
- f) Procedimientos complicados en las fronteras así como en los puertos son remarcados por varios operadores.

(2) Comentarios sobre Cada Puerto

a) Puerto de Acajutla

Varios problemas fueron señalados: i) se observó que un buque tenía que esperar entrar al puerto debido al oleaje; ii) el muelle A tiene un problema de seguridad durante el mal tiempo porque el muelle es abierto al mar; iii) las condiciones de los atraques para los buques portacontenedores no son satisfactorios; iv) la profundidad de los muelles (10 m) es insuficiente para buques más grandes; v) los buques Ro-Ro de vez en cuando se ven obligados a esperar por una marea adecuada para establecer un camino de rampa y los buques no pueden entrar en el puerto cuando se observa oleaje entre marzo y abril así como entre agosto y setiembre; vi) cinco carretillas pórtico no pueden trabajar simultáneamente en el patio de contenedores, lo que conlleva a una operación ineficaz; vii) las condiciones físicas de las instalaciones del Puerto de Acajutla están envejecidas; viii) el muelle B3 no tiene espacio suficiente para el manejo de carga a causa de una

cinta transportadora; ix) existen de 140 a 160 enchufes reefer, sin embargo, más enchufes son necesarios; x) el puerto tiene un problema con el suministro de energía; y xi) algunos graneleros tienen que esperar por una marea alta.

Por otro lado, la mayoría no tuvo ningún problema con la manera en que la CEPA manejó el puerto. Sin embargo, se señaló que los procedimientos administrativos de aduanas, la autoridad de las cuarentenas y la policía requieren mucho tiempo; la inspección de un contenedor toma demasiado tiempo porque tanto las aduanas como la policía realizan sus funciones propias. La tasa de inspección de muestra por aduanas es de alrededor de 16% (contenedores de importación y exportación) y la misma tasa por la policía es de 6% (contenedores de importación). El tiempo real de inspección es de alrededor de cuatro horas, sin embargo, puede a veces tomar de uno a tres días incluyendo el tiempo de espera. No obstante, casi todas las compañías navieras no creen que las cargas cambiarán del Puerto de Acajutla al Puerto Quetzal después de la inauguración de un nuevo terminal de contenedores debido a varios problemas tales como el de la seguridad y el de la frontera cuando la carga de y a El Salvador use el Puerto Quetzal.

b) Puerto de La Unión

(opiniones negativas y positivas)

La mayoría de compañías navieras manifestaron que si la CEPA decide que el manejo de carga de contenedores debe cambiarse al Puerto de La Unión, ellas tendrían que aceptar la decisión. Sin embargo, ninguna compañía naviera cambiará al Puerto de La Unión por su propia voluntad. Las principales desventajas del Puerto de La Unión se encuentran en el alto costo de transporte debido a la larga distancia al puerto, la escasez de área de inspección y un canal de poca profundidad. Asimismo, sería arriesgado que una compañía naviera inicie un negocio de contenedores en una región nueva; uno de los problemas es que el área principal donde la mayoría de carga se produce y consume está situada cerca del Puerto de Acajutla (tal como San Salvador) en lugar del Puerto de La Unión. Además, el volumen de carga de El Salvador no es suficientemente grande como para recalar en ambos puertos. Por lo tanto, en el presente, algunas compañías navieras consideran que no existe ninguna ventaja en usar el Puerto de La Unión.

Sin embargo, existen algunas opiniones positivas de las compañías navieras. Por ejemplo, algunas compañías navieras dijeron que si el Puerto de La Unión podría proporcionar un canal de una cierta profundidad, existe la posibilidad de que el Puerto de La Unión podría reemplazar como puerto de transbordo al Puerto de Manzanillo (México) que siempre está congestionado. Asimismo, el Puerto de La Unión es fácil de usar y no se encuentra bajo gestión burocrática. Desde el punto de vista de seguridad y vigilancia, el Puerto de La Unión tiene una ventaja sobre el Puerto de Acajutla. Por lo tanto, el Puerto de La Unión podría ser utilizado si el puerto brinda buenos servicios tales como equipos suficientes, alta eficiencia o procedimientos que permitan ahorrar tiempo.

Para algunas compañías navieras, la profundidad del canal no es un factor crucial y las grúas de muelle no se requieren en caso que buques pequeños con aparejos de barcos sean utilizados. Un operador de transporte marítimo ha manifestado su interés en el Puerto de La Unión por sus características modernas. Los problemas existentes pueden superarse con el uso de un buque de calado pequeño con grúas.

(Solicitudes y Propuestas)

Algunas compañías navieras expresaron que si el Puerto de La Unión pudiera ofrecer un buen servicio que reduzca costos de operación, almacenamiento y transporte terrestre y asimismo hubiera suficiente carga potencial, ellas examinarían la recalada en dicho puerto. Algunas compañías solicitaron que la CEPA redujera la tarifa del Puerto de La Unión para compensar el alto costo de transporte terrestre o introdujera una tarifa especial para el transporte terrestre entre San Salvador y el Puerto de La Unión.

Algunas compañías navieras insistieron que la profundidad del canal debe ser de 12 m como mínimo, porque 12 m de profundidad constituye el nivel umbral desde el punto de vista de una compañía naviera. Por otro lado, otras compañías manifestaron que la profundidad necesaria del canal es de 11,0 a 11,5 m porque ellas pueden aprovechar de la ventaja de la marea de 2 m.

Muchas compañías, también, solicitaron que una Grúa Pórtico sea instalada. Algunas compañías remarcaron la necesidad de introducir procedimientos sistemáticos relacionados con el puerto. Las compañías navieras desean no sólo bajo costo sino también una eficacia invariable. El ahorro de tiempo aumenta las ganancias.

(3) Requisitos para el Análisis del Modelo según las Perspectivas de las Compañías Navieras

Estas opiniones de operadores de transporte marítimo proporcionan información necesaria para esbozar escenarios (es decir, la configuración de futuras redes de transporte de contenedores marítimos) en las simulaciones que se describen en el Capítulo 10. Asimismo, de los hallazgos de la encuesta por entrevistas a los operadores de transporte marítimo, se adquiere o ratifica el conocimiento básico que tienen los países del CA4 sobre el transporte de contenedores, el cual apoya el desarrollo de un modelo y la preparación de datos de input, como se resume a continuación:

a) Función de los puertos en la costa del Pacífico y la costa del Mar Caribe

Las cargas de y a Asia así como de y a la costa Oeste de América del Norte y del Sur se importan o exportan principalmente a través de los puertos en la costa del Pacífico de rutina. Por otro lado, las cargas de y a Europa así como de y a la costa Este de América del Norte y del Sur se importan o exportan principalmente a través de los puertos en la costa del Mar Caribe de rutina. Asimismo, las cargas de y a los países del CA5 no se transportan mediante el Canal de Panamá de rutina.

b) Idea básica sobre la relación entre el transporte terrestre (transporte trasfronterizo) y el transporte marítimo (que usa puertos)

Las cargas producidas y consumidas en un país se exportan o importan fundamentalmente a través de los puertos del mismo país. Sin embargo, la mayoría de las cargas de El Salvador de y a Europa así como de y a la costa Este de América del Norte y del Sur se importan o exportan a través de los puertos de Honduras (Puerto Cortés) y de Guatemala (Puerto Barrios y Puerto de Santo Tomás de Castilla) porque El Salvador no tiene costa a lo largo del Mar Caribe. Asimismo, algunas cargas de Nicaragua de y a Europa así como de y a la costa Este de América del Norte y del Sur se importan o exportan a través de los puertos de Honduras (Puerto Cortés) y de Costa Rica (Puerto Limón) porque Nicaragua no tiene puertos costeros grandes a lo largo del Mar

Caribe. Por otro lado, algunas cargas de Honduras de y a Asia así como de y a la costa Oeste de América del Norte y del Sur se importan o exportan a través de los puertos a lo largo de la costa del Pacífico de los países vecinos tales como el Puerto de Acajutla y el Puerto de La Unión porque existen sólo puertos pequeños tal como el Puerto San Lorenzo en Honduras a lo largo de la costa del Pacífico.

c) Patrones existentes y potenciales de la red de transporte marítimo

Los servicios existentes de transporte marítimo en la costa del Pacífico de los países del CA4 que brinda cada compañía naviera se clasifican en tres patrones: específicamente, i) servicio de enlace de la red de servicios con base en los puertos de la costa Oeste de México o América del Norte en que los buques recalán en los puertos de todos los países; ii) servicio de enlace de la red de servicios con base en puerto panameño en que los buques recalán en los puertos de todos los países; y iii) servicio de “puerto de escala” de la ruta entre los puertos de Asia y la costa Oeste de América del Norte y los puertos de la costa Oeste de América del Sur así como la red de servicio de enlace en que los buques en servicio de puerto de escala recalán en puerto(s) seleccionado(s). Además, para la futura simulación, se considerará, también, un cuarto patrón, en el cual un puerto determinado en los países del CA5 tiene una función hub en la costa del Pacífico en América Central.

8.4 Perspectiva General del Modelo de Recalado de Buques

La perspectiva general del modelo de recalado de buques que está desarrollado para este proyecto se presenta en la Figura 8.5. Las principales variables de entrada son el nivel de servicio en cada puerto incluyendo la profundidad del canal del Puerto de La Unión y la demanda de transporte de carga de contenedores (carga de contenedores OD).

El modelo se divide en dos partes: la consideración del comportamiento de las compañías navieras a fin de determinar cada red de servicio de línea así como la asignación de carga de contenedores. En la primera parte, se elaboran varias combinaciones de la red de servicio de línea para cada compañía naviera, incluyendo el puerto de recalada y su orden así como el tamaño y frecuencia de los buques que están restringidas condicionalmente por el nivel de servicio para cada puerto como, por ejemplo, la profundidad de canal y de atraque. Luego, todas las combinaciones de la red de servicio de línea están consideradas (input) respectivamente en el modelo de asignación de carga de contenedores, el cual está desarrollado para incluir la red de transportes terrestre y marítimo. A través de los resultados de cálculo del modelo de asignación de carga de contenedores, cada combinación de la red de servicio de línea se examina desde el punto de vista de si sería ventajoso que una compañía naviera recalara en el Puerto de La Unión.

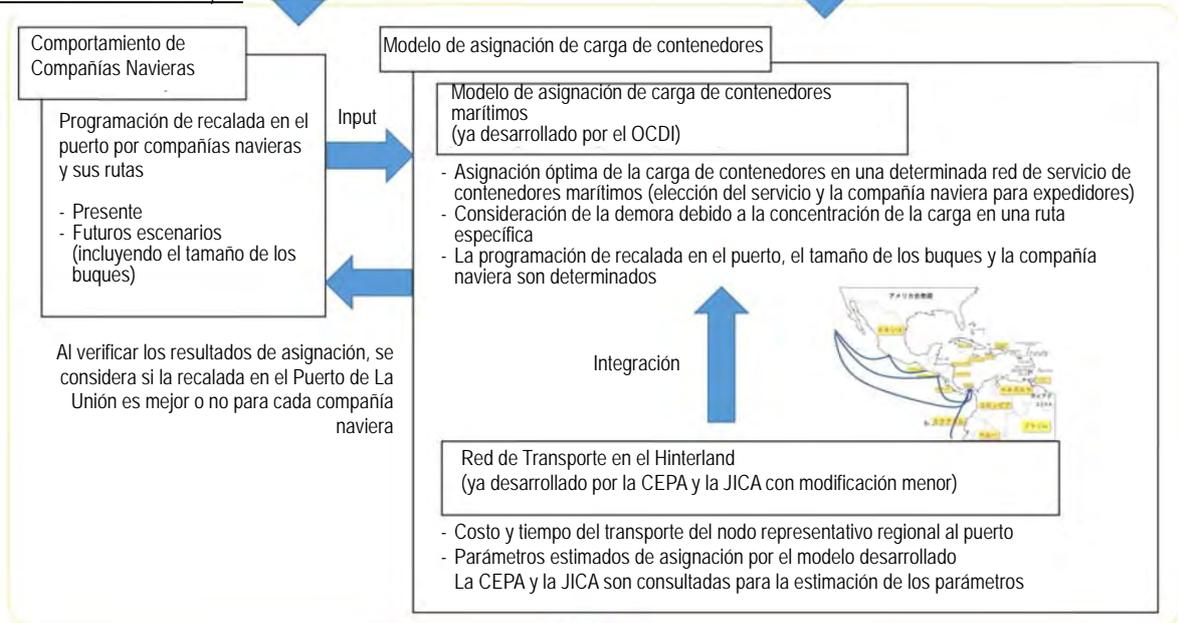
El resultado del modelo es un flujo de carga de contenedores en la red de transporte intermodal para cada combinación de la red de servicio de línea. Al agregar estos por puerto, se estima el tráfico de carga de contenedores para cada puerto de América Central así como también el número y tamaño de buques que recalán en el puerto. Asimismo, el costo y tiempo total del transporte del origen al destino según la red de transporte intermodal se puede calcular para cada combinación de la red de servicio de línea.

La diferencia más importante de los modelos de previsión de la demanda del pasado conducidos por la JICA (1998, 2002) es la suposición de la utilización del Puerto de Acajutla. Los modelos del pasado estimaban el tráfico de la carga de contenedores del Puerto de La Unión bajo la suposición de que el manejo de los contenedores en el Puerto de Acajutla terminaba y se consolidaba en el Puerto de La Unión. Sin embargo, para reflejar la situación actual donde la función del manejo de contenedores en el Puerto de Acajutla se mantienen, el modelo desarrollado en este proyecto puede considerar el hecho de compartir roles por ambos puertos en términos de manejo de contenedores, aunque la capacidad de manejo del Puerto de Acajutla es muy limitado debido a que no se considera el aumento de la capacidad de ningún plan de inversión masiva. También, los resultados del modelo no dependen del sistema de operaciones de la terminal de contenedores; esto es, los resultados estimados también están en efecto luego de la implementación del contrato de concesión el cual será introducido en el Puerto de La Unión.

Input Determinado



Modelo de Recalado de Buques



Output

- Tráfico de carga de contenedores en el Puerto de La Unión y otros puertos
- Número de buques y sus tamaños que entran al Puerto de La Unión
- Flujo de carga de contenedores para cada servicio de línea así como también para cada red de transporte terrestre
- Costo y tiempo total del transporte del origen al destino (incluyendo la red marítima y terrestre)

Figura 8.5 Estructura completa del modelo de recalado de buques (fuente: Equipo de Estudio de la JICA)

8.5 Comportamiento de las Compañías Navieras

8.5.1 Red de transporte marítimo

La red actual de transporte (como era en 2010) está estructurada a partir de los datos de MDS. La base de datos de MDS proporciona información de cada buque portacontenedor como son el nombre del buque, el número OMI, el nombre del operador (transportador), la empresa socia (o las empresas socias) del servicio (si existen), la empresa fletante (o las empresas fletantes) de espacio (si existen), la categoría de la ruta definida por MDS, la lista del puerto de recalada y su orden, la frecuencia del servicio (en base anual), la capacidad de TEU, el DWT y la velocidad del buque, entre otros. Se agregan estos datos basados en un buque a aquellos datos basados en un servicio (vuelta) de un grupo de buques transportadores de carga que como servicio regular navegan la misma ruta marítima y recalcan en los mismos puertos. De esta forma, se estructura la red de transporte marítimo.

Por otro lado, la base de datos de MDS desafortunadamente no incluye ninguna información sobre la programación real (es decir, la fecha y hora exactas para la llegada y salida en cada puerto). Por lo tanto, la programación para la conexión entre los buques madre y de enlace en los puertos de transbordo no se puede tomar en cuenta en el modelo. En el modelo, se supone que el tiempo de espera previsto para la salida luego del transbordo es la mitad del tiempo de duración del servicio que tomará cargar en el puerto de transbordo.

8.5.2 Compañía Naviera

De aquí en adelante, los cálculos de redes y modelos se realizan para las 20 compañías de transporte de contenedores más grandes del mundo más ocho compañías adicionales para la categoría media y pequeña que tienen una red de servicio de línea en América Central. Los servicios de línea que no están incluidos en ninguna de estas 28 compañías como operadores, socios o empresas fletantes de espacio están excluidos. La capacidad asignada a las compañías que no se encuentran entre las 28 compañías también es ignorada. Como resultado, de los 2.857 servicios de la base de datos de MDS (a mayo de 2010), 988 servicios están incluidos en el modelo. Aunque el número de servicios que están incluidos en el modelo es de alrededor de una tercera parte del total, el 61,3% de la capacidad anual de los buques del mundo está cubierta por el modelo, puesto que compañías más grandes brindan servicios más significativos e intensos en todo el mundo. Además, un servicio de enlace de APL (Lázaro Cárdenas – Acajutla – Puerto Quetzal, capacidad: 1.118 TEU, semanal) también se añade a la red en base a otras fuentes, aunque no está disponible en la base de datos de MDS.

8.5.3 Puerto

La red de transporte marítimo en todo el mundo está cubierta en este modelo. En principio, todos los puertos de contenedores donde el tráfico fue de más de 500.000 TEU por año (en 2010, los contenedores domésticos y vacíos están incluidos) se consideran. Según la base de datos CI-online, existieron 155 puertos del mundo en donde el tráfico superó 500.000 TEU en 2010.

Asimismo, nuestro enfoque en este informe está en el comercio internacional de y a El Salvador así como otros países de América Central (principalmente los países del CA4). Puesto que el volumen total de contenedores manejados en esta región es relativamente pequeño, los siguientes puertos se añaden a la red de transporte marítimo. El Puerto Quetzal (Guatemala), Santo Tomás de Castilla y el Puerto Barrios (Guatemala), Acajutla (El Salvador), La Unión (El Salvador), San

Lorenzo (Honduras), Corinto (Nicaragua) y Caldera (Costa Rica) se añaden a la red de transporte marítimo, aunque el tráfico de carga de contenedores en el Puerto de La Unión y el Puerto San Lorenzo es cero en 2010. El Puerto de San Tomás de Castilla y el Puerto Barrios se integran como un solo puerto en la red, puesto que estos puertos se encuentran en estrecha proximidad de entre sí. Los puertos en América Central tratados en el modelo se presentan en la Figura 8.6.



Figura 8.6 Ubicación de los Puertos en América Central (se indican en letras rojas los puertos agregados en este modelo) (Fuente: Equipo de Estudio de la JICA)

8.6 Modelo de asignación de carga de contenedores

8.6.1 Estructura completa del modelo

A fin de considerar la competencia entre los puertos para recibir carga local (de exportación e importación), el comportamiento de los expedidores en cuanto a la elección del transporte al hinterland y la del puerto debe estar incluido en el modelo. Por lo tanto, el modelo existente desarrollado por OCDI se amplía esta vez para incluir la red de transporte terrestre en los países del CA4. La red intermodal incluye tanto transporte terrestre como transporte marítimo como se muestra en la Figura 8.7.

El modelo se desarrolla desde el punto de vista de los propietarios de carga (expedidores). Se asume que cada expedidor elige los puertos para usarse en la exportación y la importación, dados los costos de flete para transportes marítimo y terrestre así como también el tiempo necesario para el transporte. En este informe, un modelo estocástico de asignación que puede considerar la influencia de elementos no observables por el desarrollador del modelo se aplica para describir el comportamiento de los expedidores en cuanto a la elección de puertos, puesto que generalmente tiene una buena bondad de ajuste a la realidad a pesar de que la formulación del modelo es bastante simple.

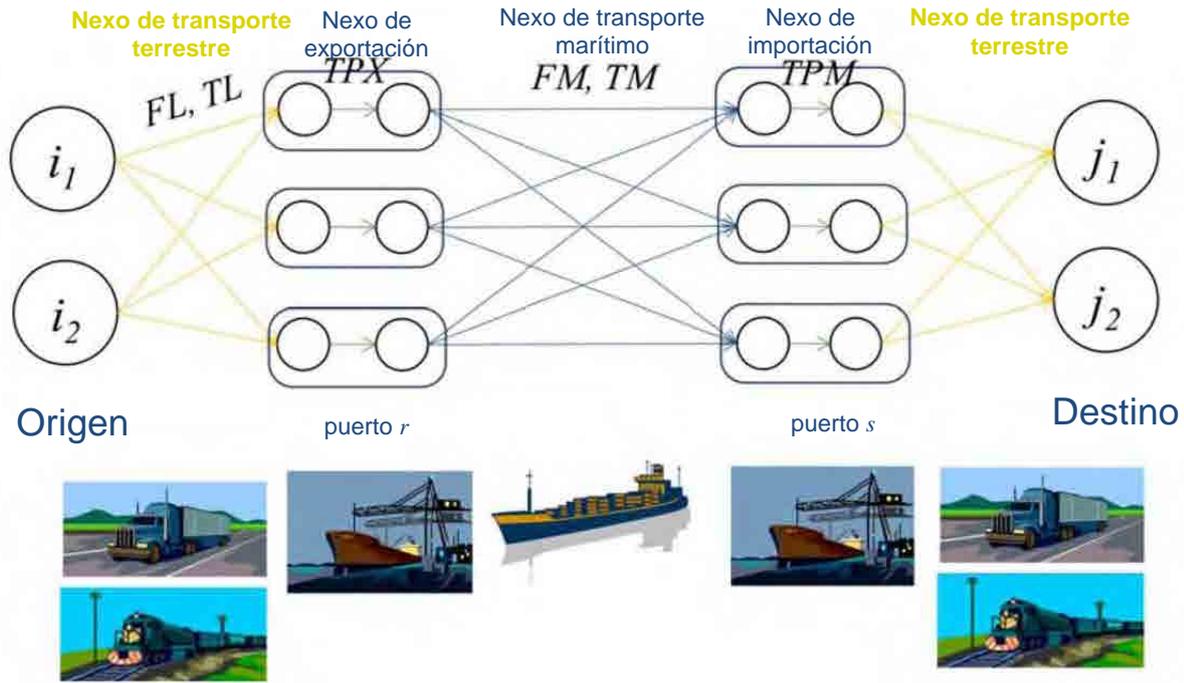


Figura 8.7 Red de transporte considerada en el modelo de asignación de carga de contenedores (Fuente: Equipo de Estudio de la JICA)

8.1.1 Formulación del modelo de asignación de carga de contenedores

Cuando H_{ij} es un conjunto de rutas alternativas de la demanda de transporte de carga Q_{ij} (TEU) de la región i a la región j ($ij \in \Omega$; Ω es el conjunto de pares O-D), una ruta h es escogida para una carga m a fin de maximizar utilidad U_{ijhm} incluyendo un término de error ε_{ijhm} , es decir,

$$U_{ijhm} > U_{ijh'm}, \quad \forall h \in H_{ij}, \forall h' \in H_{ij}, h \neq h', \forall ij \in \Omega, \quad (1)$$

$$s.t. \quad U_{ijhm} = -G_{ijh} + \varepsilon_{ijhm}, \quad (2)$$

donde G_{ijhm} : costo de transporte (US\$/TEU) de la ruta h de la región i a la región j .

Si el término de error ε_{ijhm} persigue la distribución de Gumbel, la elección del expedidor es formulada como

$$F_{ijh} = Q_{ij} \cdot \frac{\exp(-\theta \cdot G_{ijh})}{\exp(-\theta \cdot G_{ijh}) + \sum_{h' \in H_{ij}} \exp(-\theta \cdot G_{ijh'})}, \quad (3)$$

donde F_{ijh} : volumen de carga en una ruta h de la región i a la región j , y θ : parámetro de la distribución.

El costo de transporte G_{ijhm} para cada ruta se expresa por la siguiente ecuación:

$$G_{ijh} = GL_{ir} + GPX_r + GM_{rs} + GPM_s + GL_{sj}, \quad \forall r \in h, \forall s \in h \quad (4)$$

donde GL_{ir} , GL_{sj} : costo general del transporte terrestre de la región de origen i al puerto r así como del puerto s a la región de destino j , GPX_r : costo general del puerto para exportación r , GM_{rs} : costo general del transporte marítimo para puerto de exportación r al puerto de importación s y GPM_s : costo general del puerto para importación s .

El costo general de cada nexo se expresa como la suma del costo de flete y el “costo del tiempo” que se define por el producto del tiempo de transporte y el valor del tiempo para expedidores. Específicamente,

$$GL_{ir} = FL_{ir} + vt \cdot TL_{ir} \quad (\text{también, } GL_{sj} = FL_{sj} + vt \cdot TL_{sj}) \quad (5)$$

$$GPX_r = vt \cdot TPX_r, \quad (6)$$

$$GM_{rs} = FM_{rs} + vt \cdot TM_{rs}, \text{ y} \quad (7)$$

$$GPM_s = vt \cdot TPM_s. \quad (8)$$

donde vt : valor del tiempo para un expedidor (US\$/TEU/hora), FL_{ir} , FL_{sj} : costo de flete del transporte terrestre del origen i al puerto r y del puerto s al destino j (US\$/TEU), TL_{ir} , TL_{sj} : tiempo necesario para el transporte (horas) del origen i al puerto r y del puerto s al destino j , TPX_r : tiempo de espera cuando se exporta desde el puerto r (horas), FM_{rs} : costo de flete marítimo del puerto r al puerto s (US\$/TEU) incluyendo derechos portuarios, TM_{rs} : tiempo del transporte marítimo (horas) del puerto r al puerto s y TPM_s : tiempo de espera cuando se importa en el puerto s (horas). Se debe hacer notar que ningún costo monetario está considerado en los nexos portuarios (es decir, nexos de exportación y de importación), puesto que asumimos que el costo de flete marítimo, FM_{rs} , incluye todos los derechos portuarios, no sólo para los puertos de exportación y de importación sino también para el puerto de transbordo en la ruta de transporte.

8.6.2 Submodelo de transporte marítimo

El tiempo de transporte marítimo, TM_{rs} , que se presenta en la Ecuación (7) se estima a partir del output del submodelo de transporte marítimo que se ha desarrollado por OCDI.

8.6.3 Ocean freight charge

El costo de flete marítimo en cada nexo de transporte marítimo, FM_{rs} , en la Ecuación (7) proporcionado por un transportador es generalmente diferente del costo monetario de la ruta para el transportador, reflejando la característica del mercado en el equilibrio de demanda y oferta. En particular, la industria de transporte de contenedores marítimos tiene un mercado de oligopolio en que puede existir un superávit de proveedores, por lo tanto se debe examinar cuidadosamente.

El costo de flete marítimo, FM_{rs} , en cada mercado es exclusivamente fijado para ser igual al costo marginal de transporte más alto entre las compañías que participan en el mercado (del puerto para exportación r al puerto para importación s); específicamente,

$$FM_{rs} = \max_{g \in G} MC_{grs}, \quad (9)$$

donde MC_{grs} : costo marginal de la compañía naviera g del puerto para exportación r al puerto para importación s y G : conjunto de compañías navieras.

8.6.4 Tiempo de transporte terrestre y el costo de flete

El tiempo de transporte, TL_{ir} y TL_{sj} , y el costo de flete, FL_{ir} y FL_{sj} , en el nexa de transporte terrestre se definen como la suma del tiempo o costo de conducción y de cruce fronterizo respectivamente. Asimismo, el costo de flete se puede aproximar al costo de transporte, puesto que la industria de transporte rodado en esta área es suficientemente competitiva como para poder asumir la competencia perfecta del mercado. Por lo tanto,

$$t_{land}(x_a) = TD_a + \alpha \cdot TB_a, \text{ (tambi\u00e9n } TL_{sj} = TD_{sj} + \alpha \cdot TB_{sj} \text{), y} \quad (10)$$

$$c_{land}(x_a) = CD_a + \alpha \cdot CB_a, \text{ (tambi\u00e9n } FL_{sj} = CD_{sj} + \alpha \cdot CB_{sj} \text{),} \quad (11)$$

donde TD_{ir} , TD_{sj} : tiempo de conducci\u00f3n del nexo de transporte terrestre a (hora), TB_{ir} , TB_{sj} : tiempo de cruce fronterizo del nexo de transporte terrestre a (hora), CD_{ir} , CD_{sj} costo de conducci\u00f3n del nexo de transporte terrestre a (hora, US\$/TEU), CB_{ir} , CB_{sj} :: costo de cruce fronterizo del nexo de transporte terrestre a (hora) y a : coeficiente del transporte bajo control aduanero. El coeficiente del transporte bajo control aduanero, a , es un par\u00e1metro de ajuste, porque TB_{ir} , TB_{sj} y CB_{ir} , CB_{sj} est\u00e1n considerados como el tiempo y el costo para la elaboraci\u00f3n de documentos en la exportaci\u00f3n y la importaci\u00f3n, no en el tr\u00e1nsito. Los resultados ser\u00e1n comparados m\u00e1s tarde en varios escenarios de a .

8.7 Datos de Input

8.7.1 Carga de contenedores O-D (demanda de transporte de carga de contenedores)

La demanda de transporte de carga de contenedores (volumen de carga O-D), Q_{ij} , desde el origen i al destino j , es estimada utilizando los siguientes pasos. Primero, se estima la demanda de transporte de carga de contenedores mar\u00edtimos, q_{grs} , desde el puerto de exportaci\u00f3n r al puerto de importaci\u00f3n s . Luego, se estima la demanda de transporte de carga incluyendo el transporte terrestre.

(1) Contenedor mar\u00edtimo O-D

1) Carga O-D entre pa\u00edses o regiones

El volumen de carga O-D entre pa\u00edses o regiones est\u00e1 disponible en la base de datos de World Trade Service (WTS) que est\u00e1 proporcionado por IHS Inc. La base de datos de WTS proporciona un matriz O-D anual de la carga de contenedores mar\u00edtimos del mundo en base a TEU en 2010 entre 100 pa\u00edses o regiones, incluyendo la divisi\u00f3n costera para los principales pa\u00edses. La matriz O-D se agrega en 51 pa\u00edses o regiones para el pr\u00f3ximo paso del procesamiento de los datos.

2) Divisi\u00f3n en una matriz O-D por puerto

La matriz O-D para cada pa\u00eds o regi\u00f3n se divide en una matriz O-D para cada puerto, seg\u00fan la proporci\u00f3n del puerto en el pa\u00eds o regi\u00f3n en t\u00e9rminos del tr\u00e1fico de carga local que est\u00e1 cargada (es decir, no vac\u00eda), la que se estima a partir de los datos CI-online y un informe de Drewry en 2011.

3) Divisi\u00f3n de los contenedores de Am\u00e9rica Central en una matriz O-D por puerto

En la base de datos de WTS, la regi\u00f3n de Am\u00e9rica Central que incluye siete pa\u00edses (Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panam\u00e1) es tratada como una regi\u00f3n; por lo tanto, se debe dividir primero por costa. Luego, se divide por puerto.

(2) Contenedor O-D incluyendo transporte terrestre

La carga de contenedores O-D que se originan de o se destinan a los pa\u00edses del CA4 (de aqu\u00ed en adelante CA4 O-D) se integran del contenedor mar\u00edtimo O-D estimado en (1), aunque para otra carga O-D el contenedor mar\u00edtimo O-D se usa sin ning\u00fan cambio. El proceso de divisi\u00f3n de CA4 O-D se manifiesta a continuaci\u00f3n;

- 1) Basado en las Estadísticas del Comercio de las Naciones Unidas y los datos del comercio proporcionados por SIECA, resume el valor comercial de la carga de y a cada país del CA4 por según cada región socia. Se calcula la proporción de valor comercial para cada país por región socia, y se divide CA4 O-D por la proporción. Asimismo, la carga salvadoreña y hondureña se divide en dos zonas mediante una tasa constante (El Salvador Oeste: 94%, El Salvador Este: 6%, Honduras Norte: 70% y Honduras Sur: 30%).
- 2) La demanda de transporte de carga de contenedores dentro de América Central se estima, también, según el procedimiento anterior, y la misma regla se aplica en la estimación del contenedor marítimo O-D.

(3) Eliminación de O-D trasladado por transportadores no considerados en el modelo

En el modelo, un equilibrio entre la capacidad del buque y la cantidad de contenedores en cada servicio es importante, porque la congestión debido a un exceso de capacidad se considera en el cálculo. Por lo tanto, se debe eliminar la demanda de transporte de contenedores que se moverán por transportadores que no se encuentran entre los 28 transportadores de contenedores. De acuerdo a la proporción de transportadores con respecto a la capacidad de los buques que llegan a y salen de cada puerto, la cantidad total de demanda de transporte de contenedores para cada puerto es disminuido por la proporción de transportadores que no están considerados en el modelo. Luego, el método de Frater se aplica a fin de ajustar errores, ingresando la cantidad total de demanda de transporte de contenedores para cada puerto en cuanto a los transportadores objetivo como valor determinado y la matriz O-D estimada en la sección anterior como input inicial.

8.7.2 Nivel de servicio en cada puerto

La tasa de manejo de contenedores, el tiempo de espera para la exportación y para la importación así como el tiempo de transbordo en los puertos de los países del CA4 y otros puertos del mundo, se especifican como se presentan en la Tabla 8.4 a partir de los datos de la CEPA y otras fuentes de datos.

Tabla 8.4 Configuraciones de nivel de servicio en cada puerto

Nombre del Puerto		Tasa de manejo de contenedores	Calado Máximo	Tiempo de Espera (Exportación)	Tiempo de Espera (Importación)	Tiempo de Transbordo
		<i>CHCr</i> (US\$/TEU)	(m)	<i>TPXr</i> (horas)	<i>TPMr</i> (horas)	<i>TRr</i> (horas)
Puerto Quetzal	Guatemala	117.65	-13	60	24	48
Acajutla	El Salvador	73.48	-11	60	48	48
La Unión	El Salvador	65.79	-8	60	48	48
San Lorenzo	Honduras	64.70	-8	60	48	48
Corinto	Nicaragua	58.82	-11	168	84	48
Caldera	Costa Rica	100.00	-11	48	24	48
Puerto Cortés/ Puerto Castilla	Honduras	64.70	-12	48	24	48
Santo Tomás de Castilla/Puerto Barrios	Guatemala	64.70	-11	60	24	48
Otros puertos del mundo			*	48	24	*

*: varía según puerto

Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA

8.7.3 Red de transporte terrestre

De acuerdo al modelo de asignación de mercados desarrollado por la CEPA y la JICA (de aquí en adelante, el “modelo de asignación CEPA”), la red de transporte terrestre en la región del CA4 se considera en el modelo (véase la Figura 8.8). Considerándose las características geográficas, El Salvador y Honduras se dividen en dos regiones (El Salvador Oeste y Este, y Honduras en Norte y Sur) respectivamente. Todos los nudos representativos (nudos O y D) de la región y todos los puertos en la región del CA4 están conectados con entre sí, aunque cualquier conexión terrestre entre la región del CA4 y sus países vecinos (por ejemplo, México y Costa Rica) no está permitida.

El tiempo de conducción, TD_{ir} y TD_{si} (incluido en la Ecuación (10)), así como el costo de conducción, CD_{ir} y CD_{si} (en la Ecuación (11)), están fijados para coincidir con el modelo de asignación CEPA como se presenta en la

Tabla 8.5. El tiempo necesario para cruzar la frontera, TB_{ir} y TB_{si} (también, incluido en la Ecuación (10)), y el costo, CB_{ir} y CB_{si} (en la Ecuación (11)), se derivan del promedio de las horas para la “Elaboración de Documentos” (exportaciones e importaciones) en el sitio web de Doing Business proporcionado por el Banco Mundial. El tiempo y costo estimado de cruce fronterizo se presenta en la Tabla 8.6. Se debe hacer notar que en algunas combinaciones se deben cruzar más de dos fronteras (por ejemplo, desde Nicaragua hasta el Puerto de Acajutla, se cruzan las fronteras entre Honduras y Nicaragua así como entre El Salvador y Honduras).

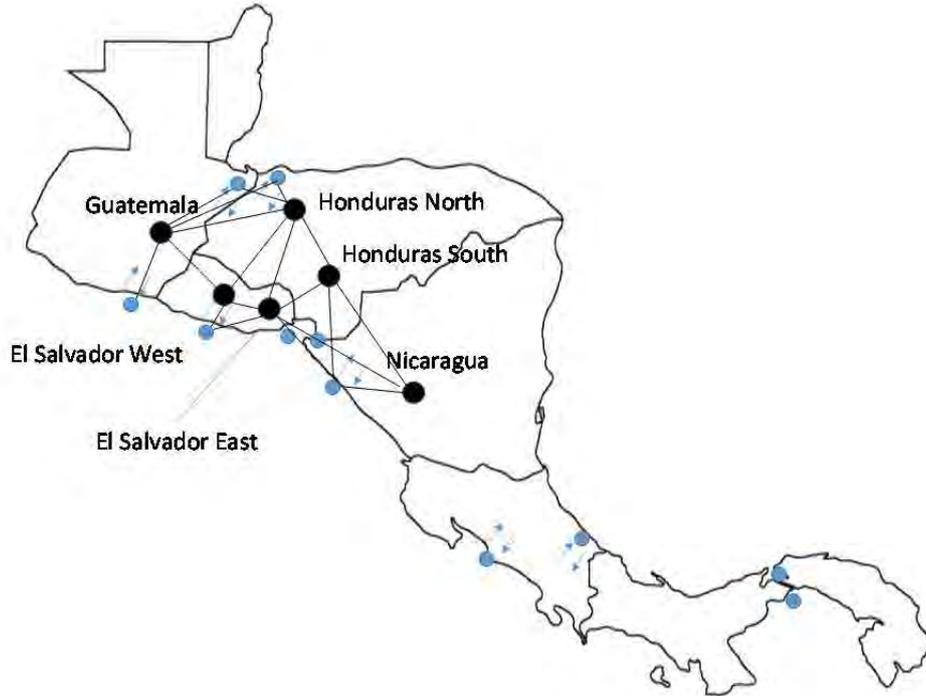


Figura 8.8 Red de transporte terrestre considerada en este proyecto
(Fuente: Equipo de Estudio de la JICA)

Tabla 8.5 Tiempo y costo de conducción entre las zonas representativas (nodos O y D) y los puertos

- Tiempo de Conducción

(horas)

Zona Representativa \ Puertos	Guatemala		El Salvador		Honduras		Nicaragua
	Quetzal	Santo Tomas	Acajutla	La Union	Pt. Cortes	San Lorenzo	Corinto
Guatemala	1.7	5.0	3.2	7.0	6.3	8.0	11.0
El Salvador Oeste	4.5	6.4	1.4	3.1	6.8	4.1	7.1
El Salvador Este	6.7	8.6	3.7	0.8	6.7	2.1	4.9
Honduras Norte	8.6	2.5	7.2	5.5	1.0	5.6	8.6
Honduras Sur	12.0	6.0	6.8	3.1	5.0	1.9	4.6
Nicaragua	14.1	12.3	11.1	7.3	11.3	5.7	2.3

Fuente: la CEPA

- Costo de Conducción

(US\$/TEU)

Zona Representativa \ Puertos	Guatemala		El Salvador		Honduras		Nicaragua
	Quetzal	Santo Tomas	Acajutla	La Union	Pt. Cortes	San Lorenzo	Corinto
Guatemala	151.5	450.0	286.5	630.0	568.5	723.0	990.0
El Salvador Oeste	403.5	571.5	129.0	277.5	612.0	372.0	637.5
El Salvador Este	603.0	774.0	328.5	73.5	600.0	186.0	439.5
Honduras Norte	774.0	220.5	649.5	495.0	88.2	504.0	771.0
Honduras Sur	1080.0	541.5	615.0	274.5	451.5	169.5	417.0
Nicaragua	1270.5	1102.5	996.0	655.5	1012.5	510.0	207.0

Fuente: la CEPA

Tabla 8.6 Tiempo y costo para cruzar la frontera entre las zonas representativas (nodos O y D) y los puertos

- Tiempo necesario para cruzar la frontera

(horas)

Zona Representativa \ Puertos	Guatemala		El Salvador		Honduras		Nicaragua
	Quetzal	Santo Tomas	Acajutla	La Union	Puerto Cortes	San Lorenzo	Corinto
Guatemala	0	0	84	84	192	276	528
El Salvador Oeste	240	240	0	0	192	192	444
El Salvador Este	240	240	0	0	192	192	444
Honduras Norte	240	240	84	84	0	0	252
Honduras Sur	324	240	84	84	0	0	252
Nicaragua	516	432	276	276	192	192	0

Fuente: estimación por el equipo de la JICA a partir de la base de datos Doing Business (del Banco Mundial)

- Costo necesario para cruzar la frontera

(US\$/TEU)

Zona Representativa \ Puertos	Guatemala		El Salvador		Honduras		Nicaragua
	Quetzal	Santo Tomas	Acajutla	La Union	Puerto Cortes	San Lorenzo	Corinto
Guatemala	0	0	380	380	261	641	958.5
El Salvador Oeste	278.5	278.5	0	0	261	261	578.5
El Salvador Este	278.5	278.5	0	0	261	261	578.5
Honduras Norte	278.5	278.5	380	380	0	0	317.5
Honduras Sur	658.5	658.5	380	380	0	0	317.5
Nicaragua	919.5	539.5	641	641	261	261	0

Fuente: estimación por el equipo de la JICA a partir de la base de datos Doing Business (del Banco Mundial)

8.8 Resultados de cálculo del modelo de asignación de carga de contenedores

8.8.1 Estimación de parámetros desconocidos

El modelo de asignación de carga de contenedores contiene tres parámetros desconocidos vt , θ y a . Todos los parámetros se fijan de manera preliminar como variables exógenas y ya se han explicado en la sección anterior. vt es un valor de tiempo para un expedidor (US\$/TEU/hora) incluido en las Ecuaciones (5) a (8); θ es un parámetro de la distribución incluido en la Ecuación (3) en la cual se define la probabilidad de que cada ruta se escoge; y a es un parámetro de ajuste sobre el transporte bajo control aduanero, el cual se multiplica por el tiempo necesario para cruzar la frontera y el costo necesario como se describe en las Ecuaciones (10) y (11) en 8.6.5.

Una combinación óptima de los coeficientes de parámetros desconocidos se selecciona para reproducir bien el flujo real de carga de contenedores. El cálculo basado en ensayo y error así como la búsqueda de malla se realizan para la estimación de parámetros desconocidos, cambiando cada parámetro con la gama de $(3,0 < vt < 13,0)$, $(0,001 < \theta < 0,05)$ y $(0,0 < a < 0,5)$. Como resultado, se estima que $(vt, \theta, a) = (8,0, 0,01, 0,3)$ es una combinación óptima de coeficientes para la carga de exportación e importación.

8.8.2 Reproducibilidad del modelo

(1) Tráfico de carga de contenedores

Se muestra en la Figura 8.9 el tráfico de carga de contenedores reproducido por el modelo bajo la combinación óptima de los coeficientes de parámetros desconocidos mencionada anteriormente. Como se presenta en la figura, el tráfico de carga de contenedores en el Puerto de Acajutla se reproduce bien por el modelo para la carga de exportación e importación. Sin embargo, en el caso del Puerto Quetzal (Guatemala) el tráfico para la carga de exportación e importación está sobreestimado por el modelo, comparado con el tráfico real, aunque en el caso del Puerto Cortés y el Puerto Castilla (Honduras) el tráfico para la carga de exportación e importación está subestimado por el modelo.

En cuanto a la carga de transbordo, se estima que un determinado volumen de carga es similar al volumen real en algunos puertos (especialmente, en dos puertos guatemaltecos).

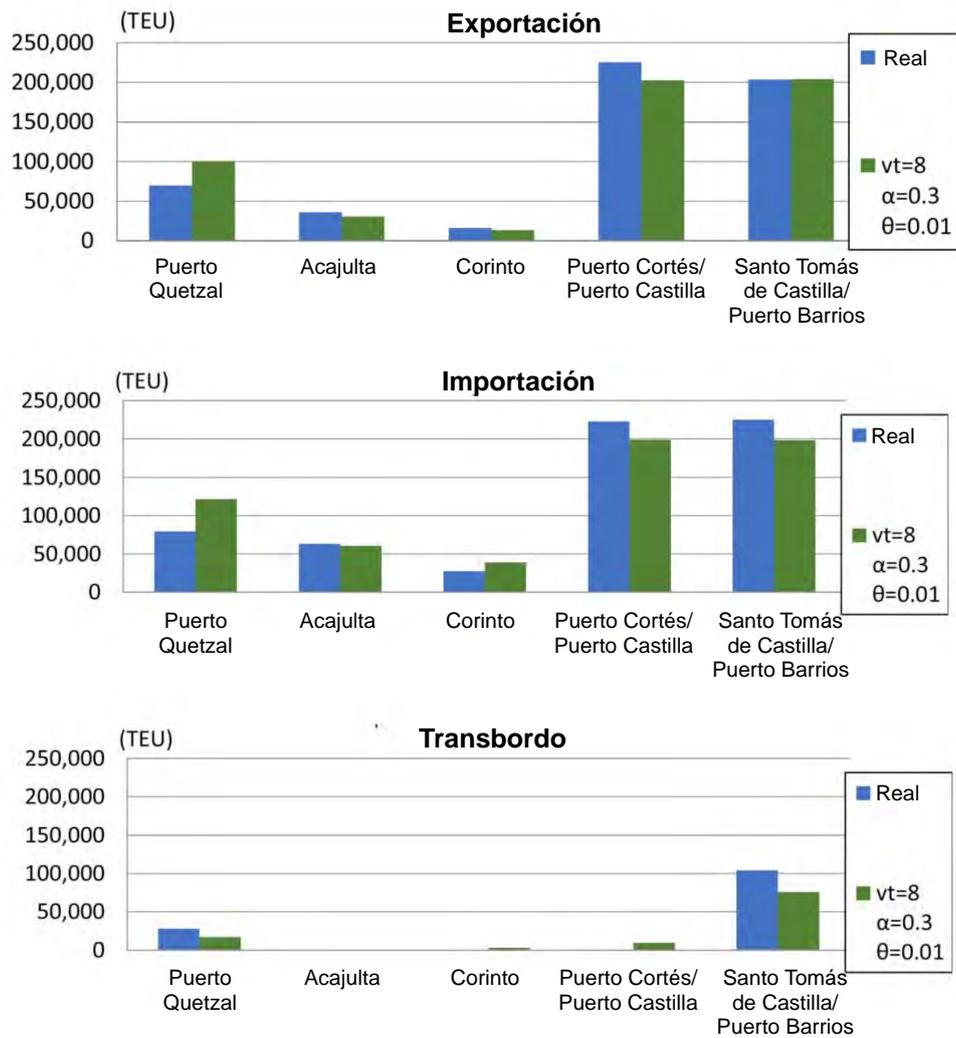


Figura 8.9 Tráfico de carga de contenedores reproducido por el modelo desarrollado en comparación con el tráfico real (Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA)

(2) Proporción según país socio

La Tabla 8.7 presenta el volumen y proporción estimada de la carga de contenedores por país o región socio del comercio (en base costero) de y a los puertos de los países del CA4. Esta clase de datos estadísticos no están realmente disponibles, sin embargo, se considera que la proporción de la carga del Atlántico que incluye la costa Este de América del Norte y del Sur así como también la Europa en el Puerto de Acajulta es de alrededor de 10% a 20% de la cantidad total de contenedores tanto para la exportación como para la importación. Por lo tanto, los resultados estimados que se muestran en la Tabla 8.7 se consideran razonables.

Tabla 8.7 Cantidades y proporciones estimadas de los contenedores según país o región social del comercio de y a los puertos de los países del CA4
(Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA)

	Exportación				Importación			
	Países o regiones del Atlántico		Países o regiones del Pacífico		Países o regiones del Atlántico		Países o regiones del Pacífico	
	TEU	Proporción	TEU	Proporción	TEU	Proporción	TEU	Proporción
Puerto Quetzal	31,784	31.7%	68,622	68.3%	1,087	0.9%	120,318	99.1%
Acajutla	5,920	19.4%	24,560	80.6%	5,670	9.4%	54,957	90.6%
Corinto	3,365	25.3%	9,949	74.7%	2,169	5.6%	36,846	94.4%
Puerto Cortés/ Puerto Castilla	201,016	99.3%	1,460	0.7%	195,669	98.4%	3,194	1.6%
Santo Tomás de Castilla/Puerto Barrios	201,395	98.6%	2,768	1.4%	191,493	96.6%	6,761	3.4%

(3) Puertos de exportación e importación de los contenedores en los países del CA4

La Tabla 8.8 presenta los resultados estimados de los puertos de exportación e importación de los contenedores que se originan de y se destinan a los países del CA4. Esta clase de datos estadísticos no están realmente disponibles, sin embargo, es bien sabido que más de la mitad de los contenedores de y a El Salvador utiliza los puertos en la costa del Atlántico (es decir, el Puerto Cortés y el Puerto Castilla así como también el Santo Tomás de Castilla y el Puerto Barrios) y que muy poca carga utiliza el Puerto Corinto. Y, el resultado de la estimación del modelo está en concordancia con estos hechos notoriamente conocidos.

Tabla 8.8 Resultados de la estimación de los puertos de exportación e importación de los contenedores de y a los países del CA4 (TEU)

- contenedor exportado de los países del CA4

	Puerto Quetzal	Acajutla	Corinto	Puerto Cortés/ Puerto Castilla	Santo Tomás de Castilla/Puerto Barrios
Guatemala	88,240	8,004	0	20,467	186,875
El Salvador Oeste	5,376	13,961	0	29,267	11,227
El Salvador Este	321	476	0	2,447	438
Honduras Norte	2,003	4,192	0	84,616	2,973
Honduras Sur	743	3,449	1	34,933	1,511
Nicaragua	3,722	398	13,314	30,746	1,138

- contenedor importado a los países del CA4

	Guatemala	El Salvador Oeste	El Salvador Este	Honduras Norte	Honduras Sur	Nicaragua
Puerto Quetzal	90,548	17,925	880	9,766	2,280	4
Acajutla	4,347	35,003	2,238	11,396	7,182	455
Corinto	0	472	290	5,402	2,929	29,920
Puerto Cortés/ Puerto Castilla	20,724	44,083	4,294	73,511	31,863	24,381
Santo Tomás de Castilla/ Puerto Barrios	147,589	39,324	1,030	7,445	1,825	1,031

Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA

(4) Proporción según compañías de transporte de contenedores

El modelo puede estimar el volumen de transporte de contenedores para cada compañía naviera

o para cada servicio. La Tabla 8.11 presenta la proporción del volumen de manejo y de la capacidad de los buques según compañía de transporte de contenedores recalando en el Puerto de Acajutla en 2010. A través de la comparación de las proporciones según el volumen de manejo y la capacidad de los buques, algunas compañías (por ejemplo, APL) se consideran eficientes porque sus proporciones basadas en el volumen de manejo superan las proporciones basadas en la capacidad de los buques, aunque otras compañías (por ejemplo, MSC, CSAV y China Shipping) se consideran ineficientes porque sus proporciones basadas en el volumen de manejo son menos que las proporciones basadas en la capacidad de los buques.

La Tabla 8.9, también, presenta el volumen real de manejo de contenedores en el Puerto de Acajutla en 2010. La tabla muestra que la proporción estimada según el volumen de manejo se parece más a la proporción real, comparada con la proporción basada en la capacidad de los buques a excepción de NYK. La diferencia principal entre los volúmenes de manejo de contenedores real y estimado por el modelo es que los resultados estimados se calculan en base a los datos del movimiento de los buques sólo de mayo de 2010 y pueden ser ligeramente diferentes a otros meses en 2010. Sin embargo, el hallazgo anterior (que la proporción estimada en cuanto al volumen de manejo se aproxima más a la proporción real) puede implicar la utilidad del modelo desde el punto de vista del análisis de eficiencia de las empresas navieras.

Tabla 8.9 Proporciones real y estimada de las compañías navieras en el Puerto de Acajutla (2010)

	Real*	Modelo estimado			
		En base al volumen de manejo**		En base a la capacidad de los buques***	
	Proporción	TEU/año	Proporción	TEU/año	Proporción
Maersk	37.5%	34,107	37.4%	352,560	32.6%
MSC	2.2%	2,800	3.1%	64,064	5.9%
CMA-CGM	8.7%	8,408	9.2%	104,684	9.7%
Hapag-Lloyd	0.9%	0	0.0%	0	0.0%
APL	24.0%	27,315	30.0%	116,272	10.7%
CSAV	5.4%	2,054	2.3%	120,132	11.1%
China Shipping	1.4%	6,337	7.0%	104,684	9.7%
NYK	19.8%	7,344	8.1%	167,440	15.5%
CCNI	0.0%	2,741	3.0%	52,342	4.8%
Total	100%	60,627	100.0%	1,082,178	100.0%

Fuente: *la CEPA (en base al volumen de manejo). **resultado del cálculo del modelo.

***estimado de la base de datos de MDS.

(5) Resultados de la estimación según servicio de transporte

El modelo puede predecir los flujos de contenedores por servicio de transporte prestado por cada compañía naviera. Se muestra en la Figura 8.10 un ejemplo de los resultados estimados en cuanto al flujo de los contenedores para todos los servicios operados por Maersk que recalán en los puertos de América Central (desde Guatemala hasta Costa Rica, a excepción de Panamá).

Los datos reales sobre cuántos contenedores se cargan, descargan y transportan no están disponibles para cada servicio, por lo que no es posible comparar estos resultados estimados con los datos reales. Sin embargo, a juzgar por el conocimiento general sobre un factor de carga de los buques portacontenedores y el volumen de manejo de contenedores en una sola recalada en un puerto, una gran parte de los resultados estimados se consideran dentro del rango razonable.

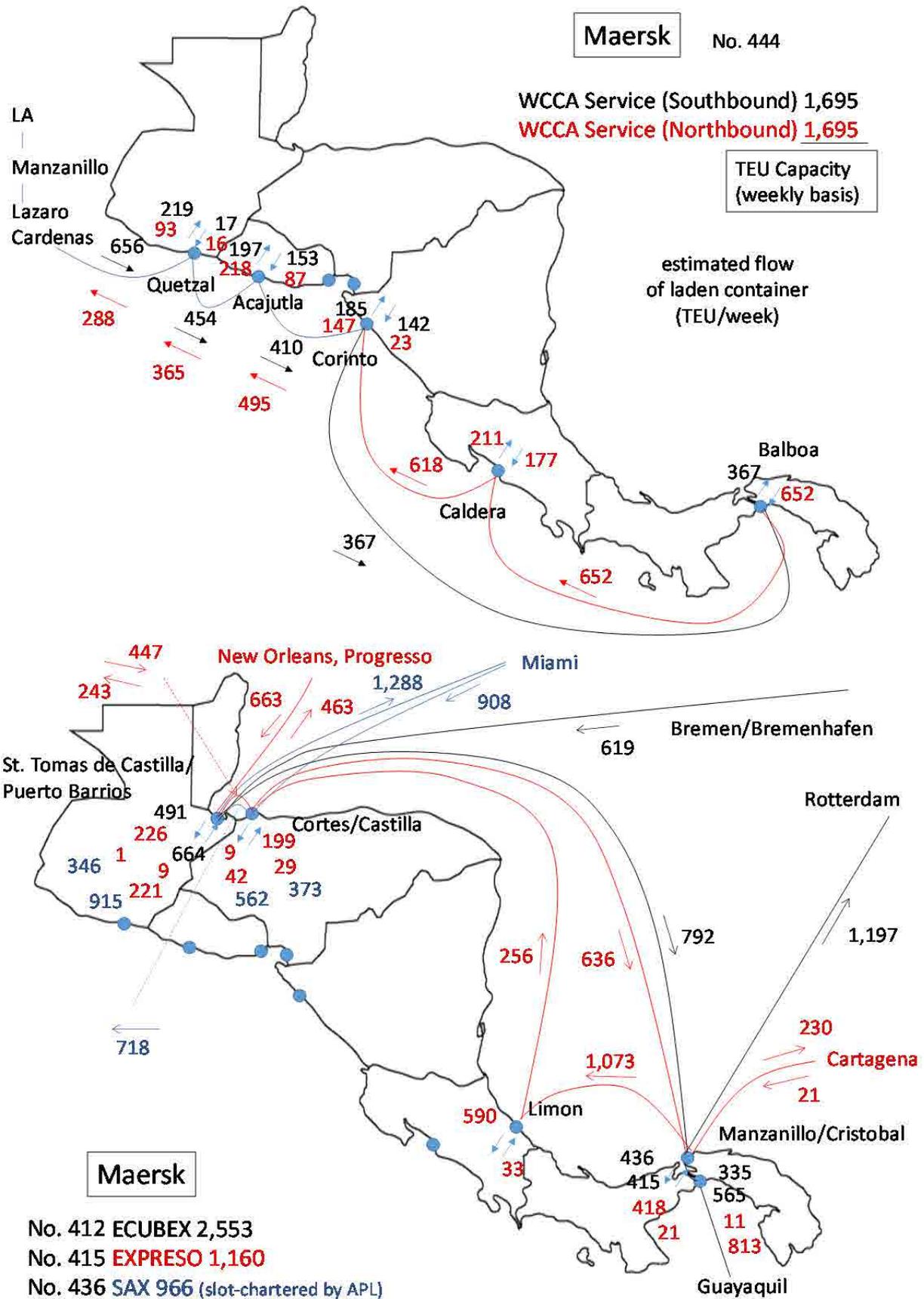


Figura 8.10 Ejemplo del flujo de los contenedores estimado según servicio de línea (Maersk, 2010) (Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA)

8.8.3 Sensibilidad del output del modelo

La Figura 8.11, Figura 8.12 y Figura 8.13 muestran las sensibilidades de parámetros desconocidos en cuanto al tráfico de carga de contenedores para cada puerto de los países del CA4.

(1) La sensibilidad sobre el valor del tiempo

La Figura 8.11 muestra la sensibilidad del tráfico de carga de contenedores según la significación del valor de tiempo, vt , como resultado del modelo. En particular, en cuanto a los contenedores de exportación, alguna correlación entre el tráfico y el valor de tiempo se observa; específicamente, el tráfico en los puertos del Pacífico (es decir, el Puerto Quetzal, el Puerto de Acajutla y el Puerto Corinto) aumenta como el valor de tiempo disminuye, aunque el tráfico en los puertos del Caribe (es decir, el Puerto Cortés y el Puerto Castilla así como también el Santo Tomás de Castilla y el Puerto Barrios) disminuye como el valor de tiempo disminuye. Parece que es porque el volumen de la carga de exportación al lado del Pacífico (es decir, la carga exportada a la costa Oeste de América del Norte y del Sur y Asia, entre otros) es relativamente más pequeño que el volumen de la carga de exportación al lado del Atlántico (es decir, la carga exportada a la costa Este de América del Norte y del Sur y Europa, entre otros). Para los contenedores de importación, ninguna tendencia se observa.

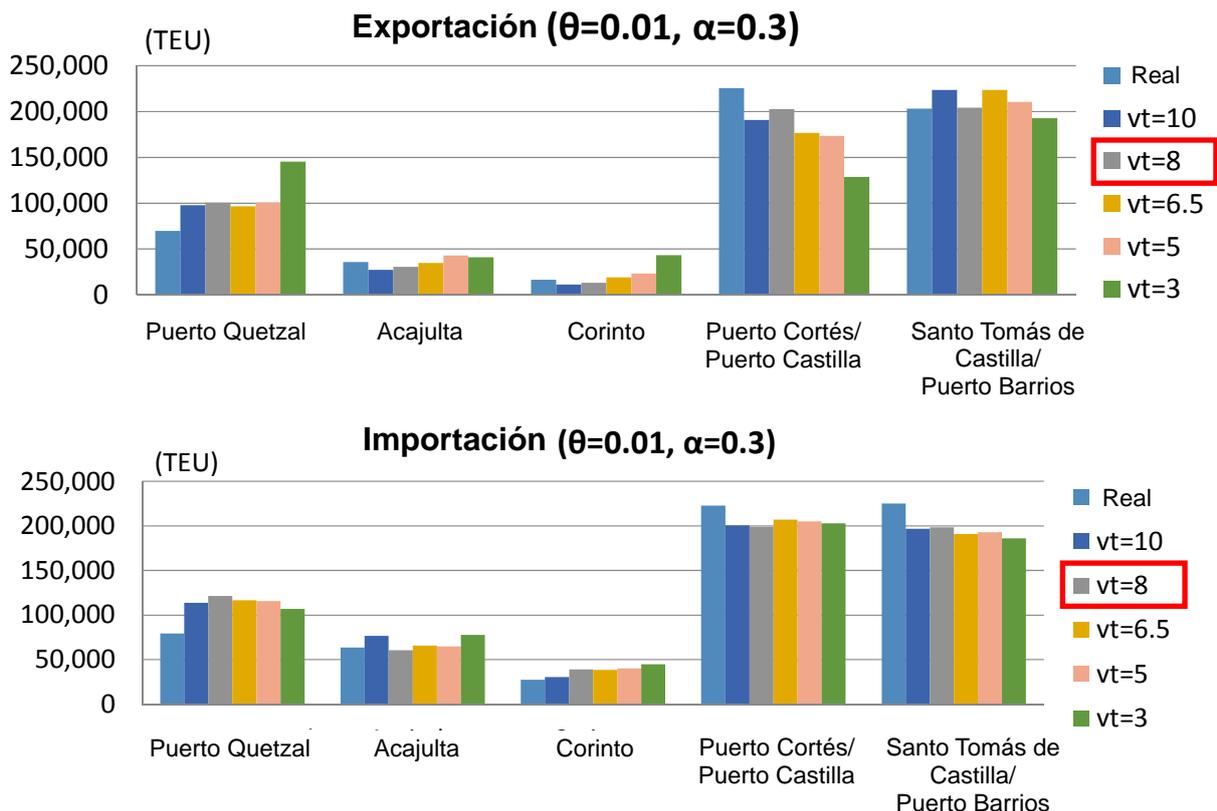


Figura 8.11 Sensibilidad de parámetros desconocidos [1] el valor de tiempo para expedidores vt y el tráfico de carga de contenedores por cada puerto de los países del CA4 (Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA)

(2) Sensibilidad al parámetro de la distribución

La Figura 8.12 muestra la sensibilidad del tráfico de carga de contenedores según la significación del parámetro de la distribución, θ . Según la Ecuación (3), si θ es más pequeño, cada expedidor

es menos sensible a la diferencia del costo general (incluyendo el tiempo y costo de transporte) para cada alternativa, aunque si θ es más grande, cada expedidor es más sensible a la diferencia del costo general. De la figura, cuando el expedidor se vuelve sensible al costo y tiempo de transporte, se espera que las cantidades de los contenedores de exportación manejados en el Puerto de Acajutla y el Puerto Corinto disminuyan. Para la carga de importación, no se observa ninguna tendencia parecida a la de la sensibilidad al valor de tiempo.

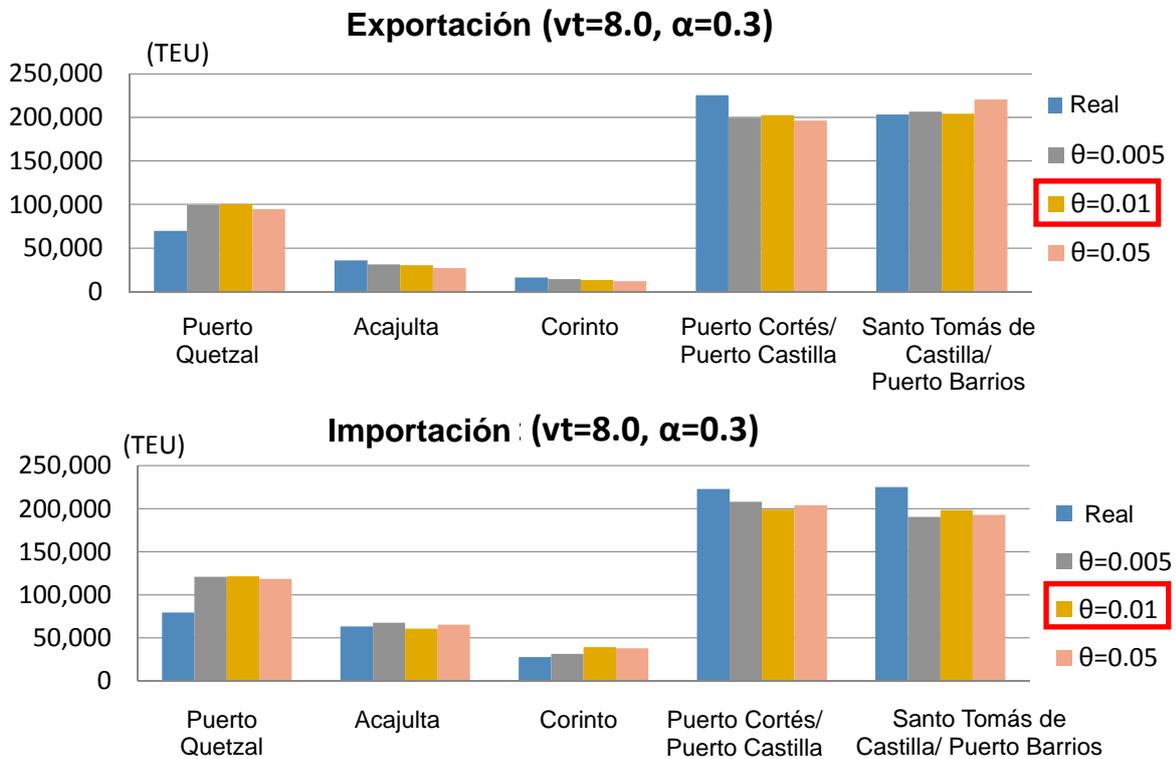


Figura 8.12 Sensibilidad de parámetros desconocidos [2] el parámetro de la distribución θ y el tráfico de carga de contenedores por cada puerto de los países del CA4 (Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA)

(3) Sensibilidad a la barrera en la frontera nacional terrestre

La Figura 8.13 muestra la sensibilidad del tráfico de carga de contenedores según la significación del parámetro de ajuste sobre el transporte bajo control aduanero, α . Si α es más grande, la barrera en la frontera nacional se vuelve más grande; por lo tanto, cada expedidor tiende a utilizar su propio puerto(s) en el país. Si α es más pequeño, cada expedidor puede utilizar el puerto para la exportación y la importación con mayor flexibilidad según sus necesidades. La figura muestra que en algunos puertos tales como el Puerto Cortés para la carga de exportación y el Puerto Quetzal para la carga de importación, el tráfico es más grande como α es más pequeño; esto implica que estos puertos son potencialmente más competitivos cuando se baja la barrera en la frontera nacional. Por otro lado, en algunos puertos tales como el Puerto Quetzal para la carga de exportación y el Puerto Corinto para ambas carga, el tráfico es más pequeño como α es más pequeño; específicamente, ellos son menos competitivos.

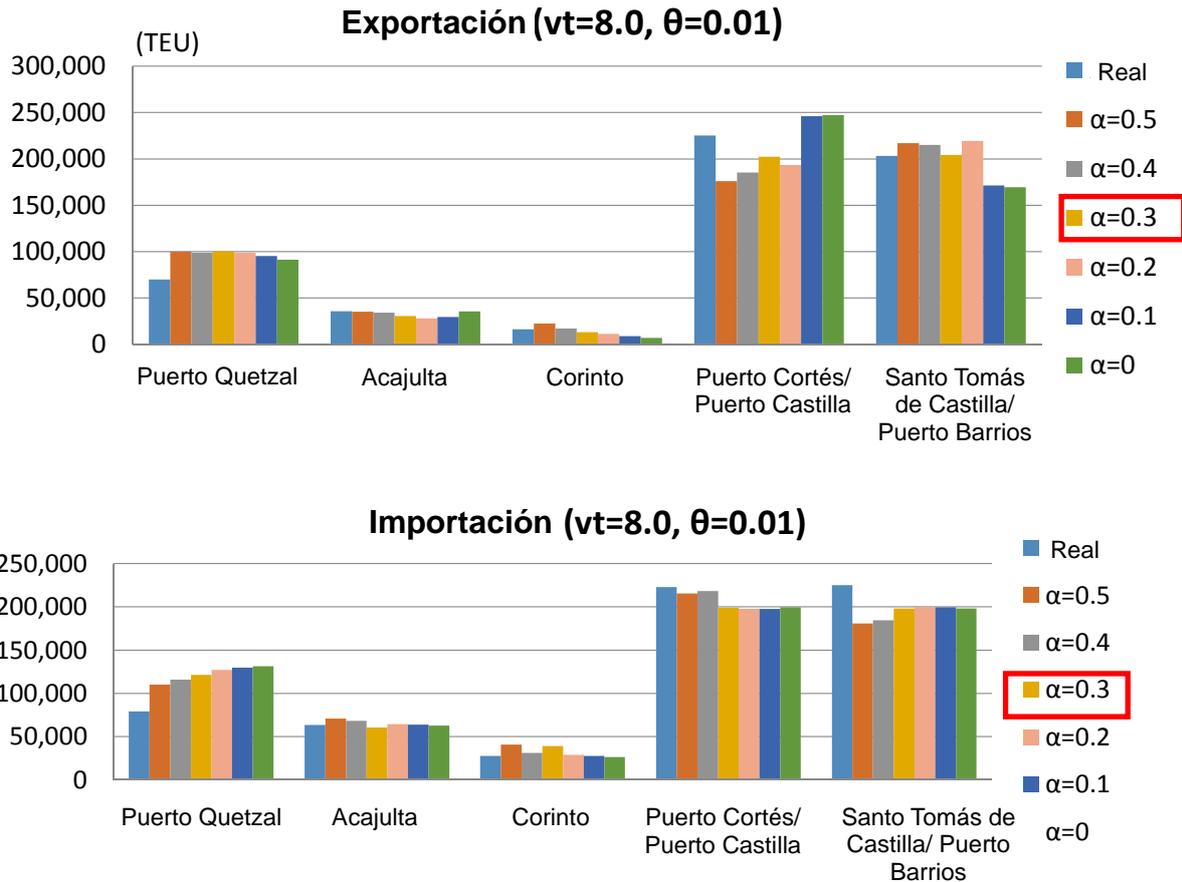


Figura 8.13 Sensibilidad de parámetros desconocidos [3] el parámetro de ajuste sobre el transporte bajo control aduanero α y el tráfico de carga de contenedores por cada puerto de los países del CA4

(Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA)

8.9 Conclusión del Capítulo 8

El principal enfoque de este capítulo es una descripción del modelo de recalado de buques para análisis financiero y económico del Puerto de La Unión. Para lograr este objetivo, se resume el estado actual de los puertos salvadoreños (8.1) así como también otros puertos principales en los países del CA5 (8.2). Aunque los ángulos económicos son esenciales para formar la base del desarrollo del modelo, la condición física de cada puerto, también, se discute porque ésta afecta la capacidad del manejo de carga. En particular, la condición física del Puerto de Acajutla se enfoca en (8.1.5 (5)) porque se considera que la actual y futura limitación de su capacidad de manejo directamente influirá el futuro tráfico de carga de contenedores en el Puerto de La Unión.

Las estrategias de las compañías de transporte de contenedores marítimos en la costa del Pacífico de América Central (8.3) son, también, importantes para el desarrollo del modelo. Se examinan por dos enfoques: el primer enfoque es el desarrollo de la red de transporte marítimo de cada compañía a partir de la base de datos del movimiento de buques portacontenedores (8.3.1). Se puede comparar entre compañías navieras y tiempos diferentes. El segundo enfoque consiste en encuestas por entrevistas realizadas a las compañías navieras y a otros interesados (8.3.2). Se obtienen de las encuestas por entrevistas una perspectiva general del transporte de contenedores

en la costa del Pacífico de los países del CA5 así como también comentarios específicos sobre cada puerto.

La última parte de este capítulo se enfoca en el modelo de recalado de buques. Luego de una descripción del esquema del modelo (8.4), cada componente del modelo se describe, incluyendo el comportamiento de las compañías navieras (8.5), el modelo de asignación de carga de contenedores (8.6) y los datos de input (8.7). La información clave sobre el comportamiento de las compañías navieras es sobre la red de transporte de los servicios regulares operados por cada compañía, la que está estructurada a partir de la base de datos sobre el movimiento de buques portacontenedores (los datos de MDS) en cuanto a las compañías y puertos seleccionados (8.5). El modelo de asignación de carga de contenedores es el elemento central del modelo de recalado de buques (8.6). El modelo de asignación de carga de contenedores es una aplicación del modelo estocástico de asignación de redes sobre la red de transporte intermodal de la carga internacional de contenedores, basándose en el costo generalizado que incluye no sólo el costo monetario sino también el tiempo de transporte. El submodelo de transporte marítimo en el modelo de asignación de carga de contenedores se describe en el Anexo D2. La preparación de los datos de input es, también, importante para el modelo de recalado de buques (8.7). Uno de los datos más importantes como un input del modelo es la demanda de transporte de carga de contenedores (carga de contenedores OD) entre cada puerto o región del mundo. Se estima a partir de la carga de contenedores OD entre los países así como en diversas estadísticas e informaciones con respecto a la economía regional, el comercio y el manejo de carga en los puertos. De igual modo, son necesarios datos sobre la red de transporte que incluyen la distancia física y el costo de transporte. Asimismo, se incluye información sobre el costo y tiempo del cruce fronterizo terrestre.

La última sección de este capítulo (8.8) sintetiza los resultados del modelo de asignación de carga de contenedores. Luego de la descripción del esquema de cálculo y la estimación de parámetros desconocidos, los resultados del cálculo se examinan desde el punto de vista de la reproducibilidad del modelo a través de diversos puntos de referencia tales como el tráfico de carga, la proporción por países socios y el puerto de exportación e importación en los países del CA4, así como también las proporciones por compañía naviera y el volumen que transporta cada servicio de línea. Asimismo, se examina la sensibilidad del modelo a los parámetros desconocidos estimados (es decir, el valor del tiempo, el parámetro de la distribución de la asignación estocástica y la significación de la barrera de las fronteras nacionales). Como resultado, el modelo de asignación de carga de contenedores describe bien el actual mercado de transporte de carga de contenedores que incluye el tráfico de contenedores en cada puerto de los países del CA4 y asimismo el mismo modelo se resiste al cambio del input.

Capítulo 9 Escalas de los buques en el Puerto de La Unión y el
análisis económico

Capítulo 9 Escalas de los buques en el Puerto de La Unión y el análisis económico

9.1 Estado actual de la navegación en el Puerto de La Unión

9.1.1 Estado actual del canal de navegación y normas de navegación

(1) Estado actual del canal de navegación

El canal de navegación (pasaje) del Puerto de La Unión tiene una longitud total de 22 km; el canal interior es de 5 km y el canal exterior de 17 km. El ancho del fondo del canal interior es de 110 m, mientras que el del canal exterior es de 107 m. El canal interior ha sido dragado a una profundidad de -14 m mientras que el canal exterior a una profundidad de -14,5 m. Este canal de navegación ha entrado en servicio en 2010, pero todo el pasaje ha sido rellenado con sedimentos, y la profundidad de cuando se terminaron las obras no ha sido mantenida. La Figura 9.1 muestra el pasaje del Puerto de La Unión.

(2) Normas de navegación vigentes

Una torre de control ubicada en el sexto piso del edificio de administración dentro del Puerto realiza el control de las embarcaciones que navegan a través del canal de acceso para entrar al o salir del Puerto de La Unión. Las normas de navegación en el Puerto de La Unión están descritas en el Manual de Operación de dicho Puerto.

9.1.2 Condiciones de la marea

En la República de El Salvador, el CNR es el organismo supervisor del nivel de la marea que predice y publica las tablas de los niveles de la marea sobre la base de observaciones en el campo. El Chart Datum Level (CDL) utilizado como estándar para la profundidad de agua en las cartas marinas fue definido en -1,5381 m desde el MSL por CNR.

9.1.3 Navegabilidad según la profundidad del canal

(1) Profundidad del canal de navegación y el tamaño de los buques del Puerto de La Unión

En la actualidad, se está proyectando realizar el dragado del canal. Sin embargo, en el caso de aumentar la profundidad, el costo del dragado se verá encarecido, de manera que debe seleccionar la profundidad óptima comparando los beneficios obtenidos a través de buques de contenedores que utilicen el Puerto y los costos de dragado para mantener la profundidad apropiada para los buques.

Cuando los buques portacontenedores llegan al Puerto de La Unión, se aprovecha el nivel de marea alta para pasar a través del canal, pero las restricciones al tráfico de navegación varían en función de la profundidad del canal. Por lo tanto, los tres ítems, a saber, el tiempo navegable por calado del buque, el tiempo máximo de espera y el tiempo previsto de espera, son calculados por profundidades de canal de 9 m, 10 m, 11 m, 12 m, 13 m y 14 m.

(2) Tiempo navegable en el canal de navegación

El tiempo navegable en el canal según las mareas se determina comparando la profundidad del agua y la profundidad requerida del canal, la cual depende del calado de los buques de arribo. La actual profundidad del agua del canal de navegación se determina agregando las diferentes profundidades diseñadas en el canal a los niveles de marea brindados en la tabla de mareas del Puerto de la Unión en el 2013.

Como las condiciones de estudio, la tolerancia para el resguardo bajo la quilla para el dragado se determinó en 10% sobre la base de las recomendaciones de la Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Navegación (PIANC), y la velocidad de los buques que navegan por el canal se estableció en 5 nudos, que es la misma que la velocidad aplicada en la actualidad.

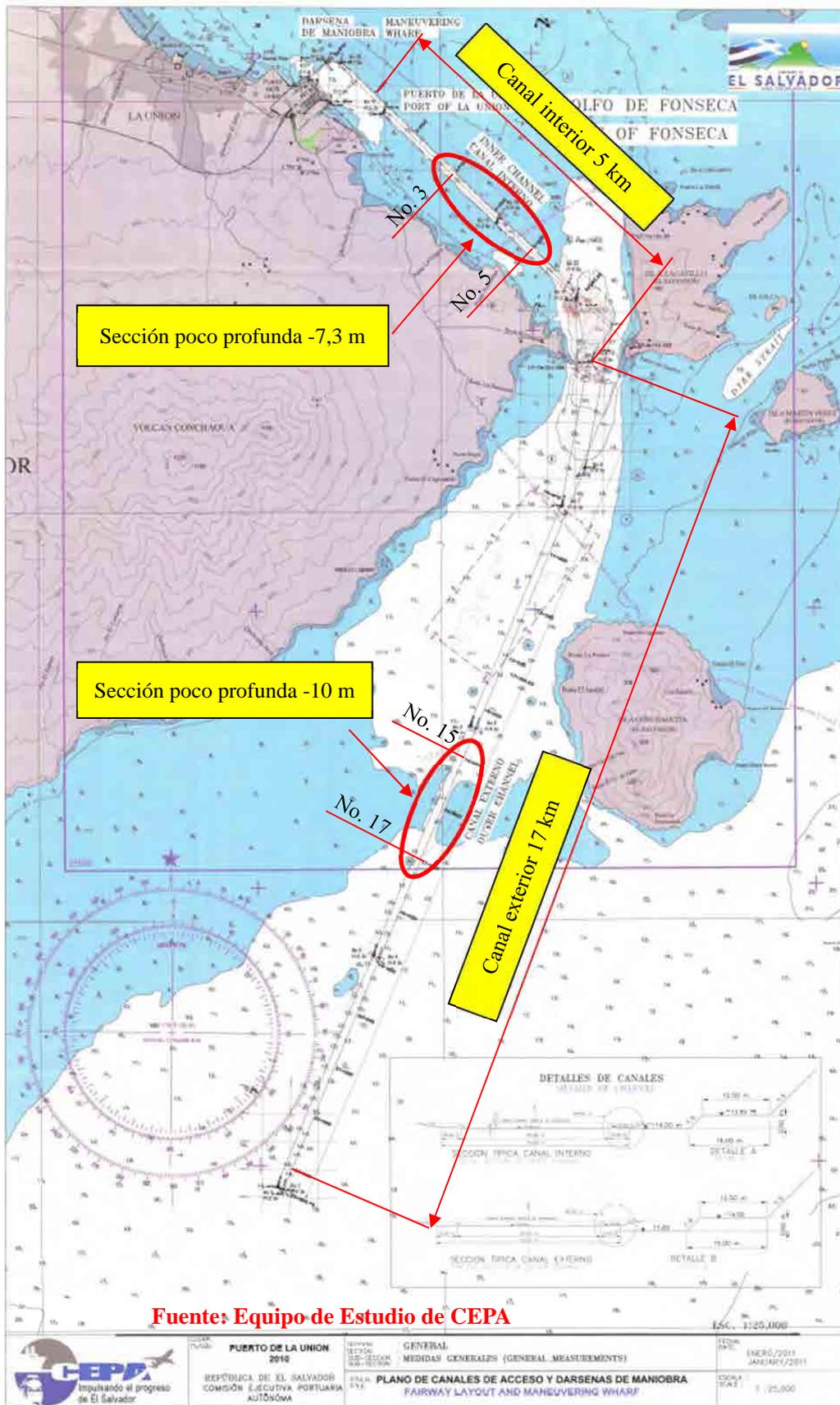


Figura 9.1 Canal de navegación del Puerto de La Unión

Tabla 9.1 Resultados del Cálculo del Tiempo Navegable en el Canal

(Unidad: horas)

Calado (m)	Profundidad del canal de navegación							
	7.3 m (actual)	8.0 m	9.0 m	10.0 m	11.0 m	12.0 m	13.0 m	14.0 m
6.0	8,760							
6.5	8,506							
6.8		8,760						
7.0	6,376	8,585						
7.2		8,350						
7.4		7,683						
7.6		6,631						
7.8		5,431	8,760					
8.0	2,860	4,572	8,585					
8.2	2,358	3,976	8,082					
8.4	1,849	3,215	7,267					
8.5	1,569	2,950						
8.6		2,467	6,034	8,760				
8.8		1,959	5,021	8,709				
9.0		1,363	4,572	8,392				
9.2			3,735	7,767				
9.4			3,215	6,743				
9.5					8,760			
9.6			2,736	5,517				
9.8			2,215	4,605	8,634			
10.0			1,700	4,019	8,139			
10.2			1,077	3,500	7,370			
10.4				2,994	6,132	8,760		
10.6				2,515	5,081	8,740		
10.8				1,982	4,324	8,422		
11.0				1,423	3,783	7,840		
11.2					3,258	6,910		
11.4					2,779	5,615		
11.6					2,251	4,694	8,760	
11.8					1,746	4,078	8,192	
12.0					1,129	3,544	7,465	
12.2						3,046	6,253	8,760
12.4						2,557	5,151	8,747
12.6						2,026	4,375	8,537
12.8						1,473	3,823	8,055
13.0							3,313	6,967
13.2							2,828	6,129
13.4							2,302	5,250
13.6							1,796	4,127
13.8							1,190	3,599
14.0								3,081
14.2								2,608
14.4								2,070
14.6								1,529

Fuente: Preparado por el Equipo de Estudio

Tabla 9.2 Resultados del cálculo del Tiempo Diario Promedio Navegable

(Unidad: horas)

Calado (m)	Profundidad del canal de navegación							
	7.3 m (actual)	8.0 m	9.0m	10.0m	11.0m	12.0m	13.0m	14.0m
6.0	24.0							
6.5	23.3							
6.8		24.0						
7.0	17.5	23.5						
7.2		22.9						
7.4		21.0						
7.6		18.2						
7.8		14.9	24.0					
8.0	7.8	12.5	23.5					
8.2	6.5	10.9	22.1					
8.4	5.1	8.8	19.9					
8.5	4.3	8.1						
8.6		6.8	16.5	24.0				
8.8		5.4	13.8	23.9				
9.0		3.7	12.5	23.0				
9.2			10.2	21.3				
9.4			8.8	18.5				
9.5					24.0			
9.6			7.5	15.1				
9.8			6.1	12.6	23.7			
10.0			4.7	11.0	22.3			
10.2			3.0	9.6	20.2			
10.4				8.2	16.8	24.0		
10.6				6.9	13.9	23.9		
10.8				5.4	11.8	23.1		
11.0				3.9	10.4	21.5		
11.2					8.9	18.9		
11.4					7.6	15.4		
11.6					6.2	12.9	12.0	
11.8					4.8	11.2	11.2	
12.0					3.1	9.7	10.2	
12.2						8.3	8.6	24.0
12.4						7.0	7.1	24.0
12.6						5.6	6.0	23.4
12.8						4.0	5.2	22.1
13.0							4.5	19.1
13.2							3.9	16.8
13.4							3.2	14.4
13.6							2.5	11.3
13.8							1.6	9.9
14.0								8.4
14.2								7.1
14.4								5.7
14.6								4.2

Fuente: Preparado por el Equipo de Estudio

El canal del Puerto de La Unión es de 22 km de largo, y por aproximadamente 1km, incluyendo la superficie frontal de la pared del muelle hasta el final y el borneadero ubicado en esta superficie frontal, la profundidad es de un máximo de 11 m. Un buque tarda 2,38 horas a una velocidad de 5 nodos para navegar el canal, por lo que es necesario planear esto antes de que la marea descienda. La Tabla 9.1 muestra los resultados del cálculo de tiempo navegable según el calado de los buques y según la profundidad del canal de navegación.

El tiempo medio diario navegable puede ser calculado utilizando la información que se muestra en la Tabla 9.1. Sin embargo, en este caso el tiempo medio diario navegable es diferente al tiempo real debido a que tanto la marea viva como la marea muerta están incluidas en el valor, por lo que se debe utilizar la herramienta de cálculo descrita en la Figura 9.4 para obtener el tiempo real.

En la Tabla 9.2 se presentan los resultados del cálculo de tiempo diario navegable según la profundidad del canal y el calado de los buques.

(3) Tiempo máximo de espera

El tiempo máximo de espera es el tiempo máximo que los buques deben esperar para que las condiciones de marea permitan navegar por el canal en una sola dirección. En los casos en que el tiempo de espera de los buques supere 12 horas (incluyendo el tiempo necesario para navegar por todo el canal) para un ciclo de variación del nivel del mar, el tiempo de espera de la embarcación no es considerada como irracional para un buque de contenedores para arribar en tales circunstancias.

El tiempo no navegable por todo el canal de navegación se calcula restando el tiempo navegable de las horas anuales en su totalidad.

(4) Tiempo de espera en la teoría de probabilidad

El tiempo previsto de espera se define como el promedio del tiempo de espera antes de que realmente pueda entrar al puerto, cuando un buque portacontenedores haya recalado al azar en el Puerto de La Unión. En la Figura 9.2 se presenta un esquema conceptual. Nótese que debido al tiempo de navegación en el canal de acceso, un buque no puede entrar al canal de acceso 2,4 horas antes de que la profundidad actual sea más baja que la profundidad navegable. La Tabla 9.3 y la Figura 9.3 muestran los tiempos de espera según la profundidad y el calado. A partir de ellos, se observa que el calado es más grande a medida que el tiempo previsto de espera aumenta.

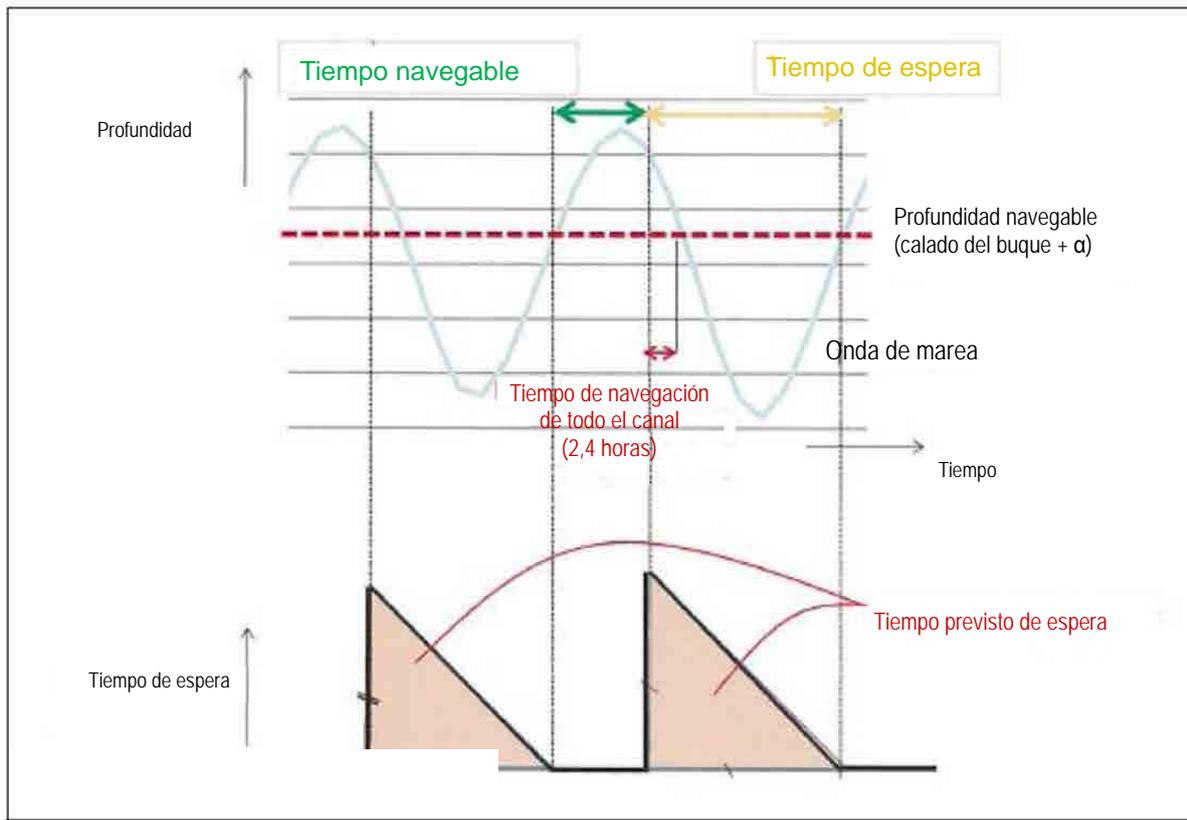


Figura 9.2 Esquema conceptual de cálculo del tiempo previsto de espera

Tabla 9.3 Resultados del cálculo de tiempo previsto de espera

Calado (m)	Tiempo previsto de espera (horas)							
	7.3 m (actual)	8.0 m	9.0 m	10.0 m	11.0 m	12.0 m	13.0 m	14.0 m
6.0	0.00							
6.5	0.02							
6.8		0.00						
7.0	0.33	0.01						
7.2		0.04						
7.4		0.12						
7.6		0.28						
7.8		0.49	0.00					
8.0	2.02	0.77	0.01					
8.2	2.46	1.21	0.07					
8.4	2.94	1.46	0.18					
8.5								
8.6		1.93	0.38					
8.8		2.35	0.68	0.00				
9.0		2.81	0.77	0.03				
9.2		3.3	1.36	0.11				
9.4			1.74	0.27				
9.5								
9.6			2.00	0.54	0.00			
9.8			2.52	0.86	0.01			
10.0			2.91	1.19	0.06			
10.2				1.53	0.17			
10.4				1.91	0.38			
10.6				2.32	0.67	0.00		
10.8				2.80	1.01	0.03		
11.0					1.34	0.10		
11.2					1.71	0.24		
11.4					2.09	0.51		
11.6					2.55	0.82	0.00	
11.8					3.04	1.15	0.05	
12.0						1.50	0.16	
12.2						1.87	0.36	
12.4						2.28	0.65	0.00
12.6						2.76	0.98	0.10
12.8							1.31	0.22
13.0							1.67	0.24
13.2							2.05	0.41
13.4							2.51	0.68
13.6							2.99	1.12
13.8								1.46
14.0								1.85
14.2								2.23
14.4								2.72
14.6								

Fuente: Preparado por el Equipo de Estudio

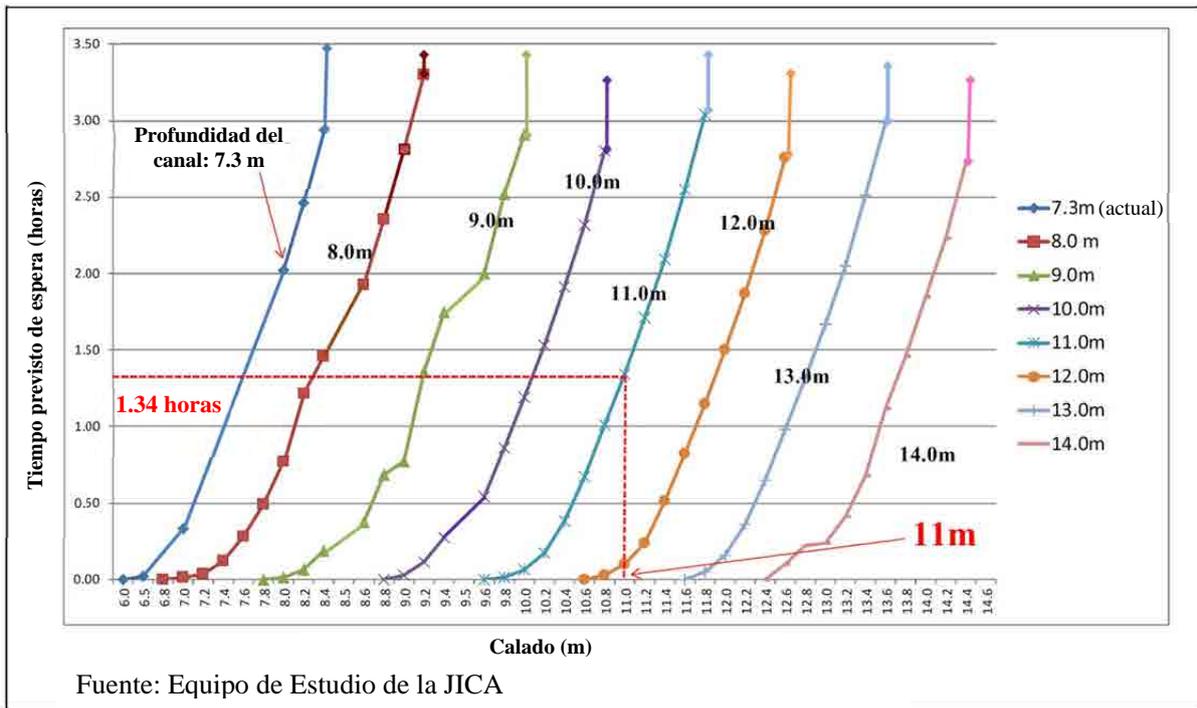


Figura 9.3 Resultados del cálculo de tiempo previsto de espera según la profundidad del canal

(5) Calado del buque portacontenedores y la capacidad de carga

La relación entre el calado y la capacidad de carga de contenedores se calculó mediante el análisis de los buques portacontenedores que navegan en todo el mundo basado en los datos de MDS y FAIR PLAY para obtener una fórmula de correlación. La fórmula de correlación se expresa de la siguiente manera:

$$Y = 0.6624X^{3.4324} \quad (R^2 = 0.9324).$$

(6) Preparación de la herramienta de cálculo para obtener el rango de tiempo navegable en el canal de navegación

Con el fin de obtener el rango de tiempo de navegación en el canal, una herramienta de cálculo ha sido preparada por el Equipo de Estudio. Insertando los datos de recalada (día, mes y año), la profundidad del canal (en metros) y el calado del buque, la herramienta indica el tiempo navegable que el buque puede usar el canal y realiza una muestra de gráficos del nivel de marea navegable más bajo. En la Figura 9.4 se presenta la herramienta de salida del rango de tiempo navegable.

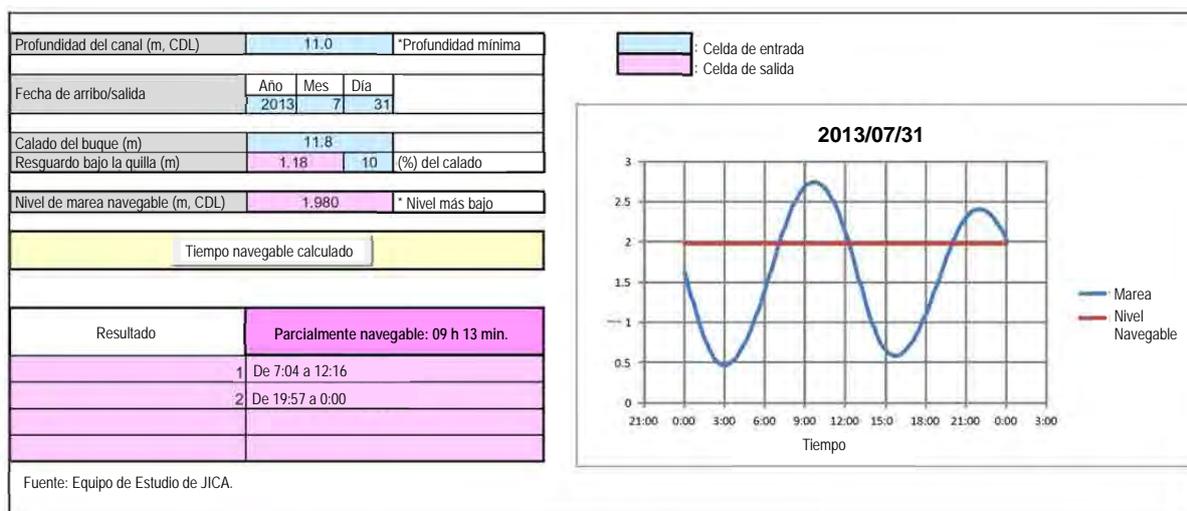


Figura 9.4 Herramienta de salida el rango de tiempo navegable

(7) Comparación de las normas de navegación existentes y propuestas

Basado en el mismo concepto indicado en el numeral (4), se calculó el tiempo previsto de espera en las normas actuales de navegación como se muestra en la Figura 9.5.

Tal como se muestra en esta figura, el tiempo previsto de espera en las normas vigentes de navegación que permite a los buques navegar por sólo cuatro horas antes y después de la marea alta se estima en 4,51 horas. Esto podría ser, en general, mayor que el tiempo previsto de espera calculado sobre la base de la norma propuesta de navegación que se muestra en la Figura 9.4. Sin embargo, si los buques de tamaño ligeramente mayor (por ejemplo, un buque con -9 m de profundidad) entran en el canal a la profundidad actual, el tiempo previsto de espera es casi de 3 horas. Más concretamente, la norma de navegación actual puede aproximarse al tiempo de espera bajo las condiciones actuales que sólo permiten entrar los buques ligeramente grandes en el canal poco profundo, pero es posible que esto pierda su importancia en el futuro cuando los buques de diversos tamaños naveguen por el canal profundo.

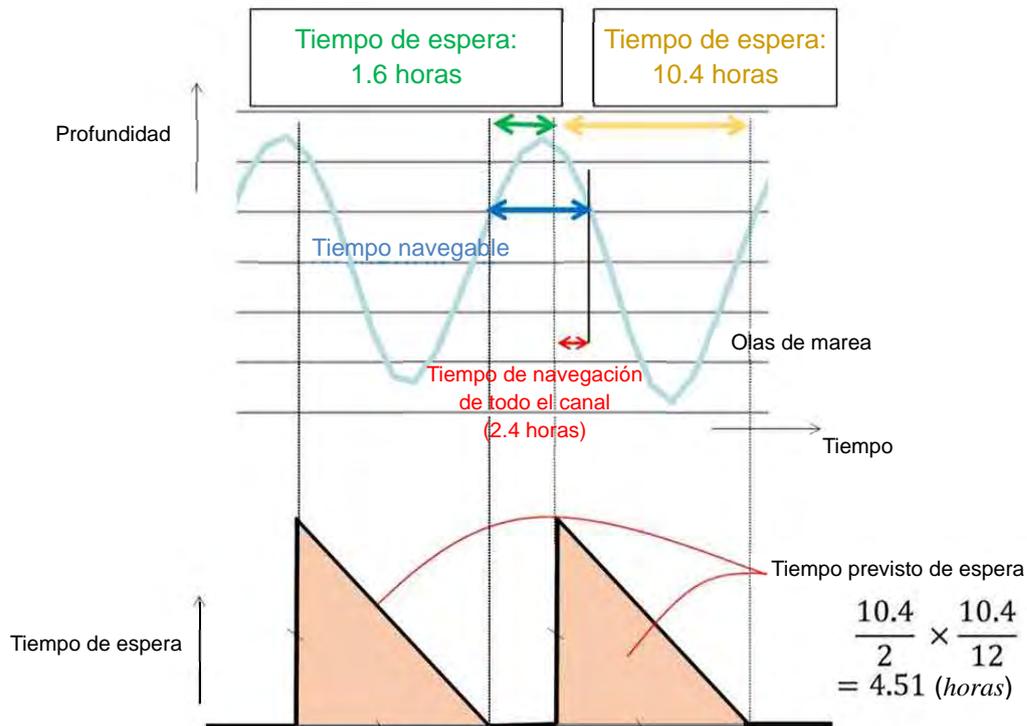


Figura 9.5 Resultado del cálculo del tiempo previsto de espera según la regla de navegación actual

9.2 Cálculo y los resultados del Modelo de Escalas de los Buques

9.2.1 Simulación de recalada en el Puerto de La Unión en el escenario actual (2010) utilizando el modelo desarrollado

En el año 2012, existía un servicio de línea co-operado por APL y Hamburg-Sud que arribaba semanalmente al Puerto de La Unión como se muestra en la Figura 9.6. La capacidad del buque era de 1.324 TEU, con calado máximo de 9,5 m. El servicio fue suspendido temporalmente a finales de 2012. Sin embargo, en esta simulación, este servicio ha sido introducido en la red de transporte marítimo de 2010 estructurada hasta el capítulo anterior desde la base de datos de MDS. La profundidad del canal del Puerto de La Unión se definió en -8,0 m. Por lo tanto, el tiempo previsto de espera para este buque al entrar en el Puerto es de 3,30 (horas) según el método de cálculo basado en la sección anterior. Todos los demás datos incluyendo el OD de los contenedores y el nivel de servicio en cada puerto fueron establecidos para el año 2010 tal como se describieron en el capítulo anterior.

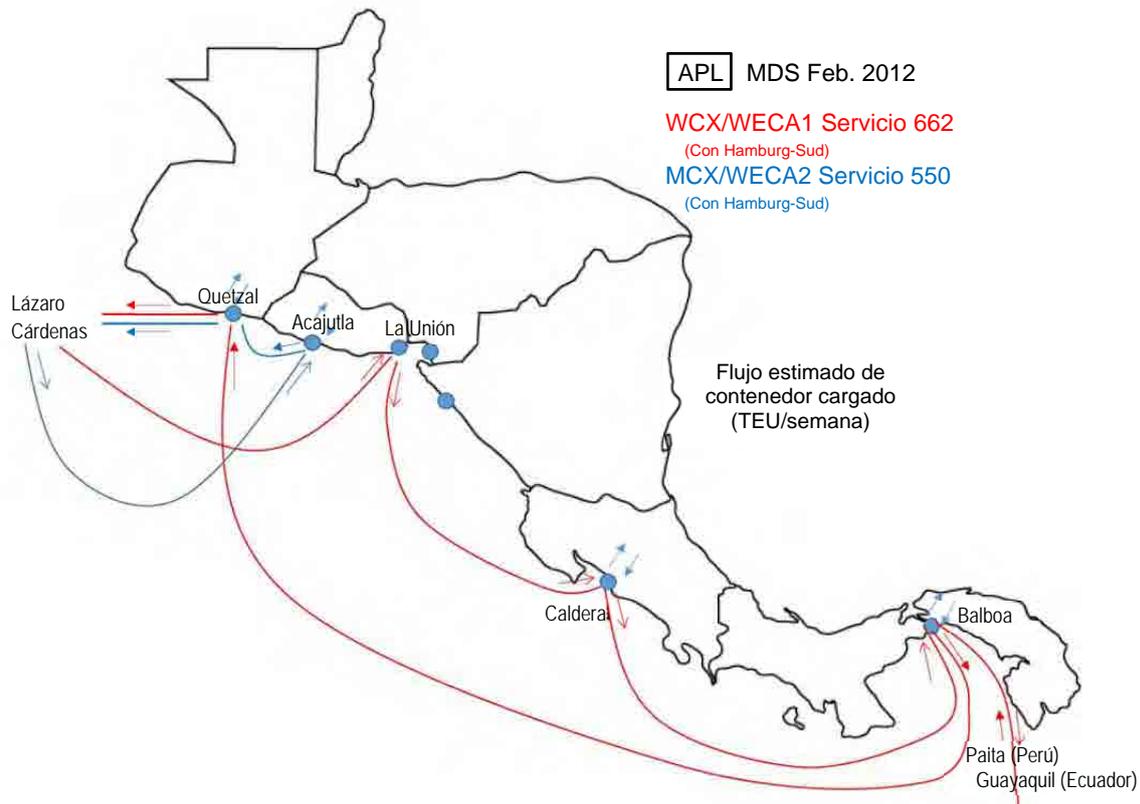


Figura 9.6 Ruta de Servicio operada por APL y Hamburg-Sud en 2012

(Fuente: Preparada por el Equipo de Estudio de JICA con base en la información contenida en el Sitio Web de APL)

En la Tabla 9.4 se presentan los resultados arrojados por el modelo de cálculo expresados por rendimiento de carga de contenedores en cada puerto. En esta Tabla, el “Caso base (2010): S10-0” corresponde al resultado estimado que se muestra en el apartado 8.8.2 (2) para reproducir la situación actual. La “simulación: S10-1” en la Tabla muestra el resultado cuando está incluido el servicio adicional de la línea mencionada.

La capacidad estimada de los contenedores en el Puerto de La Unión es de 3.563 y de 10.265 TEU para la exportación e importación, respectivamente. Se debe tomar en cuenta que el modelo considera la asignación sólo para contenedores cargados, no así los contenedores vacíos. La cantidad real de contenedores en el año 2012 es de 8.081 y 10.317 TEU, en la que se incluyen los contenedores vacíos. Teniendo en cuenta que a menudo existen los contenedores vacíos para coordinar el desequilibrio en materia de importación y exportación, se puede afirmar que el modelo puede predecir con precisión la cantidad de contenedores en el Puerto de La Unión en las condiciones dadas.

Otro hallazgo de la Tabla es que la carga principal manejada en el Puerto de La Unión puede ser desplazada desde otros puertos extranjeros como es el caso del Puerto de Corinto, puesto que en el caso S10-1, se estima que la cantidad de contenedores manejada en el Puerto de Acajutla se verá aumentada ligeramente tanto para las exportaciones como para las importaciones.

Tabla 9.4 Resultado estimado de la carga en contenedores en los puertos CA4 (TEU) considerando que hará escala un servicio regular en el Puerto de La Unión

Nombre del puerto	Exportación		Importación	
	Caso Base (2010) S10-0	Simulación S10-1	Caso Base (2010) S10-0	Simulación S10-1
Puerto Quetzal	100,406	96,888	121,403	116,255
Acajutla	30,479	31,637	60,621	65,136
La Unión	0	3,563	0	10,265
Corinto	13,315	12,626	39,014	29,637
Puerto Cortés y Puerto Castilla	202,477	194,281	198,855	207,297
Santo Tomás de Castilla, Puerto Barrios	204,162	211,844	198,246	189,562

Fuente: Estimación por el Equipo de Estudio de JICA

9.2.2 Configuración de futuros escenarios para la simulación (2020 y 2030)

(1) OD de la carga de contenedores

El OD de la carga de contenedores en los años 2020 y 2030 se calcula multiplicando el OD de 2010 estimado en el apartado 8.7.2, por los multiplicadores calculado por CEPA para cada país de CA4 por año y por importación/exportación. Cabe recordar que la demanda de transporte de mercancías de cualquiera de los países del mundo que no sean los países de CA4 no cambia desde 2010.

(2) Nivel de servicio en cada puerto

Se consideró que el nivel de servicio en el Puerto de La Unión y de otros puertos vecinos se verá relativamente mejorado hacia el futuro, con excepción de la profundidad del canal de navegación para acceder al Puerto de La Unión. En la Tabla 9.5 se presenta la configuración de los escenarios en 2020 y 2030 para la simulación. Algunos coeficientes están sujetos a cambios debido a algunas mejoras (celdas coloreadas en la Tabla). Algunas de las mejoras fueron identificadas a través de las entrevistas realizadas por el Equipo de Estudio, e incluye, por ejemplo, un nuevo proyecto de desarrollo de terminales de contenedores en el Puerto Quetzal. Por otro lado, algunas de ellas se basan en hipótesis. Por ejemplo, se asume que todos los puertos CA4, excepto Acajutla, podrán acomodar un buque con -12 m de calado máximo en 2030 (un buque de 3.350 TEU o menos podrá atracar en estos puertos, al considerar la relación entre la capacidad y el calado del buque calculado utilizando la fórmula de correlación de (5) of 9.1.3), ya que el incremento drástico en la demanda de carga que se espera en la región CA no puede ser atendido sin introducir grandes buques portacontenedores. Asimismo, se tomó en cuenta la capacidad limitada de manejo de contenedores en el Puerto de Acajutla.

La tarifa de manejo de contenedores no ha sufrido cambios durante este período en todos los puertos, salvo el Puerto La Unión para el que más adelante se muestra una simulación de política de alza de la tarifa.

Tabla 9.5 Ajustes futuros del nivel de servicio en cada puerto

(Las columnas coloreadas son los cambios y mejoras en comparación con el período anterior)

Nombre del puerto	2020				2030			
	Calado Máx.	Tiempo de espera		Tiempo de trasbordo	Calado Máx.	Tiempo de espera		Tiempo de trasbordo
		Exportación	Importación			Exportación	Importación	
(m)	TPX_r (horas)	TPM_r (horas)	TR_r (horas)	(m)	TPX_r (horas)	TPM_r (horas)	TR_r (horas)	
Puerto Quetzal	-14	48	24	24	-14	48	24	24
Acajutla	-11	60	48	48	-11	60	48	48
La Unión	*	48	24	24	*	48	24	24
Corinto	-11	60	48	48	-12	48	24	48
Caldera	-11	48	24	48	-12	48	24	48
puerto Cortes/ Puerto Castilla	-12	48	24	24	-12	48	24	24
Santo Tomas de Castilla/ Puerto Barrios	-11	48	24	48	-12	48	24	48
Otros puertos	∞	48	24	*	∞	48	24	*

*: Varía según puertos

Fuente: Proyección del Equipo de Estudio de JICA

(3) Comportamiento de las compañías navieras

Cada compañía naviera decide su nivel de servicio de transporte marítimo regular incluyendo los puertos a realizar la escala, el tamaño del buque, la frecuencia, el puerto de transbordo, etc. con el fin de maximizar sus beneficios u otros principios correspondientes. En este modelo de escala del buque, la futura red de transporte marítimo, incluyendo todos los servicios regulares del mundo para las 28 compañías navieras deben ser dados como entrada exógena. Ya que no existe ninguna limitación en el número de posibles combinaciones de las redes de transporte marítimo, las alternativas de la posible red se ve limitada a las siguientes normas, a saber, i) modificación de la red existente, y ii) introducción de un nuevo hub y red radial.

1) Modificación de la red existente

Al mes de mayo de 2010, existen seis servicios regulares de transporte marítimo que periódicamente realizan escala en el Puerto de Acajutla, como se muestra en la Tabla 9.6. De ellos, cuatro servicios operados por las empresas individuales (Maersk, MSC, NYK, y APL) son servicios de alimentadores desde el(los) puerto(s) de transbordo localizados en México (Manzanillo y Lázaro Cárdenas) y/o Panamá (Balboa) utilizando pequeñas embarcaciones con menos de 1.700 TEU de capacidad.

Los otros dos servicios son “way-port” utilizando buques relativamente grandes (alrededor de 2.500 TEU), procedentes de Asia Oriental, como China y Japón, o de la costa oriental de América del Norte que van a la costa occidental de América del Sur como Colombia, Ecuador, Perú y Chile. Otra característica del servicio de “way-port” es que es co-operado por varias empresas o, en el caso de la operación por una sola empresa, se realiza la escala en forma alternada (por ejemplo, menos de una escala por semana) en un puerto vecino (en este caso, el Puerto de Caldera), con el fin de ajustar la capacidad del buque por semana al nivel apropiado para atender la demanda real.

La Tabla 9.7 muestra también el servicio de un transporte marítimo regular en 2012 que hicieron escala en el Puerto de La Unión. Se muestran los detalles de la red. Este también fue un servicio de buque alimentador que conecta el Puerto de Lázaro Cárdenas (México) y Balboa (Panamá) a la ruta troncal.

Tabla 9.6 Servicio de transporte regular existente en el Puerto de Acajutla al mes de mayo de 2010

(Fuente: Equipo de Estudio de JICA con base en la base de datos de MDS y otras fuentes)

Operador(es)	Capacidad media TEU	Escalas al año	Frecuencia
Maersk	1,695	104.0	Dos veces a la semana (En sentido este-oeste y oeste-este)
MSC	1,232	26.0	Quincenal
NYK	1,610	52.0	Semanal
APL	1,118	52.0	Semanal
CMA-CGM/CSCL/CCNI	2,516	52.0	Semanal
CSAV	2,599	23.1	4 veces cada 9 semanas (otras cinco escalas en Caldera en lugar de Acajutla)

Tabla 9.7 Servicio de transporte regular existente en el Puerto de La Unión al mes de febrero de 2012

(Fuente: Equipo de Estudio de JICA con base en la base de datos de MDS y otras fuentes)

Operador	Capacidad media TEU	Escalas al año	Frecuencia
APL/Hamburg-Sud	1,324	52.0	Semanal

De acuerdo con nuestra entrevista a las compañías navieras, una empresa tiene las siguientes opciones para responder al aumento de la demanda.

- a) Aumentar la frecuencia de escala en ambas direcciones, por ejemplo, de quincenal a semanal, o de semanal a dos veces a la semana (véase el ejemplo de Maersk en la Tabla 9.6);
- b) aumentar el número de puertos en la región, por ejemplo, realizando escala en el Puerto de Acajutla y de la Unión en El Salvador; y,
- c) aumentar el tamaño de los buques. En el caso de que el puerto no tenga suficiente profundidad de agua, un barco puede cambiar el lugar de escala a un puerto vecino. Por otro lado, si en la zona existe gran cantidad de demanda de carga pero no existen puertos con suficiente profundidad de agua, la empresa puede utilizar un pequeño buque.

Tomando en cuenta lo anterior, en la Tabla 9.8 se resumen las posibles alternativas en el nivel de servicio que puede ser adoptado por cada empresa.

Tabla 9.8 Posibles alternativas para adecuar el nivel de servicio de transporte marítimo regular de las compañías navieras que realicen escala en los puertos salvadoreños en la actualidad

Operador	Capacidad media en TEU (calado)	Escalas al año (Acajutla y La Unión)
Maersk	1,240 (9 m)	(104, 0)
	1,695 (10 m, inicial)	(52 (este-oeste), 52 (este))
	2,480 (11 m)	(52 (oeste-este), 52 (oeste))
	3,350 (12 m)*	(0, 104)
MSC	1,232 (9 m, inicial)	(26, 0)
	1,790 (10 m)	(52, 0)
	2,480 (11 m)	(52, 52)**
	3,350 (12 m)*	(0, 52)
NYK	1,240 (9 m)	(52, 0)
	1,610 (10 m, inicial)	(52 (este-oeste), 52(este))**
	2,480 (11 m)	(52(oeste-este), 52 (oeste))**
	3,350 (12 m)*	(0, 52)
APL (1)	1,118 (9 m, inicial)	(52, 0)
	1,790 (10 m)	(0, 52)
	2,480 (11 m)	
	3,350 (12 m)*	
CMA-CGM/CSCL/CCNI	1,790 (10 m)	(52, 0)
	2,516 (11 m, inicial)	(0, 52)
	3,350 (12 m)*	
CSAV	1,790 (10 m)	(23.1, 0)
	2,599 (11 m, inicial)	(0, 23.1)
	3,350 (12 m)*	
APL(2)/Hamburg-Sud	1,324 (9 m, inicial)	
	1,790 (10 m)	(0, 0)
	2,480 (11 m)	(0, 52)
	3,350 (12 m)*	

Fuente: Estimación del Equipo de Estudio de JICA

* Sólo considerado en el escenario de 2030 con escala sólo en La Unión

** Escala adicional al Puerto de La Unión

2) Escala adicional como hub de trasbordo

A fin de examinar el potencial del Puerto de La Unión como un hub de trasbordo, se ha supuesto que utilizará los servicios del Puerto de La Unión, una ruta troncal que conecta Asia Oriental (incluyendo el puerto de Shanghai, Hong Kong y Shenzhen) con la costa este de América del Norte (puestos de Nueva York, Virginia, Savannah y Miami, con un buque de 4.230 TEU (13 m de calado) co-operado por dos empresas, tal como se muestra en la Tabla 9.9. En la actualidad, este servicio sólo hace escala el Puerto de Lázaro Cárdenas (México) en América Central.

Se prevé que aumentará la frecuencia de escala en el Puerto de La Unión de los buques que navegan en sentido este después de hacer escala en el Puerto de Lázaro Cárdenas, y en sentido

oeste antes de hacer escala en el mismo puerto. Puesto que estos son escalas adicionales al servicio existente, se asume que no es posible permitir un tiempo largo de espera (más de 0,2 horas) cuando un buque entra en el canal de acceso al puerto de La Unión por razones del cumplimiento del programa de servicio. Es decir, el buque original con capacidad de 4.230 TEU y 13 m de calado puede atracar en el Puerto de La Unión solamente si la profundidad del canal de navegación es de -14 m o más.

Al mismo tiempo, se considera además un nuevo servicio de alimentador que conecte con la ruta troncal antes mencionado en el Puerto de La Unión por transbordo (véase también la Tabla 9.9). De acuerdo con los resultados del ensayo preliminar, se supone que habrá un nuevo servicio operando entre el Puerto de La Unión y el Puerto Balboa a través de Corinto y Caldera. El servicio de alimentador al oeste desde el Puerto de La Unión que conecta con los puertos Acajutla y Quetzal no será viable por la cantidad de contenedores transportados.

La empresa naviera “A” indicada en la Tabla 9.9, que es uno de los operadores de la ruta troncal y el único operador que presta el servicio de alimentador, actualmente no tiene ningún servicio de transporte regular en la Costa del Pacífico de América Central (por lo tanto, no se incluye en la Tabla 9.8). La razón por la cual la empresa naviera “A” ha sido seleccionada como un ejemplo de una empresa que utiliza el Puerto de La Unión como un hub de trasbordo, es que el efecto de su entrada en el mercado de transporte marítimo en la Costa del Pacífico de América Central puede ser claramente medido.

Tabla 9.9 Posibles alternativas a ser agregadas como un servicio de transbordo en el Puerto de La Unión

Operador	Capacidad media en TEU (calado)	Escalas al año y el puerto de arribo
A/B	2,480 (11 m)* 3,350 (12 m) 4,230 (13 m, inicial)	104.0 (Semanal, en ambas direcciones) Asia Oriental - Lázaro Cárdenas - La Unión - Miami - Nueva York
A	2,480 (11 m)* 3,350 (12 m)**	52.0 (Semanal) La Unión, Corinto, Caldera, Balboa

Fuente: Estimación del Equipo de Estudio de JICA

* Sólo en 2020, **sólo en 2030

3) Diseño de escenarios combinando los posibles servicios

El escenario de la red de navegación marítima para introducir en el modelo de asignación de contenedores de carga se establece combinando los posibles servicios de cada empresa naviera, como se ha mencionado anteriormente. Para cada profundidad de canal de acceso al Puerto de La Unión, existe alrededor de 10 a 15 combinaciones según el tamaño máximo de los buques que pueden atracar en cada puerto. Al mismo tiempo, a fin de responder a la creciente demanda de transporte de los países CA4, se ha considerado que todos los portacontenedores que navegan en el área aumentarán su tamaño. Por ejemplo, se introducirán los buques de 2.480 TEU de capacidad con 11 m de calado, salvo en el caso de que se asuma el tamaño del buque por cada escenario. La Figura 9.7 también muestra un ejemplo de la red de transporte marítimo introducido en el modelo de los puertos CA4 en la Costa del Pacífico.

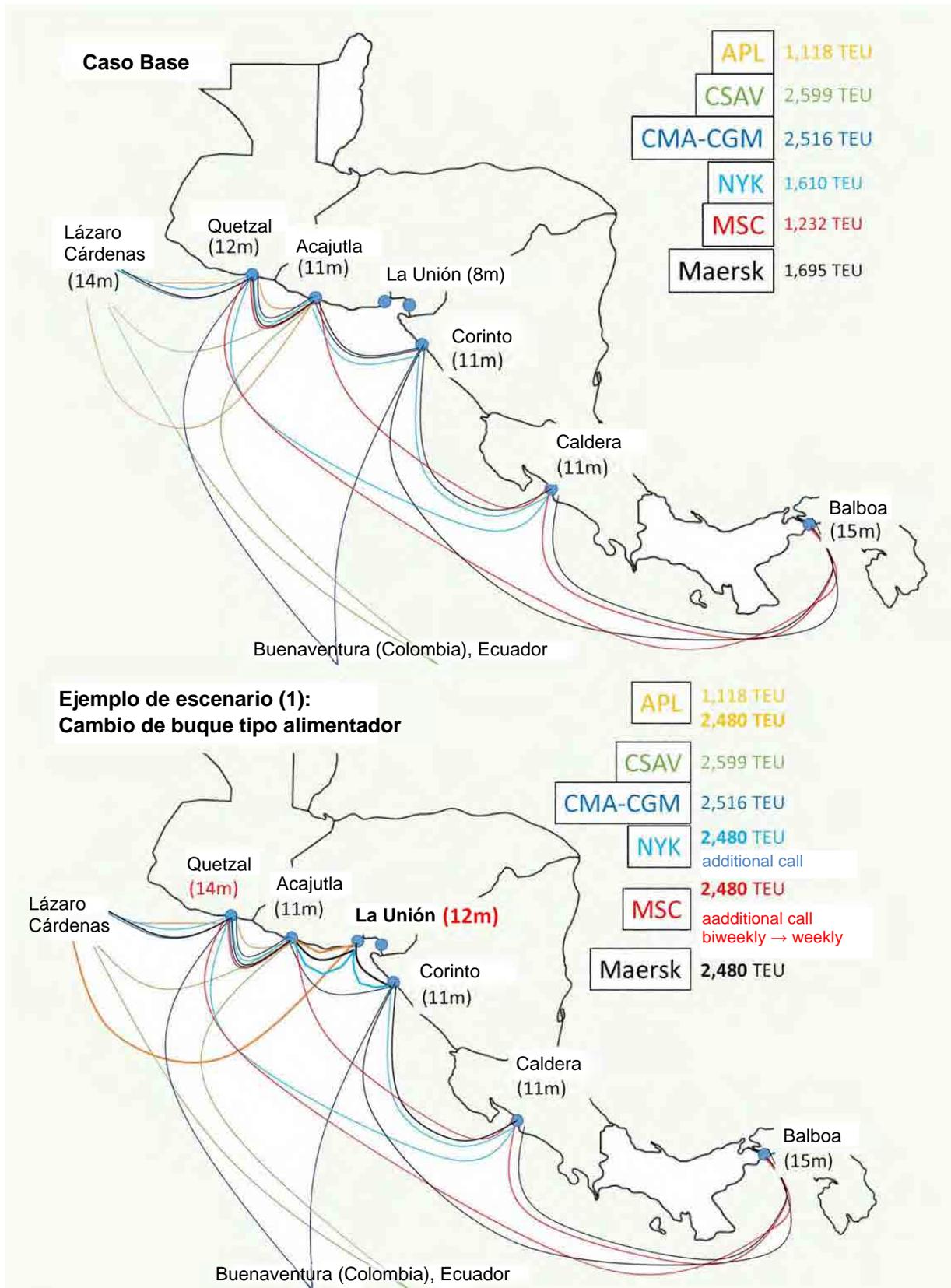


Figura 9.7 Base y caso ejemplar de la red de transporte marítimo (solamente los servicios de escala en los puertos de Acajutla y La Unión)

Fuente: Preparada por el Equipo de Estudio de JICA con base en la base de datos de MDS

9.2.3 Resultados del modelo de cálculo

(1) Modelo de cálculo y revisión de los resultados

Se llevó a cabo el cálculo por modelo para cada escenario preparado anteriormente. El número de cálculos es alrededor de 100 veces para cada año. Los resultados del cálculo fueron revisados aplicando los siguientes criterios:

- 1) si el modelo de cálculo ha sido o no convergido;
- 2) si cada empresa naviera puede o no recolectar suficiente carga;
- 3) si el factor de carga de cada servicio es o demasiado pequeño o demasiado grande (por ejemplo, más del 100%); y
- 4) si los ingresos esperados son o no demasiado reducidos frente al costo de envío adicional (aunque en teoría se puede calcular a partir del modelo).

Como resultado de ello, 23 escenarios (de -9 m a -14 m de profundidad del canal de navegación) de 104 combinaciones en 2010 fueron seleccionados como “escenarios factibles” que se consideran posiblemente realizados, mientras que 22 escenarios de 121 combinaciones fueron seleccionados como “escenarios factibles” para el año 2030. Es necesario tomar en cuenta que la posibilidad de ocurrencia de cada escenario es muy diferente y que es muy difícil predecir cuál de todos los escenarios puede ocurrir con mayor probabilidad. Otro punto importante es que uno de los escenarios ha sido establecido para una determinada profundidad del canal de navegación con una capacidad máxima de embarcación que puede navegar por el canal. En otras palabras, si un escenario se considera "factible" para una determinada profundidad del canal, también es automáticamente viable para cualquier caso con un canal más profundo de lo previsto originalmente.

(2) Ejemplo de los resultados del cálculo: rendimiento de los contenedores de carga para cada escenario factible

En la Figura 9.8 se presenta la cantidad de carga de contenedores manejada en los puertos de La Unión y Acajutla en el año 2020 para cada escenario factible con la profundidad del canal de navegación. En la figura, se presentan los resultados para dos escenarios: 1) escenario de modificación de la red de servicios existentes del alimentador y way-port en el canal con profundidades de -9 m a -12 m; y 2) escenarios con escalas adicionales de los buques como un hub de trasbordo con profundidades de -12 m a -14 m. En esta misma figura se indica también el resultado del escenario “sin el dragado” con una profundidad de -8 m.

En la figura se observa que el rendimiento de los portacontenedores en el Puerto de La Unión aumentará en promedio cuanto mayor sea la profundidad del canal, mientras que el rendimiento en el Puerto de Acajutla tiende a disminuir cuanto mayor sea la profundidad del canal de navegación en el Puerto de La Unión.

Además, la misma tendencia en el Puerto de La Unión puede ser observada en la Figura 9.9, donde el mismo monto aparece en el 2030, mientras que la tendencia en el Puerto de Acajutla no es clara. La restricción de la capacidad de manejo en el Puerto de Acajutla (considerando un tiempo adicional de espera cuando excede 200.000 TEU) parece ser muy eficaz en el modelo de cálculo en 2030.

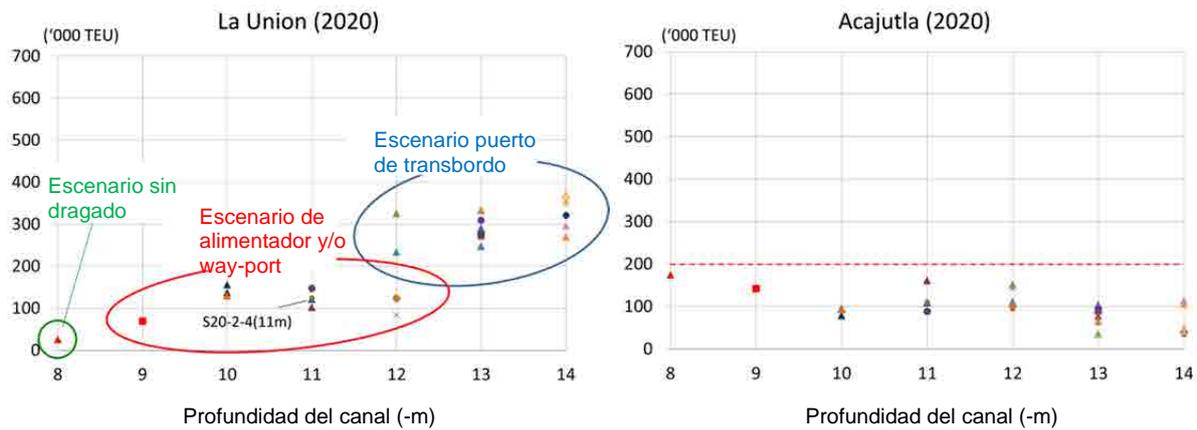


Figura 9.8 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2020

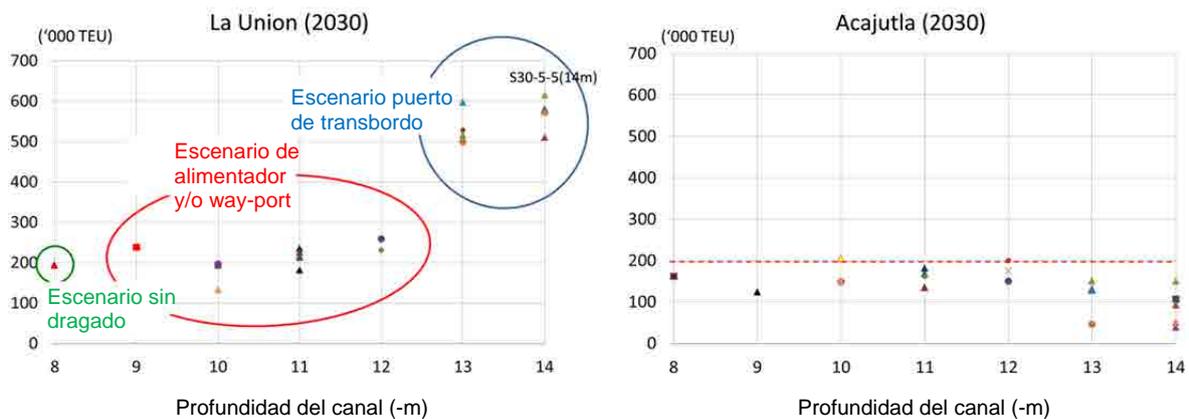


Figura 9.9 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2030

(3) Simulación de la política utilizando el modelo: aumento de la tarifa y el desarrollo regional en la región oriental de El Salvador

1) Aumento de la tarifa en el Puerto de La Unión

Después de firmar el contrato de concesión, está previsto aumentar la tarifa para la manipulación de contenedores en el Puerto de La Unión. Con el fin de medir el impacto del aumento de las tarifas, se realizará nuevamente el cálculo por modelo para todos los escenarios definidos en el párrafo (1), introduciendo la nueva tarifa (185,76 US\$/TEU) para el Puerto de La Unión, en lugar de la tarifa actual (65,79 US\$/TEU).

En la Figura 9.10 se presenta la cantidad de carga de contenedores manejada en los puertos de La Unión y Acajutla en el año 2020 con el correspondiente aumento de la tarifa del Puerto de La Unión. Al comparar con la Figura 9.8 antes de aumentar la tarifa, el rendimiento de la carga de contenedores en el Puerto de La Unión calculado para cada escenario es ligeramente menor para cada profundidad canal, pero la diferencia no es grande. La diferencia en el rendimiento de carga de contenedores del Puerto de Acajutla tampoco es grande. En la Figura 9.11 se presenta la cantidad de carga de contenedores manejada en los puertos de La Unión y Acajutla en el año 2030 con el correspondiente aumento de la tarifa del Puerto de La Unión.

Al comparar con la Figura 9.9 antes de aumentar la tarifa, el rendimiento de la carga de contenedores en el Puerto de La Unión calculado para cada escenario también es ligeramente menor para cada canal, mientras que el rendimiento de carga de contenedores del puerto de Acajutla es ligeramente más grande y superó la capacidad del manejo de contenedores del puerto (200.000 TEU) en algunos escenarios.

Estos resultados implican que el impacto del aumento de la tarifa en el Puerto de La Unión sobre el rendimiento de la carga de contenedores es negativo, pero no significativo.

Con el fin de examinar el impacto negativo del aumento de la tarifa, se realizó la simulación sobre la barrera en la frontera nacional en el transporte terrestre. En la Figura 9.12 se presenta un ejemplo de los efectos del aumento de la tarifa en el rendimiento de carga de contenedores para cada puerto CA4 en el Escenario S30-5-5 (14 m) con -14 m de profundidad del canal para el año 2030. En el caso de asumir el nivel actual de la frontera nacional, el cambio en el rendimiento de carga de contenedores en el Puerto de La Unión después de aumentar las tarifas es muy reducido; por otro lado, el efecto del aumento de la tarifa es más importante cuando todos los obstáculos hayan sido eliminados en la frontera nacional.

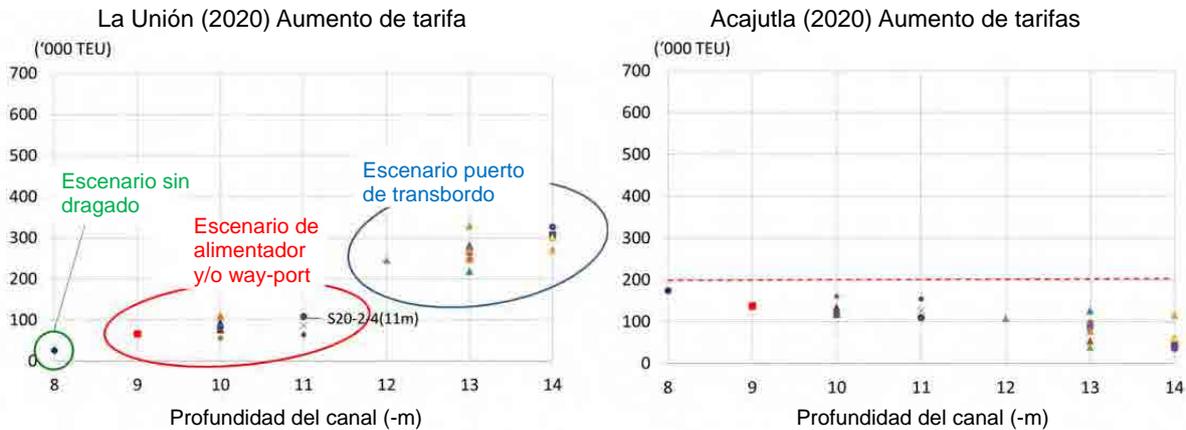


Figura 9.10 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2020 (en caso de aumentar la tarifa en el Puerto de La Unión)

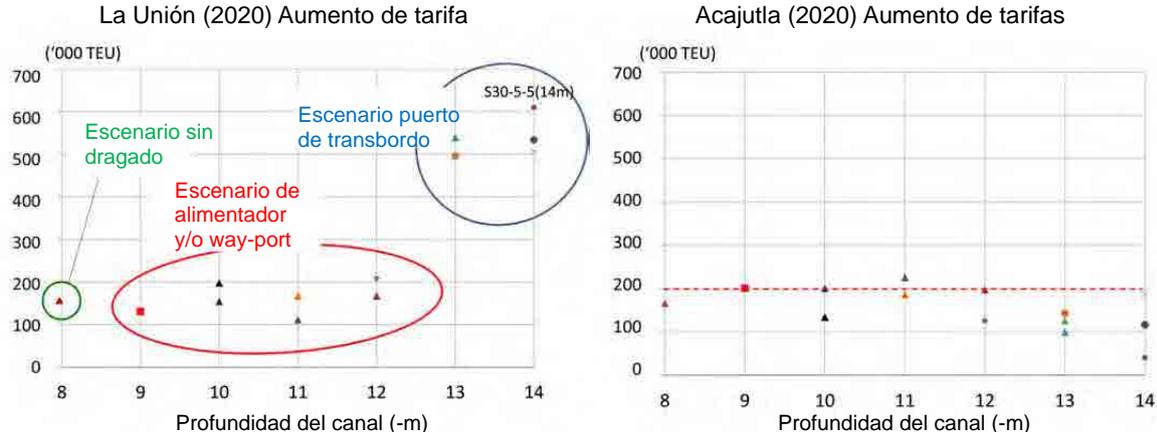


Figura 9.11 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2030 (en caso de aumentar la tarifa en el Puerto de La Unión)

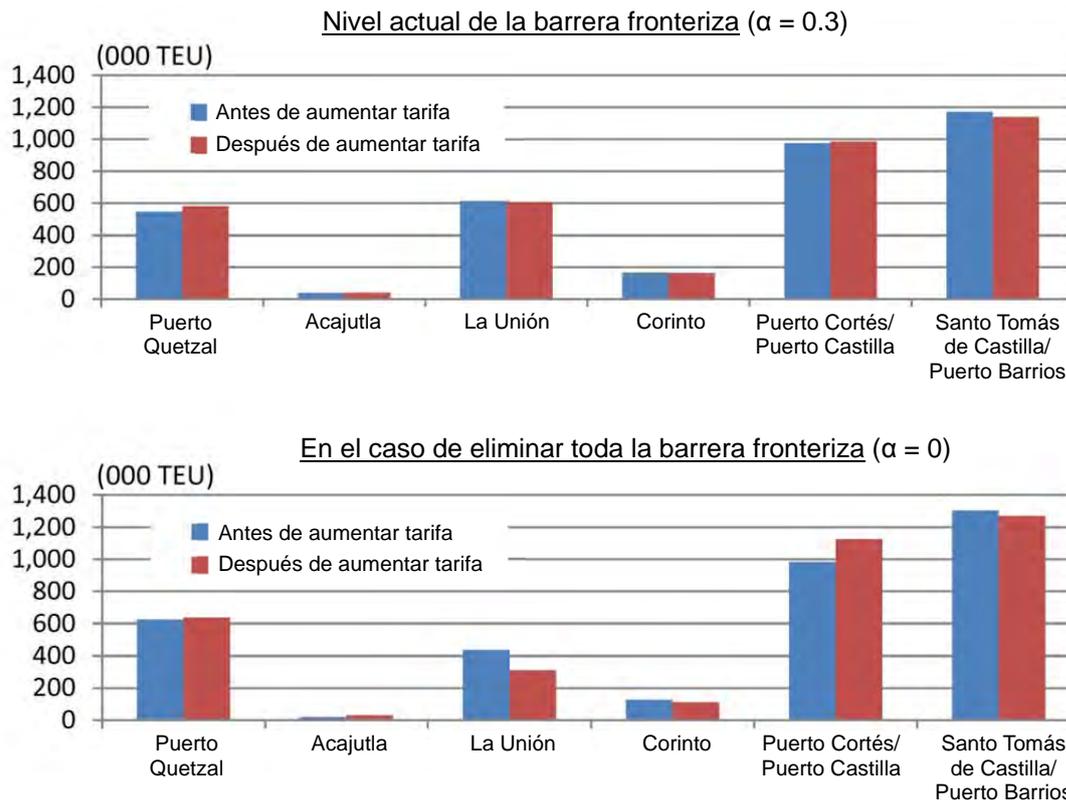


Figura 9.12 Diferencia del impacto del aumento de la tarifa sobre el rendimiento actual de la carga de contenedores: con la barrera fronteriza (arriba) y sin ninguna barrera fronteriza (abajo)
(En el escenario S30-5-5 (14 m) con -14 m de profundidad del canal en el año 2030)

2) Desarrollo regional en el este de El Salvador

El plan original de desarrollo del Puerto de La Unión fue integrado con el plan de desarrollo regional de la zona de influencia en la región oriental de El Salvador. Reflejando esto, se realizó una simulación cambiando el equilibrio de la carga procedida de/destinada a El Salvador, entre las regiones occidental y oriental. Concretamente, en el OD original, el porcentaje de la carga de contenedores entre El Salvador Occidental y Oriental se definió en el 94% y 6%. En esta simulación, estos porcentajes fueron cambiados a 70% y 30% (en 2020) debido al desarrollo de la región oriental. Cabe recordar que la cantidad total de la carga OD no ha sido cambiada del modelo original.

En la Figura 9.13 se presenta la cantidad de carga de contenedores manejada en los puertos de La Unión y Acajutla en el año 2020, tomando en cuenta el desarrollo de la región oriental de El Salvador. Al comparar con la Figura 9.8 (modelo original), se espera que aumentará la cantidad de la carga de contenedores en el Puerto de La Unión, sobre todo en los escenarios del alimentador y/o way-port debido a la extensión de la zona de influencia del puerto. Sin embargo, la cantidad total de carga de contenedores en los puertos La Unión y Acajutla casi no cambia porque la cantidad total de la OD procedente o destinado a El Salvador no ha cambiado.

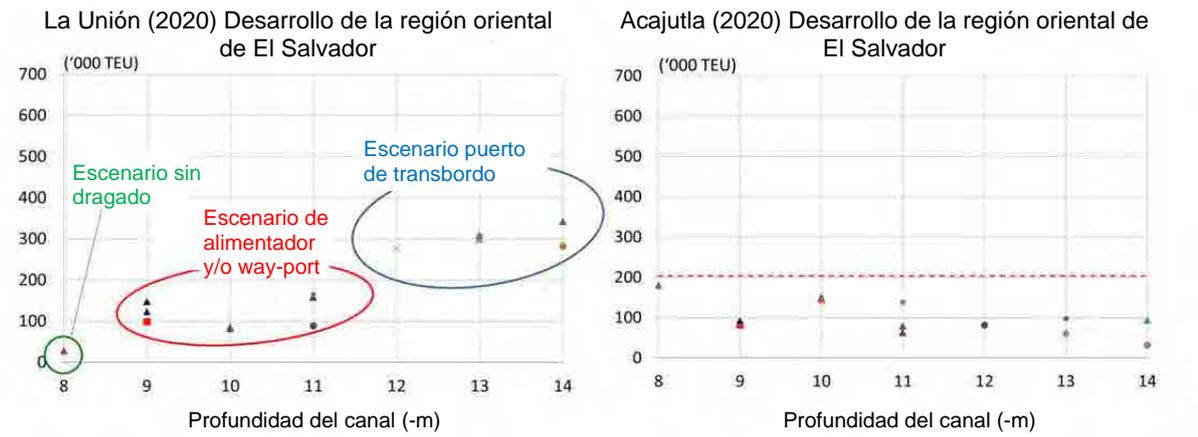


Figura 9.13 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2020 (considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador)

9.3 Análisis económico y financiero en el modelo original

9.3.1 Definición y metodología

(1) Ingresos netos del Puerto de La Unión (sin incluir el costo de dragado)

La óptima profundidad de canal del Puerto de La Unión puede ser determinada comparando la diferencia entre el costo de dragado y los ingresos netos (sin incluir el costo de dragado) generados de la operación de contenedores del Puerto de La Unión según la profundidad del canal. El ingreso neto sin incluir el costo de dragado del Puerto de La Unión puede ser determinado deduciendo el costo de operación de contenedores del ingreso obtenido por el uso de los buques portacontenedores y manejo de contenedores (véase la Tabla 9.10). Las tarifas aplicadas a los buques y contenedores fueron calculadas sobre la base de la tarifa del Puerto de La Unión (véase la Tabla 9.11). De acuerdo con las tarifas, los cargos para la acomodación del buque y para la manipulación de contenedores dependen del número y del tamaño de los buques, así como el número de las cajas contenedores, que se han obtenido de los resultados del cálculo por modelo. CEPA ha estimado los costos de operación de contenedores en el Puerto de La Unión en su informe sobre el plan tarifario de la concesión. Según este informe, el costo está constituido por los gastos fijos y por los gastos variables que dependen del volumen de manejo de contenedores. El costo de la operación de contenedores se calcula con los valores de los gastos fijos y los valores calculados con base en el costo unitario por caja que figura en el informe (véase la Tabla 9.12).

Tabla 9.10 Ingresos y gastos del negocio de contenedores en el Puerto de La Unión

Ingresos	Observaciones
Cargo por el servicio a los buques	Tarifas del Puerto de La Unión (véase la Tabla 9.11)
Cargo por el servicio de manejo de contenedores	
Gastos (sin incluir el costo de dragado)	
Costo de operación de contenedores	Estimado sobre la base de Estados Financieros en el informe “ESTRUCTURA TARIFARIA DE LA UNIÓN” de CEPA (véase la Tabla 9.12)
Ingreso neto (sin incluir el costo de dragado)	Ingresos - Gastos

Tabla 9.11 Tarifas del Puerto de La Unión (para los contenedores)

Ítem	Observaciones
a) Servicios a buques	
Uso del canal de acceso, ayudas a la navegación y practicaaje	@ (0,42\$ * GT) MAX 17.500GT
Atraque o desatraque, remolque, amarre y desamarre y las primeras 24 horas de permanencia del buque en el muelle	@ (0,08\$ * GT) MAX 17.500GT
Estancia. Por cada metro de longitud por hora o fracción después de las primeras 24 horas hasta que el buque abandone muelle.	@ (0,35\$ * LOA) por 24 horas
b) Servicios para la manipulación de contenedores	
Carga y descarga en el muelle, transferencia, carga/descarga en la yarda, recepción y envío	@ (\$111,84 * CAJA)

Fuente: ESTRUCTURA TARIFARIA DE LA UNIÓN

Tabla 9.12 Costo de operación de terminal de contenedores

Ítem	Costo anual (en dólares EE.UU.)	Observaciones
Gastos fijos	US\$2.683.832/año	Gastos de personal, servicios básicos, uso y consumo de bienes, mantenimiento
Costos dependientes de la cantidad de contenedores	US\$15,52/año	Servicios contratados, mantenimiento
Gastos fijos y costos dependientes de la cantidad de contenedores	US\$513.243/año US\$11,47/caja	Combustibles y lubricantes

Fuente: Preparada con base en la ESTRUCTURA TARIFARIA DE LA UNIÓN

(2) Ingreso neto del Puerto de La Unión (sin incluir el costo de dragado)

Para ingreso neto (sin incluir el costo de dragado) de todo el sector de los puertos de El Salvador, se debe tomar en cuenta no sólo el ingreso neto del Puerto de La Unión, sino también el del Puerto de Acajutla, como se muestra en la Tabla 9.13.

El costo de operación de la terminal de contenedores del Puerto de Acajutla ha sido calculado aplicando el mismo método que el del Puerto de La Unión. Las tarifas del Puerto de Acajutla se muestran en la Tabla 9.14.

Tabla 9.13 Ingresos y gastos del negocio de contenedores en los puertos de El Salvador

Ingresos		Observaciones
	Ingresos procedentes de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión (Igual que en la Tabla 9.10)	Véase las Tablas 9.10 y 9.11
	Ingresos procedentes de la operación de contenedores en el Puerto de Acajutla	Ingresos procedentes de la operación de contenedores en el Puerto de Acajutla (Véase las Tablas 9.14)
Gastos (sin incluir el costo de dragado)		
	Costo de la operación de contenedores del Puerto de La Unión (Igual que en la Tabla 9.10)	Véase las Tablas 9.10 y 9.12
	Costo de la operación Costo del Puerto de Acajutla	Mismo método que el Puerto de La Unión
Ingreso neto (sin incluir el costo de dragado)		Ingresos - Gastos

Tabla 9.14 Tarifas del Puerto de Acajutla (para los contenedores)

Ítem	Observaciones
a) Servicio a los buques	
Atraque/desatraque en el muelle	@ (\$0,31 * GT)
Ayuda a la navegación	\$98,42/buque
Estancia en el muelle	@ (\$2,92 * LOA) por 24 horas
b) Servicios para la manipulación de contenedores	
Carga/Descarga en el muelle y yarda	@ (\$124,92 *CAJA) (lleno, vacío)

Fuente: CEPA

(3) Beneficio neto de la economía salvadoreña (sin incluir el costo de dragado)

El beneficio neto para la economía salvadoreña generado por el dragado del canal se obtiene por la suma del ingreso neto aumentado para el sector portuario salvadoreño (que se estima en el numeral (2)) y cantidad disminuida de los gastos de embarque de la carga de contenedores salvadoreños, comparando con el escenario “sin el dragado” que se muestra en la Tabla 9.15. El ingreso neto del sector portuario salvadoreño y el costo para las empresas navieras salvadoreñas en el escenario “sin el dragado” se obtienen mediante el cálculo aplicando una profundidad del canal de 8 m.

Tabla 9.15 Beneficio económico y el costo del proyecto de dragado del canal en el Puerto de La Unión (Comparación con el escenario “sin el dragado”)

Beneficios		
	Aumento o disminución de los ingresos por la operación de contenedores en el Puerto de La Unión	Tarifas de los puertos
	Aumento o disminución de los ingresos por la operación de contenedores en el Puerto de Acajutla	
	Aumento o disminución del costo de envío de la carga de contenedores salvadoreños de exportación e importación	Calculado por el modelo
Costos		
	Aumento o disminución de los gastos de operación de contenedores en el Puerto de La Unión	El mismo método que el Puerto de La Unión
	Aumento o disminución de los gastos de operación de contenedores en el Puerto de Acajutla	

9.3.2 Los ingresos netos procedentes de la operación de contenedores del puerto de La Unión y el dragado según la profundidad del canal

Los resultados del cálculo por modelo indican la cantidad de contenedores cargados en el Puerto de La Unión expresada en TEU. Se debió convertir los valores en cajas y agregar el número de contenedores vacíos. El número de contenedores vacíos se obtiene a partir de la tasa de contenedores vacíos estimada en la sección anterior (en 10.2.1 (2)). La cantidad de contenedores expresada en TEU ha sido convertida en el número de contenedores (expresado en cajas) utilizando el factor de conversión de 1,7 TEU/caja, que ha sido calculada a partir del número de contenedores de 20 pies y 40 pies en el puerto de Acajutla en la actualidad.

(1) Ingreso neto y el costo de dragado

El ingreso neto procedente de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión se obtiene deduciendo el costo de operación de contenedores calculado con base en la Tabla 9.12, de los ingresos calculados con base en la Tabla 9.11. Los ingresos netos estimados del Puerto de La Unión bajo varios escenarios en el 2020 y el 2030 se muestran en la Figura 9.14 y la Figura 9.15.

También aparecen en estas figuras los costos de dragado según la profundidad del canal. Se prepararon dos valores para el costo de dragado, porque el volumen de sedimentación fue calculado utilizando un modelo exponencial y un modelo lineal como se muestra en la Tabla 9.16. Cabe recordar que en estos costos de dragado se incluyen no sólo el costo de dragado por una empresa dragadora contratada, sino también el costo de re-dragado para mantenimiento. Dado que se supone que el dragado de mantenimiento durará por diez años según el Capítulo 5, una décima parte de los costos de dragado fue agregada al costo de mantenimiento en concepto del promedio anual.

El mejor escenario para CEPA desde el punto de vista financiero en la operación de contenedores del Puerto de La Unión es el caso en que se obtiene el ingreso neto máximo para cada profundidad. En las Tablas 9.17 y 9.18 se presentan los ingresos y gastos de tales casos.

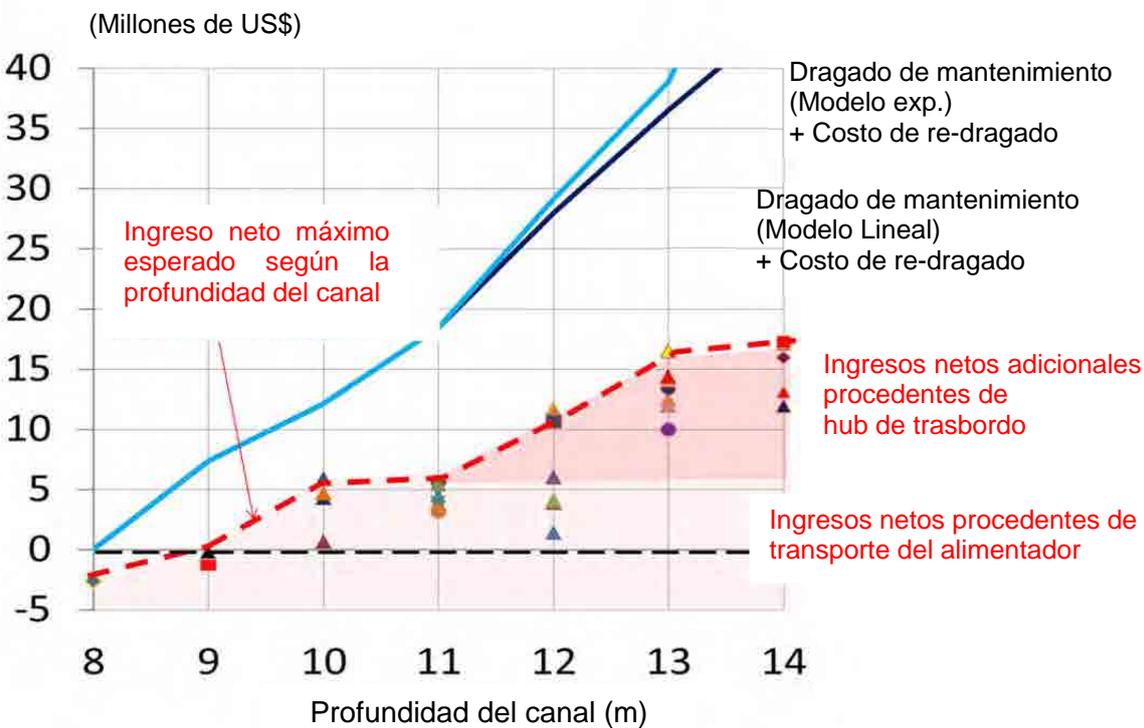


Figura 9.14 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)

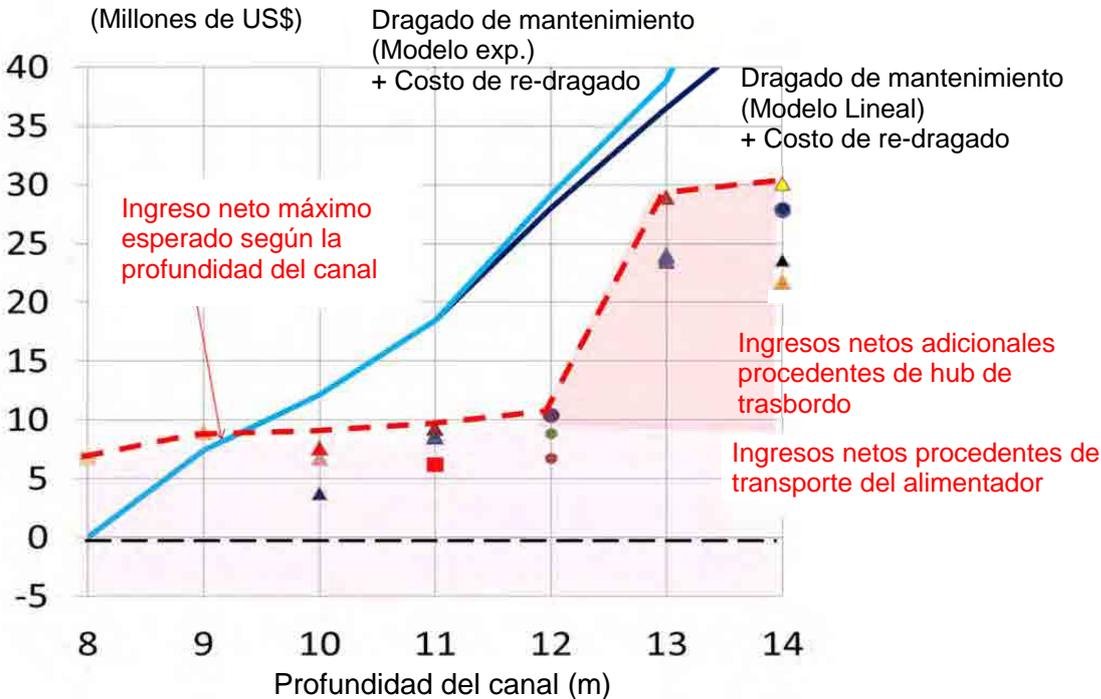


Figura 9.15 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2030)

Asimismo, en las Tablas 9.19 y 9.20 se presenta la diferencia máxima entre el ingreso neto y costo de dragado en 2020 y 2030 según la profundidad del canal. La profundidad óptima del canal desde el punto de vista financiero de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión, es la profundidad que arroja mayor valor obtenido restando el costo de dragado del ingreso neto. El canal con profundidad de 8 m arroja el valor más alto (pero negativo) en ambas funciones del costo de dragado para el año 2020. Asimismo, la profundidad del canal de 8 m arroja el valor más alto en ambas funciones del costo de dragado para el año 2030.

Tabla 9.16 Costo de dragado según la profundidad del canal y según el modelo

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m (Escenario sin el dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Modified exp. model	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear model	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541

Tabla 9.17 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m (Escenario sin el dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingresos	2,115	7,335	12,898	12,898	20,155	26,751	27,878
Gastos	-4,755	-5,490	-6,983	-6,983	-8,525	-10,236	-10,626
Ingreso neto	-2,641	1,845	5,917	5,917	11,630	16,515	17,253

Tabla 9.18 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión (2030)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingresos	14,185	17,119	17,119	17,124	18,963	43,167	44,669
Gastos	-7,489	-8,212	-8,212	-7,893	-8,596	-14,240	-14,565
Ingreso neto	6,696	8,908	8,908	9,230	10,367	28,926	30,104

Tabla 9.19 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingreso neto	-2,641	1,845	5,917	5,917	11,630	16,515	17,253
Costo de dragado							
Modelo exponencial modificado	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Modelo Lineal	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541

Diferencia								
	Modelo exponencial modificado	-2,641	-5,570	-6,200	-12,590	-17,512	-22,395	-42,750
	Modelo Lineal	-2,641	-5,570	-6,200	-12,590	-16,368	-20,048	-27,288

Tabla 9.20 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2030)

Unidad: US\$

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m	
Ingreso neto	6,696	8,908	8,908	9,230	10,367	28,926	30,104	
Costo de dragado								
	Modelo exponencial modificado	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
	Modelo Lineal	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Diferencia								
	Modelo exponencial modificado	6,696	1,491	-3,209	-9,277	-18,775	-9,984	-29,899
	Modelo Lineal	6,696	1,491	-3,209	-9,277	-17,631	-7,637	-14,437

9.3.3 Ingreso neto generado por la operación de contenedores en el sector portuario salvadoreño y el costo de dragado según profundidades del canal

(1) Ingreso neto y el costo de dragado

Los resultados del cálculo del ingreso neto (excepto el costo de dragado) de los puertos de Acajutla y La Unión en varios escenarios en los años 2020 y 2030 se presentan en la Figura 9.16 y la Figura 9.17, respectivamente. Los costos de dragado por profundidad de canal también se exponen en las figuras.

En las Tablas 9.21 y 9.22 se presentan los ingresos y los gastos del mejor escenario desde el punto de vista financiero en la operación de contenedores del sector portuario salvadoreño (puertos de Acajutla + La Unión), respectivamente.

Asimismo, en las Tablas 9.23 y 9.24 se presenta la diferencia máxima entre el ingreso neto y costo de dragado en 2020 y 2030 según la profundidad del canal. 8 m es la profundidad óptima del canal desde el punto de vista financiero de la operación de contenedores de los puertos de Acajutla y La Unión en ambos modelos (exponencial modificado y lineal) de costo de dragado en 2020. También es la profundidad óptima del canal en términos del costo de dragado en ambos modelos para el año 2030.

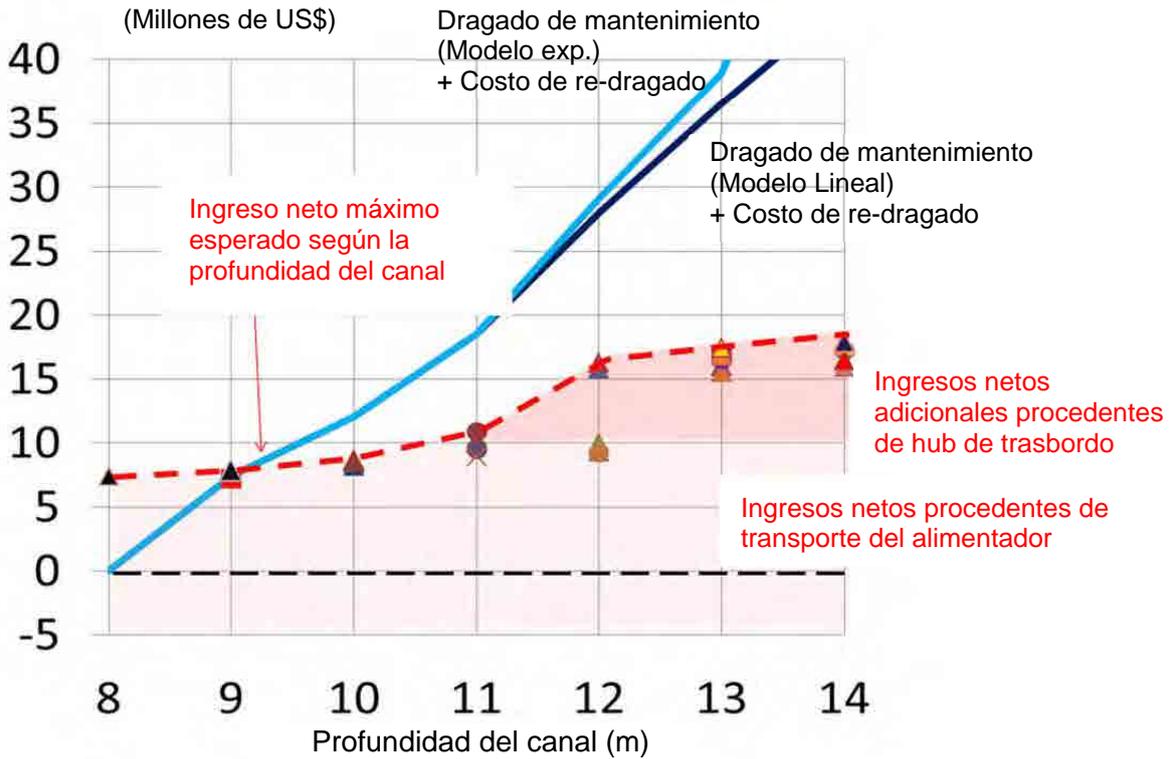


Figura 9.16 Ingreso neto estimado para el sector portuario salvadoreño (suma de los puertos de Acajutla y La Unión) y el costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)

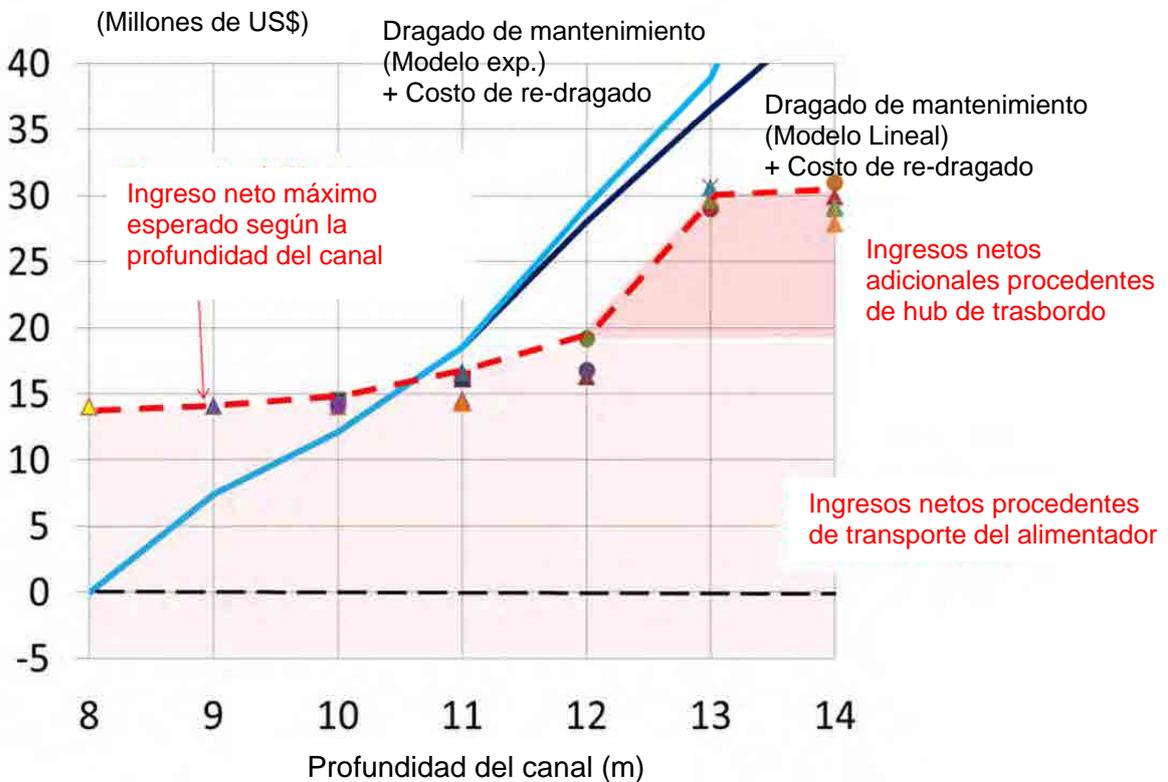


Figura 9.17 Ingreso neto estimado para el sector portuario salvadoreño (suma de los puertos de Acajutla y La Unión) y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)

Tabla 9.21 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en los puertos de Acajutla y La Unión (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m (Escenario sin el dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingresos	19,055	19,688	20,265	23,544	30,572	32,768	33,272
Gastos	-11,625	-11,847	-12,064	-12,692	-14,336	-15,343	-15,416
Ingreso neto	7,430	7,849	8,201	10,852	16,236	17,424	17,856

Tabla 9.22 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en los puertos de Acajutla y La Unión (2030)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m (Escenario sin el dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingresos	28,003	28,213	28,318	31,078	34,495	50,066	51,295
Gastos	-13,999	-14,134	-13,851	-14,494	-15,314	-19,475	-19,332
Ingreso neto	14,005	14,079	14,466	16,584	19,181	30,591	31,964

Tabla 9.23 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m (Escenario sin el dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingreso neto	7,430	7,841	8,201	10,852	16,236	17,424	17,856
Costo de dragado							
Modelo exponencial modificado	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Modelo Lineal	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Diferencia							
Modelo exponencial modificado	7,430	426	-3,916	-7,655	-12,906	-21,486	-42,147
Modelo Lineal	7,430	426	-3,916	-7,655	-11,762	-19,139	-26,685

Tabla 9.24 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingreso neto	14,005	14,079	14,466	16,584	19,181	30,591	31,964
Costo de dragado							
Modelo exponencial modificado	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Modelo Lineal	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Diferencia							
Modelo exponencial modificado	14,005	6,664	2,349	-1,923	-9,961	-8,319	-28,039
Modelo Lineal	14,005	6,664	2,349	-1,923	-8,817	-5,972	-12,577

9.3.4 Beneficio económico de El Salvador por la manipulación de contenedores en el Puerto de La Unión

Se analizó el beneficio económico del dragado del canal en varios escenarios con el modelo de cálculo para los años 2020 y 2030 (“escenario con el dragado”) comparando con el caso en que no se efectúa el dragado del canal (“escenario sin el dragado”).

El Puerto de La Unión podría acomodar buques más grandes aumentando la profundidad del canal. Esto traería el aumento del volumen del contenedor en los puertos de El Salvador y, por consiguiente, un aumento en el ingreso neto del sector portuario salvadoreño. Adicionalmente, se espera que se disminuya el costo de envío de la carga de importación/exportación salvadoreña. Éste es el efecto económico positivo que se espera del proyecto de dragado del canal.

La diferencia de la suma de los ingresos netos de los puertos de La Unión y Acajutla y el costo del transporte de importación/exportación de la carga salvadoreña para los escenarios con y sin el dragado representa el beneficio económico del proyecto de dragado. Dichos valores en el 2020 y el 2030 se muestran en la Figura 9.18 y la Figura 9.19. Los costos de dragado también se exponen en las figuras.

El caso que arroja el máximo beneficio económico para cada profundidad viene a ser el mejor escenario para El Salvador desde el punto de vista económico. En las Tablas 9.25 y 9.26 se resumen los valores de incremento de los ingresos y la disminución de los gastos de los puertos y la disminución del costo de envío de la carga salvadoreña para los años 2020 y 2030 según profundidades del canal.

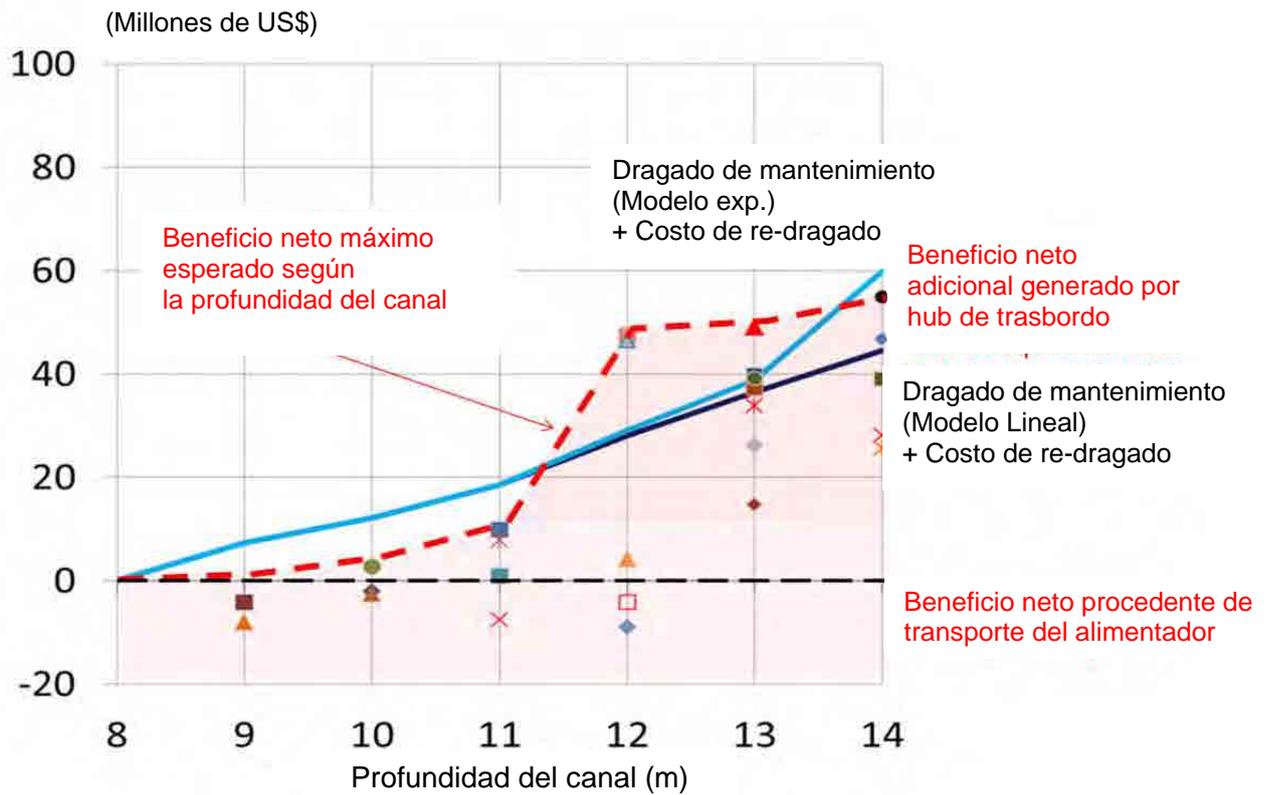


Figura 9.18 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña y el costo de dragado según profundidad del canal (2020)

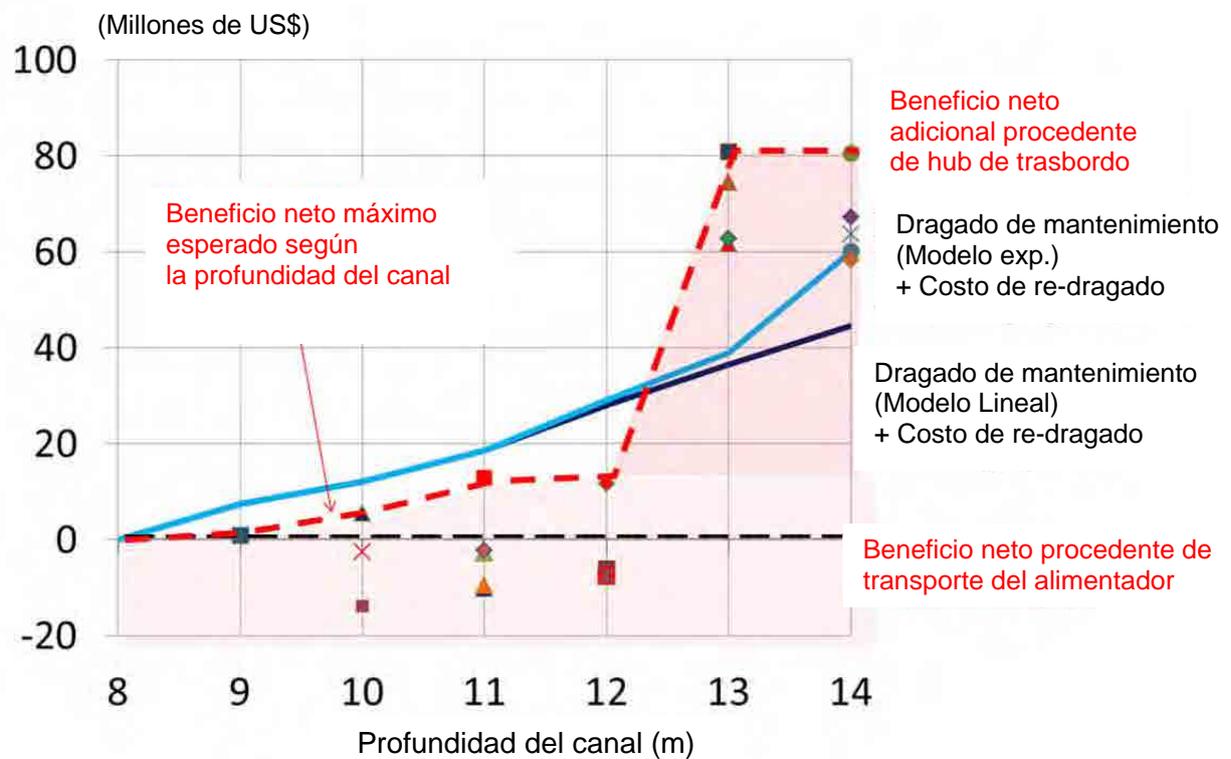


Figura 9.19 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña y el costo de dragado según profundidades del canal (2030)

El beneficio económico en 2020 y 2030 según la profundidad del canal y los costos de dragado se muestra en las Tablas 9.27 y 9.28. La profundidad óptima del canal desde el punto de vista económico para El Salvador es la profundidad que arroja el mayor valor obtenido restando el costo del dragado del beneficio económico. Visto en términos de los gastos, la profundidad del canal de 12 m corresponde a este caso para el año 2020 y la profundidad de 13 m para el año 2030 aplicando el modelo modificado y el modelo lineal.

Tabla 9.25 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Aumento del ingreso neto del sector portuario salvadoreño generados por la operación de contenedores	411	1,132	2,008	8,371	9,380	10,426
Disminución del costo de envío de la carga salvadoreña	-4,563	1,593	7,931	39,139	39,632	44,446
Beneficio neto	-4,152	2,726	9,939	47,510	49,012	54,872

Tabla 9.26 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Aumento del ingreso neto del sector portuario salvadoreño generados por la operación de contenedores	74	462	523	523	16,587	16,587
Disminución del costo de envío de la carga salvadoreña	849	5,084	12,365	12,365	64,246	64,246
Beneficio neto	923	5,546	12,888	12,888	80,833	80,833

Tabla 9.27 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Beneficio Económico	-4,152	2,726	9,939	47,510	49,012	54,872
Costo de dragado						
Modelo exponencial modificado	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Modelo Lineal	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Diferencia						
Modelo exponencial modificado	-11,567	-9,391	-8,568	18,368	10,102	-5,131
Modelo Lineal	-11,567	-9,391	-8,568	19,512	12,449	10,331

Tabla 9.28 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Beneficio Económico	923	5,546	12,888	12,888	80,833	80,833
Costo de dragado						
Modelo exponencial modificado	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Modelo lineal	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Diferencia						
(Modelo exponencial modificado)	-6,492	-6,571	-5,619	-16,254	41,923	20,830
(Modelo lineal)	-6,492	-6,571	-5,619	-15,110	44,270	36,292

9.4 Análisis económico y financiero de simulación de políticas

9.4.1 Ingreso neto de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión (en el caso de aumentar las tarifas) y el costo según la profundidad del dragado del canal

(1) Ingreso neto y el costo de dragado

En la Figura 9.20 y la Figura 9.21 se presentan los ingresos netos estimados del Puerto de La Unión en los escenarios factibles en 2020 y 2030 en el caso de aumentar las tarifas.

En la Tabla 9.29 se presentan las nuevas tarifas aplicadas en este cálculo.

Tabla 9.29 Nuevas tarifas del Puerto de La Unión

Ítem	Observaciones
a) Servicio a los buques	
Uso del canal	@ (0,15\$ * GT)
Piloto práctico	@ (701,79\$ por escala)
Ayudas a la navegación	@ (263,18\$ por escala)
Atraque y desatraque	@ (0,19\$ * GT)
Amarre y desamarre	@ (0,03\$ * GT)
Estancia	@ (0,09\$ * LOA * horas)
b) Servicios de manipulación de contenedores	
Envío	@ (10,61\$ * GT)
Muellaje	@ (20,67\$ * TEU (contenedor completo))
Carga y descarga entre el buque y el muelle	@ (82,88\$ * GT)
Transferencia desde el muelle hasta la yarda	@ (42,43\$ * GT)
Carga/descarga en la yarda	@ (29,17\$ * Laden TEU + 26,21\$ * TEU vacío)

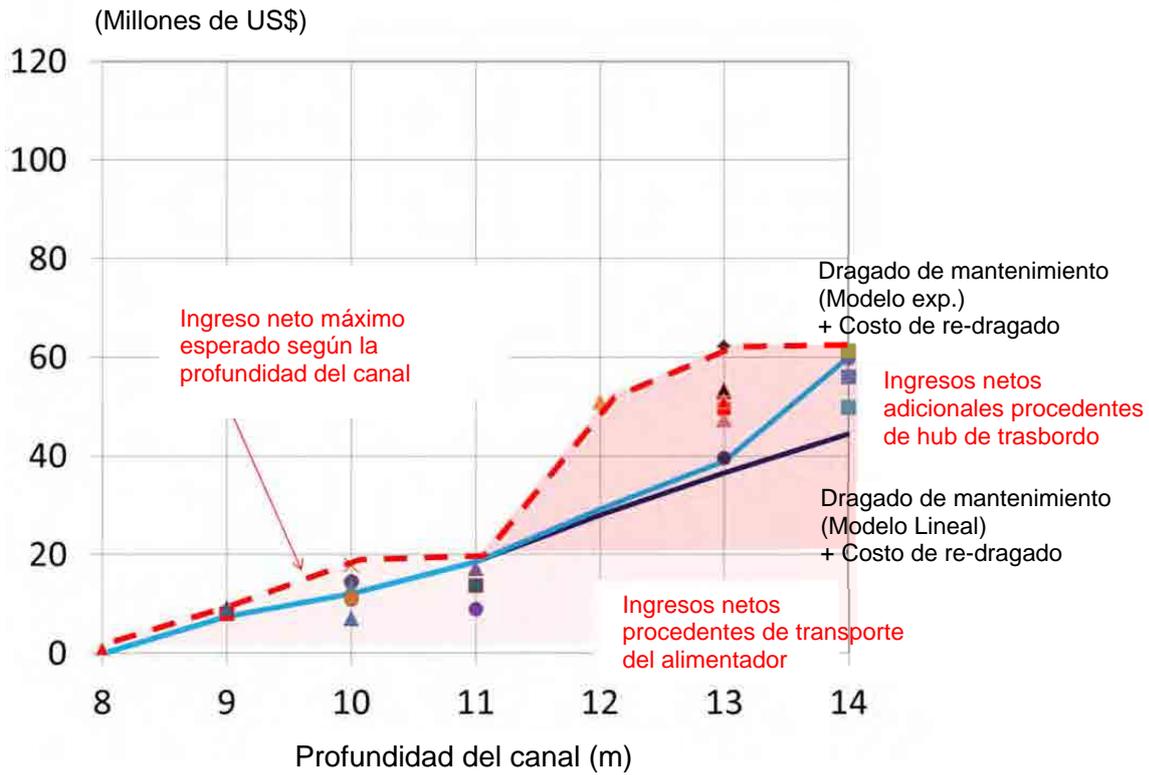


Figura 9.20 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)

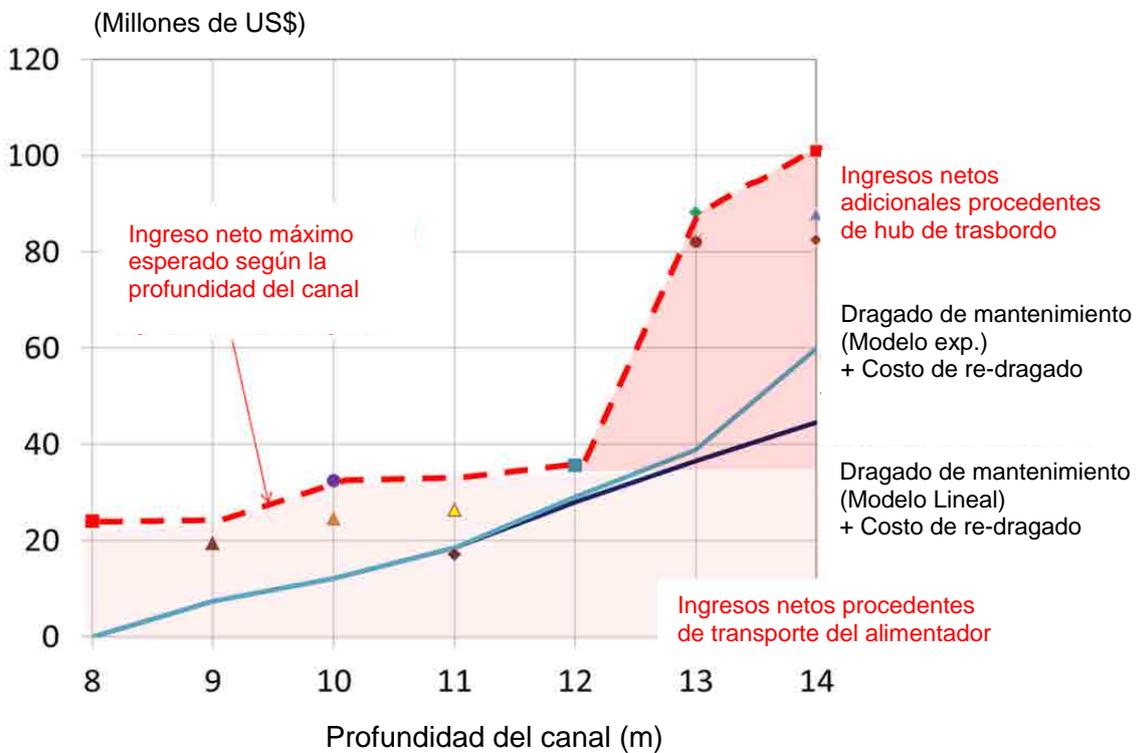


Figura 9.21 Ingreso neto estimado en caso de aumentar las tarifas y el costo del dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)

El mejor escenario para CEPA desde el punto de vista financiero en la operación de contenedores del Puerto de La Unión es el caso en que se obtiene el ingreso neto máximo para cada profundidad. En las Tablas 9.30 y 9.31 se presentan los ingresos y gastos de tales casos.

Asimismo, en las Tablas 9.32 y 9.33 se presenta la diferencia máxima entre el ingreso neto y costo de dragado en 2020 y 2030 según la profundidad del canal. La profundidad óptima del canal desde el punto de vista financiero para la operación de contenedores en el Puerto de La Unión, es la profundidad que arroja mayor valor obtenido restando el costo de dragado del ingreso neto. El canal con profundidad de 13 m arroja el valor más alto en ambas funciones del costo de dragado para el año 2020. Además, el canal con la profundidad de 13 m corresponde al caso anterior para los costos según el modelo modificado y el canal con la profundidad de 14 m al caso de los costos según el modelo lineal en el año 2030.

Tabla 9.30 Ingreso neto máximo generado de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión en caso de aumentar las tarifas (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m (Escenario sin el dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingresos	5,644	14,548	23,970	23,970	59,636	72,381	72,381
Gastos	-4,755	-5,433	-6,199	-6,199	-8,730	-10,127	-10,127
Ingreso neto	888	9,115	17,772	17,772	50,907	62,255	62,255

Tabla 9.31 Ingreso neto máximo generado de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión en caso de aumentar las tarifas (2030)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingresos	30,938	30,938	40,031	40,031	43,319	101,457	115,525
Gastos	-6,914	-6,914	-7,574	-7,574	-7,683	-13,299	-14,465
Ingreso neto	24,024	24,024	32,456	32,456	35,636	88,158	101,160

Tabla 9.32 Diferencia máxima entre el ingreso neto en caso de aumentar la tarifa y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingreso neto	888	9,115	17,772	17,772	50,907	62,255	62,255
Costo de dragado							
Modelo exponencial modificado	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Modelo Lineal	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Diferencia							
Modelo exponencial modificado	888	1,700	5,655	-735	21,765	23,345	2,252
Modelo Lineal	888	1,700	5,655	-735	22,909	25,692	17,714

Tabla 9.33 Diferencia máxima entre el ingreso neto en caso de aumentar las tarifas y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingreso neto	24,024	24,024	32,456	32,456	35,636	88,158	101,160
Costo de dragado							
Modelo exponencial modificado	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Modelo Lineal	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Diferencia							
Modelo exponencial modificado	24,024	16,609	20,339	13,949	6,494	49,248	41,157
Modelo Lineal	24,024	16,609	20,339	13,949	7,638	51,595	56,619

9.4.2 Ingreso neto generado de la operación de contenedores del sector portuario Salvadoreño (en el caso de aumentar la tarifa en el Puerto de La Unión) y el costo de dragado según profundidades del canal

(1) Ingreso neto y el costo de dragado

En la Figura 9.22 y la Figura 9.23 se presentan los ingresos netos estimados de los puertos de Acajutla y La Unión en los escenarios factibles en los años 2020 y 2030. Los costos de dragado por profundidad de canal también se exponen en las figuras.

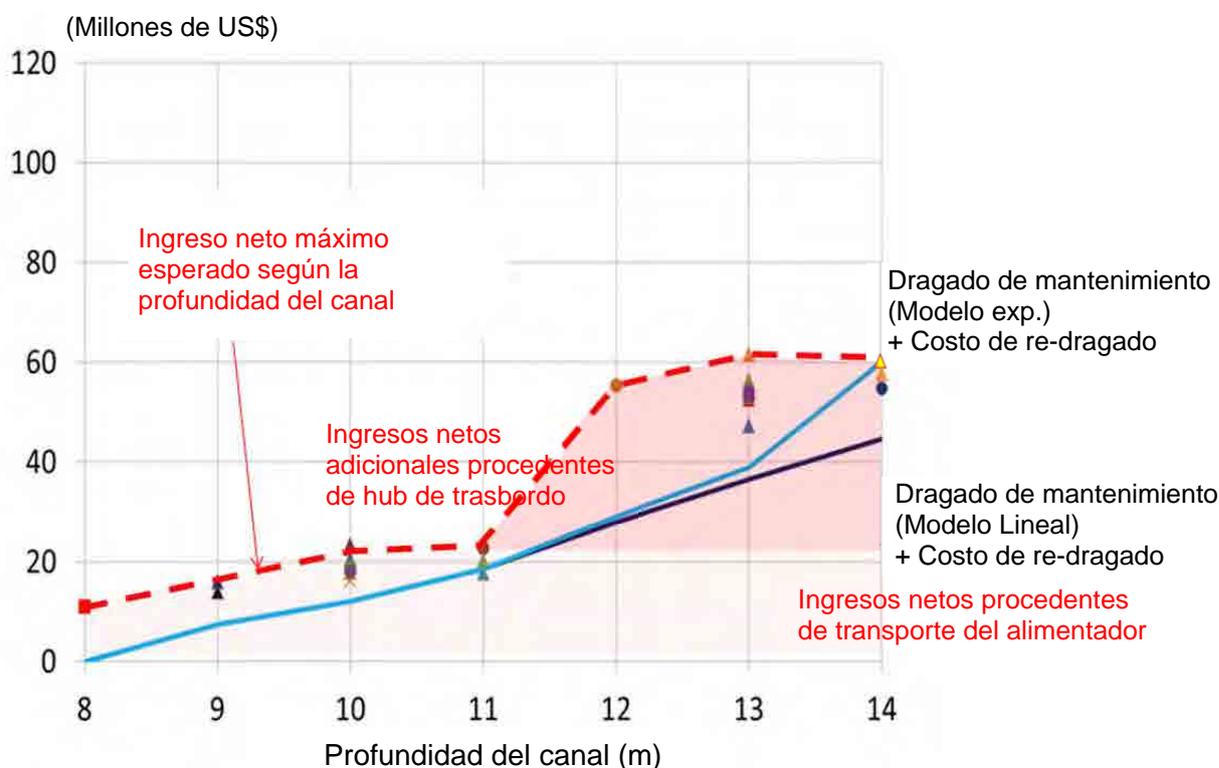


Figura 9.22 Ingreso neto estimado para el sector portuario salvadoreño (puertos de Acajutla + La Unión) en caso de aumentar las tarifas y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)

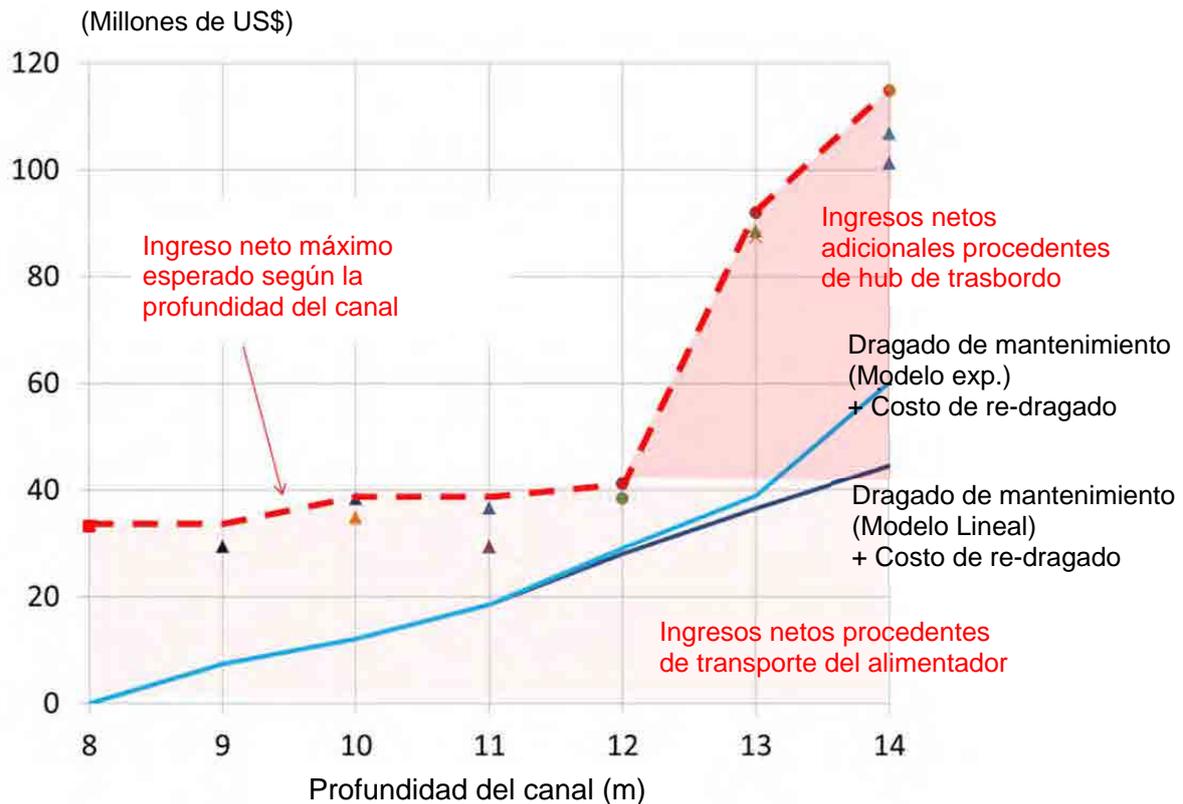


Figura 9.23 Ingreso neto estimado para el sector portuario salvadoreño (puertos de Acajutla + La Unión) en caso de aumentar las tarifas y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)

En las Tablas 9.34 y 9.35 se presentan los ingresos y los gastos del mejor escenario desde el punto de vista financiero en la operación de contenedores del sector portuario salvadoreño (puertos de Acajutla + La Unión).

La máxima diferencia entre el ingreso neto y el costo de dragado en el año 2020 y el año 2030 por profundidad de canal se muestra en la Tabla 9.36 y la Tabla 9.37. 12 m es la profundidad óptima del canal desde el punto de vista financiero de la operación de contenedores de los puertos de Acajutla y La Unión en ambos modelos (exponencial modificado y lineal) de costo de dragado en 2020. Asimismo, la profundidad del canal de 13 m arroja el valor más alto en ambas funciones del costo de dragado para el año 2030.

Tabla 9.34 Ingreso neto máximo procedente de la operación de contenedores en los puertos de Acajutla y La Unión en caso de aumentar las tarifas en el Puerto de La Unión (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m (Escenario sin el dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingresos	22,583	27,602	35,630	35,630	69,796	76,092	76,092
Gastos	-11,625	-11,676	-11,748	-11,748	-14,433	-14,640	-14,640
Ingreso neto	10,958	15,926	23,883	23,883	55,363	61,452	61,452

Tabla 9.35 Ingreso neto máximo procedente de la operación de contenedores en los puertos de Acajutla y La Unión en caso de aumentar las tarifas en el Puerto de La Unión (2030)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingresos	46,778	46,778	51,948	51,948	54,832	110,810	111,936
Gastos	-13,496	-13,496	-13,613	-13,613	-13,633	-18,783	-19,742
Ingreso neto	33,282	33,282	38,335	38,335	41,198	92,027	92,194

Tabla 9.36 Diferencia máxima entre el ingreso neto para el sector portuario salvadoreño en caso de aumentar las tarifas y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingreso neto	10,958	15,926	23,883	23,883	55,363	61,452	61,452
Costo de dragado							
Modelo exponencial modificado	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Modelo Lineal	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Diferencia							
Modelo exponencial modificado	10,958	8,511	11,766	5,376	26,221	22,542	1,449
Modelo Lineal	10,958	8,511	11,766	5,376	27,365	24,889	16,911

Tabla 9.37 Diferencia máxima entre el ingreso neto para el sector portuario salvadoreño en caso de aumentar las tarifas y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingreso neto	33,282	33,282	38,335	38,335	41,198	92,027	92,194
Costo de dragado							
Modelo exponencial modificado	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Modelo Lineal	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Diferencia							
Modelo exponencial modificado	33,282	25,867	26,218	19,828	12,056	53,117	32,191
Modelo Lineal	33,282	25,867	26,218	19,828	13,200	55,464	47,653

9.4.3 Beneficio económico de El Salvador por la manipulación de contenedores en el Puerto de La Unión en caso de aumentar las tarifas

La diferencia de la suma de los ingresos netos de los puertos de La Unión y Acajutla y el costo del transporte de importación/exportación de la carga salvadoreña para los escenarios con y sin el dragado representa el beneficio económico del proyecto de dragado. Dichos

valores en el 2020 y el 2030 se muestran en la Figura 9.24 y la Figura 9.25, respectivamente. Los costos de dragado también se exponen en las figuras.

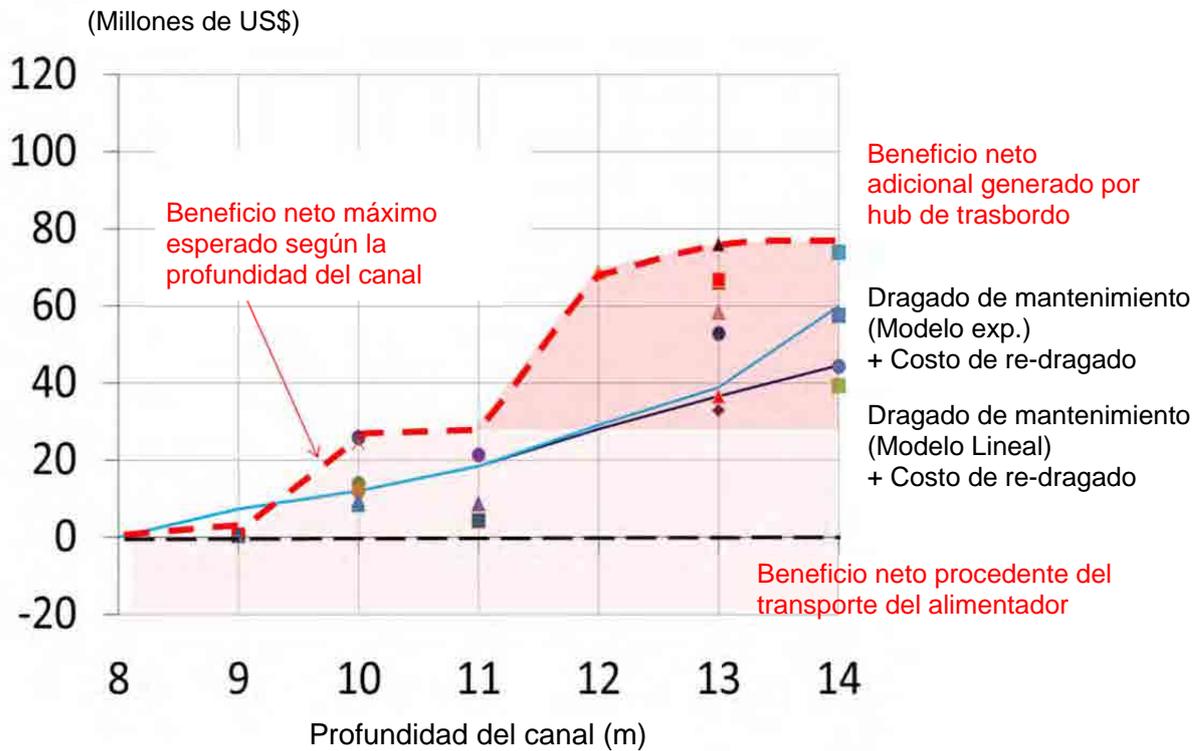


Figura 9.24 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña en caso de aumentar las tarifas, y el costo de dragado según profundidades del canal (2020)

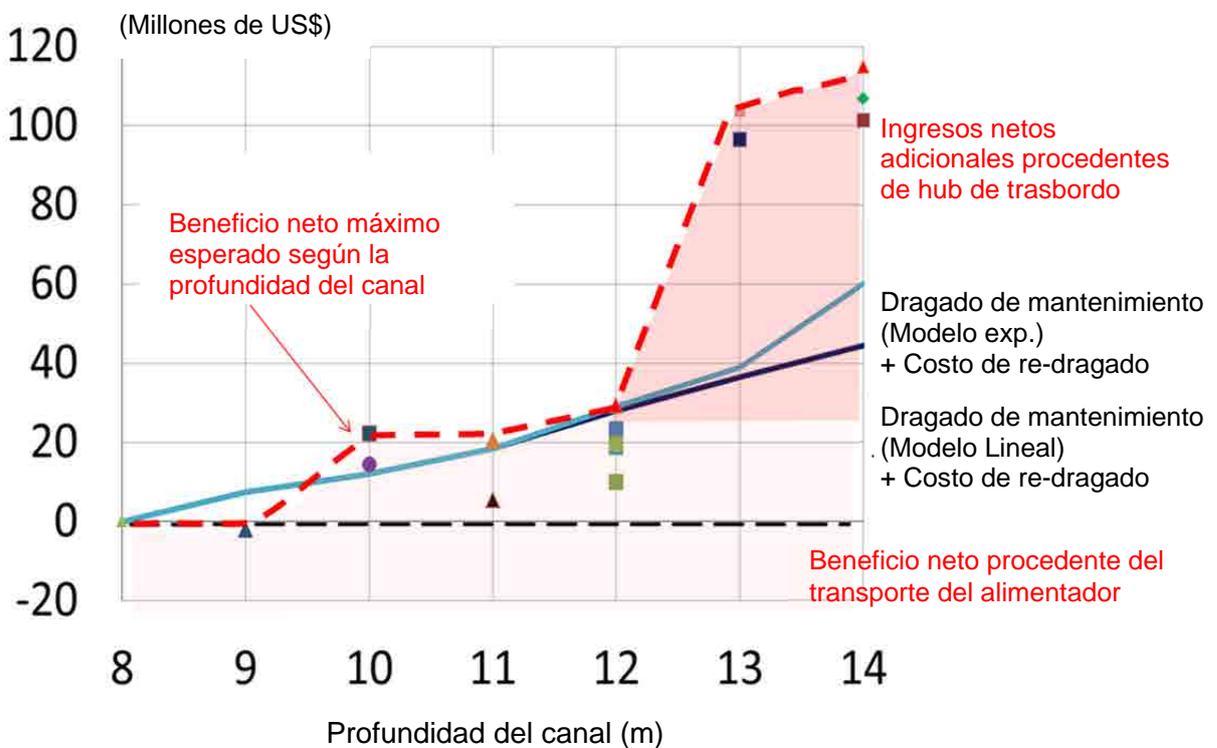


Figura 9.25 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña en caso de aumentar las tarifas, y el costo de dragado según profundidades del canal (2030)

El caso que arroja el máximo beneficio económico para cada profundidad viene a ser el mejor escenario para El Salvador desde el punto de vista económico. En las Tablas 9.38 y 9.39 se resumen los valores de incremento de los ingresos y la disminución de los gastos de los puertos y la disminución del costo de envío de la carga salvadoreña para los años 2020 y 2030 según profundidades del canal.

El beneficio económico en 2020 y 2030 según la profundidad del canal y los costos de dragado se muestra en las Tablas 9.40 y 9.41. La profundidad óptima del canal desde el punto de vista económico para El Salvador es la profundidad que arroja el mayor valor obtenido restando el costo del dragado del beneficio económico. El canal con la profundidad de 12 m corresponde al caso anterior de los costos según el modelo modificado y el modelo lineal en el año 2020. Asimismo, el canal con la profundidad de 13 m corresponde al caso arriba indicado para los costos según el modelo modificado, y el canal con la profundidad de 14 m corresponde al caso arriba indicado para los gastos según el modelo lineal en el año 2030.

Tabla 9.38 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Aumento del ingreso neto para el sector portuario salvadoreño generados por la operación de contenedores	4,968	9,495	9,495	44,404	43,503	43,503
Disminución del costo de envío de la carga salvadoreña	-4,387	16,471	16,471	24,261	32,467	32,467
Beneficio neto	581	25,966	25,966	68,665	75,970	75,970

Tabla 9.39 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Aumento del ingreso neto para el sector portuario salvadoreño generados por la operación de contenedores	0	5,053	5,053	5,224	58,031	61,798
Disminución del costo de envío de la carga salvadoreña	0	17,114	17,114	24,107	45,732	53,072
Beneficio neto	0	22,168	22,168	29,332	103,764	114,871

Tabla 9.40 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Beneficio Económico	581	25,966	25,966	68,665	75,970	75,970
Costo de dragado						
Modelo exponencial modificado	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Modelo Lineal	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Diferencia						
Modelo exponencial modificado	-6,834	13,849	7,459	39,523	37,060	15,967
Modelo Lineal	-6,834	13,849	7,459	40,667	39,407	31,429

Tabla 9.41 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Beneficio Económico	0	22,168	22,168	29,332	103,764	114,871
Costo de dragado						
Modelo exponencial modificado	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Modelo Lineal	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Diferencia						
Modelo exponencial modificado	-7,415	10,051	3,661	190	64,854	54,868
Modelo Lineal	-7,415	10,051	3,661	1,334	67,201	70,330

Tabla 9.42 Ingreso neto máximo generado por la operación de contenedores en el Puerto de La Unión considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m (Escenario sin el dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingresos	2,277	11,787	14,471	13,795	22,104	24,392	26,941
Gastos	-4,795	-6,904	-7,374	-7,140	-9,246	-9,757	-10,337
Ingreso neto	-2,518	4,883	7,097	6,655	12,858	14,635	16,604

Tabla 9.43 Diferencia máxima entre el ingreso neto considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador, y el costo del dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ingreso neto	-2,518	4,883	7,097	6,655	12,858	14,635	16,604
Costo de dragado							
Modelo exponencial modificado	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Modelo Lineal	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Diferencia							
Modelo exponencial modificado	-2,518	-2,532	-5,020	-11,852	-16,284	-24,275	-43,399
Modelo Lineal	-2,518	-2,532	-5,020	-11,852	-15,140	-21,928	-27,937

9.5 Conclusión del Capítulo 9

En este capítulo se entregó un resumen del estado actual del canal de navegación y las normas, y se propusieron las nuevas normas de navegación (9.1). El tiempo previsto de espera ha sido calculado en base a las normas tanto nuevas como las vigentes. Se observa que las normas vigentes pueden ser efectivas para la situación actual, en la que navegan las pequeñas embarcaciones en un canal poco profundo. La diferencia con las nuevas normas es que las vigentes no son desdeñables cuando naveguen las grandes embarcaciones por un canal profundo. Por lo tanto, cuando el canal haya sido profundizado, va a ser necesario aplicar nuevas normas.

Varios escenarios de cálculo sobre la futura red de transporte marítimo regular fueron preparados para diferentes profundidades del canal en el Puerto de La Unión para los años 2020 y 2030, y varios escenarios factibles (que tienen la posibilidad de realizarse) para diferentes profundidades para ambos años fueron seleccionados con base en los criterios predeterminados (9.2). Sobre la base del rendimiento de la carga de contenedores y otros productos estimados en el modelo, se calculó el ingreso neto (sin incluir el costo de dragado) procedente de la operación de contenedores del sector portuario salvadoreño (suma de Acajutla y La Unión). Asimismo, se estimó el beneficio neto de la economía salvadoreña en el caso de ejecutar el proyecto de dragado en el Puerto de La Unión, y se comparó el costo de dragado para varias profundidades del canal (9.3). Desde el punto de vista financiero para el

Puerto de La Unión, si la tarifa de dicho puerto se mantiene en el nivel actual, el ingreso neto será siempre menor que el costo de dragado en todas las profundidades consideradas. En el caso de aumentar las tarifas del Puerto de La Unión, el ingreso neto (sin incluir el costo de dragado) puede ser mayor que el costo de dragado en el escenario en el que el ingreso neto esperado sea maximizado seleccionando la profundidad óptima del canal (9.4). Por lo tanto, es necesario aumentar las tarifas en el Puerto de La Unión a fin de mantener una situación financiera equilibrada. Sin embargo, cabe aclarar que esto puede debilitar la competitividad del Puerto en relación de los puertos vecinos, resultando en una reducción del monto de los contenedores que maneja. En particular, puede ser más crítico en la medida en que el mercado del transporte marítimo se liberalice más, como por ejemplo, disminuyendo la barrera en la frontera nacional (9.2.3 (3)).

Se prepararon varios escenarios sobre la futura red de transporte marítimo regular no sólo para la modificación de los ya existentes servicios de alimentador y de way-port, sino también para la escala en la ruta troncal de embarcaciones. Algunos de estos escenarios de “hub de trasbordo” para el Puerto de La Unión se consideran factibles (9.2.3). Además, si se realizase el hub de trasbordo, será muy beneficioso para la economía de El Salvador (9.3, 9.4). No obstante, un punto importante a tener en cuenta, es que solamente con profundizar el canal por el dragado no garantiza que el Puerto de La Unión se convierta en un hub de trasbordo. Para llegar a serlo, se requieren realizar esfuerzos considerables para atraer los buques de la línea principal.

El desarrollo de la región oriental de El Salvador contribuirá al aumento de la cantidad de contenedores de carga, y por ende, los ingresos del Puerto de La Unión (9.2.3 (3) 2) y 9.4.4). Como se había previsto inicialmente, el desarrollo integral del Puerto de La Unión con la zona de influencia en el oriente del país es también es una de las claves importantes para el futuro desarrollo del dicho puerto.

Capítulo 10 Plan de dragado óptimo considerando los cambios de las series temporales de la demanda y costos

Capítulo 10 Plan de dragado óptimo considerando los cambios de las series temporales de la demanda y costos

10.1 Concepto

En el capítulo anterior, la ganancia y beneficio netos (excepto los costos relacionados con el dragado) estimados desde los resultados del modelo de embarcación que hace escala son comparados con el costo del dragado en un solo año (en 2020 y 2030) basándose en los resultados del Capítulo 5. Sin embargo, para la discusión de elegir un momento oportuno para invertir en el dragado, es necesario analizar las series temporales considerando las ganancias, beneficios y costos del dragado de cada año. La metodología del análisis de las series temporales, y los resultados de cálculo de prueba se indican en este capítulo.

En este reporte se considera como tiempo de duración para la evaluación del plan de dragado 20 años (desde 2014 hasta 2033).

10.2 Costo del dragado

El costo del dragado puede ser dividido en dos tipos de acuerdo al momento en que éste será pagado. El primer tipo es la inversión inicial cuando se vuelva dragar y el dragado de mantenimiento se inicie. Se incluye no solamente el costo de re-dragado sino también el costo de movilización de dragas y costo del capital cuando la propia draga se adquiera. El segundo tipo es el costo anual regular que incluye el dragado de mantenimiento que se determina con el monto de tierra dragada. El resumen se indica en la Tabla 10.1.

Tabla 10.1 Ítems del costo de dragado resumidos en términos del momento oportuno cuando se requiera

Tipo de Costos	Ítems	Descripción
Costo Inicial (cuando el proyecto empiece)	Re-Dragado	<ul style="list-style-type: none">- Depende de la profundidad a lograr y la profundidad actual del canal de acceso.- Independientemente del modelo de predecir el cambio de profundidad de agua después del dragado inicial
	Movilización	<ul style="list-style-type: none">- El costo de movilización de ambas dragas para re-dragado y dragado de mantenimiento debe ser considerado- El costo de movilización se considera sólo en un sentido desde el lugar donde se contrata hasta el Puerto de La Unión, en tal se basa la idea convencional de la industria de dragado.
	Adquisición de Draga	<ul style="list-style-type: none">- Se necesita solamente cuando la CEPA adquiera su propia draga.
Costo regular (que debe ser pagado cada año)	Dragado de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none">- Depende de la profundidad a logra.- Diferente entre el dragado en base a un contrato y el dragado propio.

Basándose en la metodología para la estimación del costo de dragado descrita en el Capítulo 5, los costos estimados por ítems indicados en la Tabla 10.1 son resumidos como siguen para los modelos exponenciales modificados que predicen el cambio de profundidad de agua después del dragado inicial y también para los casos de dragado en base a un contrato y de dragado propio.

10.2.1 Costo del re-dragado

El re-dragado se supone que se realiza por draga alquilada en todos los casos independientemente de si el dragado de mantenimiento sea realizado por otra draga alquilada o por una draga propia. Igualmente, el monto de tierra dragada no se cambia en cualquiera de los modelos (ya sea el modelo exponencial modificado o sea el modelo lineal) que predicen el cambio de profundidad de agua después del dragado inicial. El monto estimado del costo de cada combinación de la profundidad actual y la profundidad a lograr se indica en la Tabla 10.2.

Tabla 10.2 Costo estimado de re-dragado (US\$) por cada combinación de la profundidad actual y la profundidad a lograr

Profundidad actual (-m) \ Profundidad a lograr (-m)	9	10	11	12	13	14
8	11,455,845	16,455,908	26,256,770	32,762,463	50,747,583	64,652,814
9	0	9,967,799	18,772,670	29,136,071	41,940,063	61,271,406
10	-	0	13,913,678	24,120,906	37,825,632	55,014,013
11	-	-	0	17,685,342	30,798,126	50,189,111
12	-	-	-	0	21,348,500	34,729,346
13	-	-	-	-	0	25,188,008
14	-	-	-	-	-	0

10.2.2 Costo de movilización del re-draga

El costo de movilización de re-draga tampoco se cambia entre ambos tipos de dragado de mantenimiento (aunque la draga de mantenimiento se realice por otra draga alquilada o por una draga propia) y ambos modelos que predicen el cambio de profundidad de agua después del dragado inicial. El monto estimado de costo para cada combinación de la profundidad actual y la profundidad a lograr se indica en la Tabla 10.3.

Tabla 10.3 Costo de movilización de re-draga (US\$) por cada combinación de la profundidad actual y la profundidad a lograr

Profundidad actual (-m) \ Target depth (-m)	9	10	11	12	13	14
8	668,511	872,625	1,339,710	1,851,270	3,062,827	3,062,827
9	0	552,061	1,062,338	1,602,691	2,246,381	3,062,827
10	-	0	756,170	1,339,710	1,983,405	3,062,827
11	-	-	0	974,680	1,675,953	3,062,827
12	-	-	-	0	319,740	1,924,538
13	-	-	-	-	0	1,266,447
14	-	-	-	-	-	0

10.2.3 Costo para adquisición de la draga (en caso del dragado propio)

El costo de adquisición de la draga se considera solamente en caso del dragado propio. Se indica en la Tabla 10.4 el costo en el modelo exponencial modificado para predecir el cambio de la profundidad de agua después del dragado inicial.

Tabla 10.4 Costo de adquisición de la draga por la profundidad a lograr para el modelo exponencial modificado

Profundidad a lograr (-m)	Costo (US\$)
8	0
9	15,800,000
10	20,200,000
11	33,400,000
12	51,000,000
13	81,800,000
14	139,000,000

10.2.4 Costo de movilización para draga de mantenimiento

Se indica en la Tabla 10.5 el costo de movilización para una draga de mantenimiento en el modelo exponencial modificado para predecir el cambio de la profundidad de agua luego del dragado inicial.

Tabla 10.5 Costo de movilización para la draga de mantenimiento estimado en el modelo exponencial modificado para cada profundidad a lograr

Profundidad a lograr (-m)	Costo (US\$)
8	0
9	450,006
10	552,061
11	872,625
12	1,266,447
13	1,851,270
14	3,062,827

10.2.5 Costo regular para dragado de mantenimiento

Los costos de dragado introducidos en 10.2.1 hasta 10.2.4 son incurridos solamente en el año que el re-dragado se realice y el dragado de mantenimiento se empieza. Los costos de dragado de mantenimiento anual se resumen en la Tabla 10.6, en los casos del dragado en base a un contrato y del dragado propio para el modelo exponencial modificado. El costo del dragado de mantenimiento propio es usualmente inferior que el costo del dragado en base a un contrato. Nótese que algunos costos indirectos para el dragado propio no están incluidos debido a la falta de información como se discutió anteriormente en el Capítulo 5.

Tabla 10.6 Costo regular para dragado de mantenimiento (US\$/año) por cada profundidad a lograr

Profundidad a lograr (-m)	Dragado en base a un contrato	Dragado propio (algunos costos indirectos no están incluidos)
8	0	0
9	6,120,185	3,615,751
10	10,283,006	5,756,123
11	15,623,243	8,818,581
12	25,474,352	14,336,801
13	33,215,909	21,618,484
14	52,793,877	34,759,302

10.3 Estimación de las series temporales del rendimiento de contenedores de carga, ganancia y beneficio netos, y costo de dragado considerando el momento oportuno del dragado

10.3.1 Estimación de las series temporales del rendimiento de contenedores de carga, y la ganancia y beneficio netos

Se estiman solamente en los años de 2020 y 2030, como se indica en el capítulo anterior, el monto futuro del rendimiento de carga de contenedores así como la ganancia neta excepto el costo de dragado (que se obtiene restando la ganancia por el costo operacional) en el Puerto de La Unión y el Puerto de Acajutla. Por lo tanto, el rendimiento de carga de contenedores en años diferentes de 2020 y 2030 (de aquí en adelante, se denomina “rendimiento de series temporales”) se estima basándose en algunas aproximaciones y suposiciones que se indican abajo. También, a partir de los rendimientos de series temporales estimados en el Puerto de La Unión y el Puerto de Acajutla como son mencionados arriba, la ganancia de series temporales, el costo operacional (excepto para el costo de dragado) y la ganancia neta se estiman de la misma manera que está descrita en el capítulo anterior.

(1) Calculando por profundidad de canal hipotética en el OD presente (en 2010)

Para realizar el siguiente cálculo, se debe estimar como escenarios hipotéticos la cantidad de carga de contenedores en 2010 según la profundidad del canal que es distinta a la profundidad actual (-8 m). Se indica en la Tabla 10.7 el resultado estimado según cada profundidad del canal en ambos casos antes y después de incrementar la tarifa del Puerto de La Unión. Por favor note que como no se considera un escenario de transbordo central en 2010, los rendimientos estimados con un canal más profundo que -11 m se suponen que son similares con la profundidad de canal de -11 m.

Tabla 10.7 Rendimiento estimado de contenedores de carga y otros ingresos/costos por cada profundidad de canal en 2010

- antes de incrementar la tarifa en el Puerto de La Unión

Profundidad (-m)	Acajutla				La Unión				Costo de flete (000 US\$)
	Cargado (TEU)	Vacío (TEU)	Transbordo	Tarifa de embarcación (000 US\$)	Cargado (TEU)	Vacío (TEU)	Transbordo	Tarifa de embarcación (000 US\$)	
8	96,774	40,876	0	1,804	13,828	4,603	0	262	827,116
9	76,869	32,675	0	1,334	44,132	14,341	0	1,081	815,026
10	77,439	34,531	0	1,334	44,569	15,319	0	1,081	809,976
11	74,666	36,515	0	1,334	52,352	11,353	0	1,081	827,406
12	74,666	36,515	0	1,334	52,352	11,353	0	1,081	827,406
13	74,666	36,515	0	1,334	52,352	11,353	0	1,081	827,406
14	74,666	36,515	0	1,334	52,352	11,353	0	1,081	827,406

- después de incrementar la tarifa en el Puerto de La Unión

Profundidad (-m)	Acajutla				La Unión				Costo de flete (000 US\$)
	Cargado (TEU)	Vacío (TEU)	Transbordo	Tarifa de embarcación (000 US\$)	Cargado (TEU)	Vacío (TEU)	Transbordo	Tarifa de embarcación (000 US\$)	
8	88,679	37,263	0	1,804	12,073	2,911	0	262	815,026
9	74,834	35,688	0	1,334	32,065	9,687	0	1,081	842,194
10	77,220	37,081	0	1,334	36,107	9,853	0	1,081	829,592
11	75,566	39,211	0	1,334	44,040	11,694	0	1,081	838,967
12	75,566	39,211	0	1,334	44,040	11,694	0	1,081	838,967
13	75,566	39,211	0	1,334	44,040	11,694	0	1,081	838,967
14	75,566	39,211	0	1,334	44,040	11,694	0	1,081	838,967

(2) Determinando los resultados representativos del rendimiento de contenedores de carga dependiendo de cada profundidad de canal en 2020 y 2030

Uno de los varios resultados del rendimiento de contenedores de carga estimado desde el modelo de embarcación que hace escala como se ha presentado en el capítulo anterior, se necesita seleccionar un resultado por cada profundidad de canal como resultado representativo. Si el objetivo del análisis es determinar el mejor momento y la mejor profundidad del dragado en el punto donde se espera la máxima ganancia o beneficio neto, el resultado que constituye una línea de sobre de la máxima ganancia o beneficio netos esperados en las figuras indicadas en el capítulo anterior debe ser seleccionado para cada profundidad de canal.

(3) Preparando el monto estimado del rendimiento de contenedor de carga por profundidad de canal para cada año interpolando desde los resultados estimados del modelo de embarcación que hace escala (2010, 2020 y 2030)

Por ejemplo, el rendimiento de contenedor para ambos Puertos de Acajutla y La Unión en 2014 con la profundidad de canal de -8 m se estima interpolando desde los dos rendimientos para cada puerto en 2010 y 2020 con la profundidad de canal de -8 m que se estiman ambos desde el modelo de embarcación que hace escala. Otro ejemplo es que el rendimiento para ambos puertos en 2027 con una profundidad de canal de -13 m se estima interpolando desde los dos rendimientos para cada puerto en 2020 y 2030 con una profundidad de canal de -13 m que se estiman también desde el modelo de embarcación que hace escala. Se estiman, también, de la misma manera el ingreso de la recalada de buques (derechos de buque) para cada puerto y el monto total del costo de transporte para la carga salvadoreña cada año.

(4) Desplazamiento desde la profundidad del canal viejo a la profundidad del canal nuevo

Cuando el re-dragado (desde -x m hacia -y m de profundidad) se realiza en algún año, la secuencia de las series temporales del rendimiento de contenedor estimado en (3) cambiará desde -x m hacia -y m en el siguiente año que se realice el re-dragado. En el ejemplo indicado en la Figura 10.1, el primer re-dragado se planea en 2017 en la cual la profundidad incrementará desde -8 m hacia -10 m. Por lo tanto, la cantidad de contenedores para cada año se estima basándose en la profundidad de canal de -8 m hasta 2017 y cambiando la línea con -10 m de profundidad en 2018. De manera similar, el segundo re-dragado está previsto en 2027 (sólo diez años después del primer re-dragado), en el cual la profundidad se incrementará desde -10 m hasta -13 m; por lo tanto, la cantidad de contenedores para cada año se estima, basándose en una profundidad de canal de -10 m hasta 2027, la cual se cambia a una línea de -13 m de profundidad en 2028.

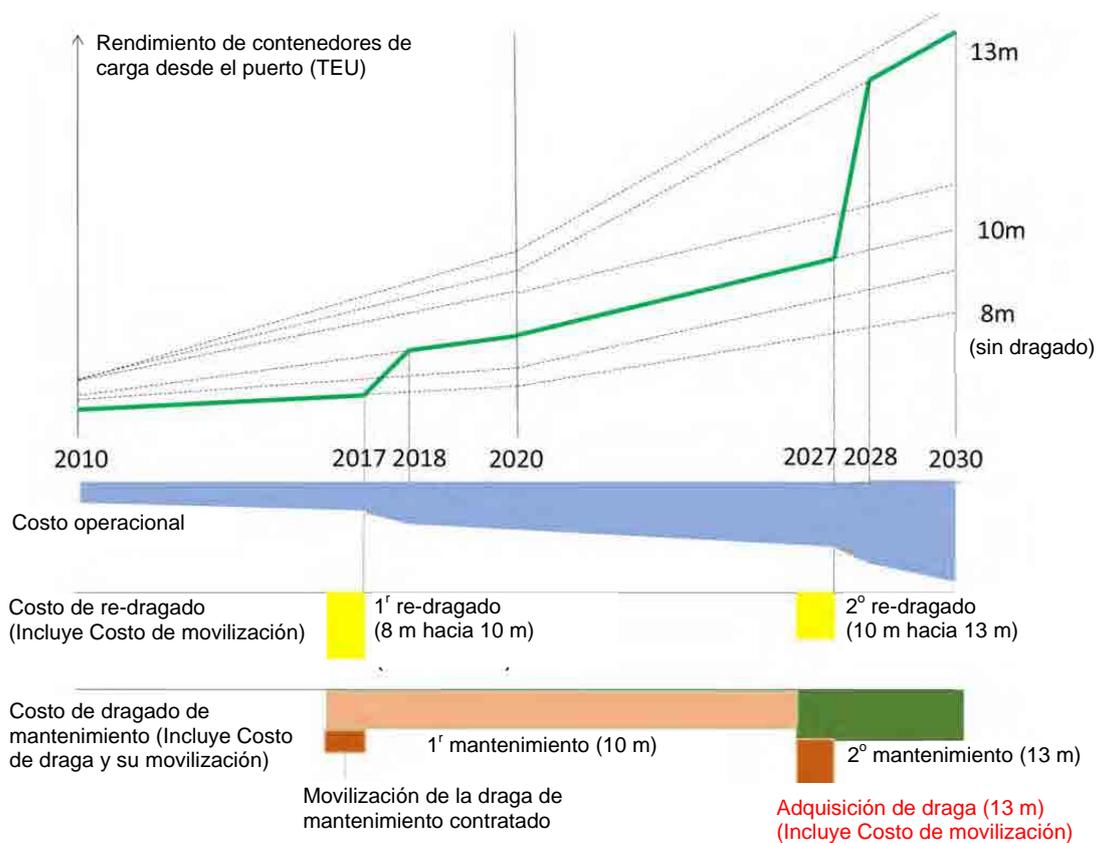


Figura 10.1 Ejemplo típico de la estructura del cálculo de ingreso-costos de las series temporales (en caso del dragado en base a un contrato para los primeros diez años)

10.3.2 Costo de dragado de las series temporales incluyendo el momento oportuno del re-dragado

(1) Suposición del re-dragado y dragado de mantenimiento

El objetivo del análisis de las series temporales del dragado es encontrar el momento óptimo para realizar el re-dragado y la óptima profundidad a lograr desde el punto de vista financiera/económica. Para simplificar el problema, se supone que el re-dragado se permite dos veces durante el periodo de evaluación para veinte años. También, el primero y segundo re-dragado suponen ser ambos opcionales y flexibles en su momento, pero el segundo

re-dragado se limita para justo diez años después del primer dragado si se realiza, reflexionando que el costo calculado de dragado de mantenimiento en base a un contrato en el Capítulo 5 se argumenta un contrato para diez años.

La otra suposición importante es que una vez que se adquiere una draga para dragado propio, no se podría vender ni cambiar su tamaño durante el periodo de evaluación, aunque el valor residual de la draga se calcula al final del periodo de evaluación (es como en 2033). Obsérvese que no es necesario utilizar una draga con capacidad completa, especialmente en los diez primeros años, y que el valor residual se considera también para el costo de movilización a fin de mantener la coherencia del cálculo.

(2) Cálculo de costo del dragado

1) Escenario de dragado en base a un contrato

La Figura 10.1 también indica un ejemplo del momento cuando cada ítem de costo de dragado introducido en 10.2 debe ser pagado. En este ejemplo, el primero y segundo re-dragado se planean en 2017 y 2027, respectivamente. Por lo tanto, el costo de cada re-dragado (desde -8 m hacia -10 m de profundidad para el primer dragado, y desde -10 m hacia -13 m de profundidad para el segundo re-dragado) incluyendo los costos de movilización por los re-dragados se reconocen en cada año.

El dragado de mantenimiento para los primeros diez años tiene que ser realizado cada año para mantener en -10 m de profundidad por draga contratada, mientras que para los segundos diez años tiene que ser realizado cada año para mantener en -13 m de profundidad. Note que el dragado de mantenimiento después del segundo re-dragado es asumido para ser hecho por draga propia, no por otra draga contratada, incluso en el caso de que el “dragado de en base a un contrato” sea presumible para los primeros diez años. La razón es que el precio de unidad para el dragado de mantenimiento por una draga propia es siempre más barato que por draga contratada en la misma profundidad a lograr como se indica en el Capítulo 5, si el valor residual de la draga en el fin del periodo de evaluación se considera. En otras palabras, el dragado en base a un contrato podría ser útil solamente si la draga de mantenimiento se espera ser renovada mayormente dentro de los años que el valor residual de draga se queda (concretamente, veinte años en este cálculo), de acuerdo al plan estratégico para atraer embarcaciones mayores en un futuro cercano.

2) Escenario de dragado propio

La Figura 10.2 indica un ejemplo del momento oportuno cuando cada ítem de costo de dragado introducido en 10.2 debe ser pagado en el caso de que la draga se adquiera cuando el primer dragado de mantenimiento se empieza. El costo de re-dragado incluyendo movilización del re-draga y su tiempo oportuno no se cambian desde aquellos estimados en el escenario de dragado en base a un contrato indicado en la Figura 10.1. En este ejemplo, la profundidad del canal a lograr es diferente entre los primeros y segundos diez años, por lo que se supone que el dragado de mantenimiento de los diez primeros años para mantener una profundidad de -10 m se realiza sin utilizar la capacidad completa de la draga, que se compra con la capacidad que permita mantener una profundidad de -13 m (es decir, la profundidad a lograr después del segundo re-dragado) en el año del primer re-dragado. Note que si la profundidad a lograr no se cambia entre los primeros y segundos diez años, el segundo re-dragado no es necesario.

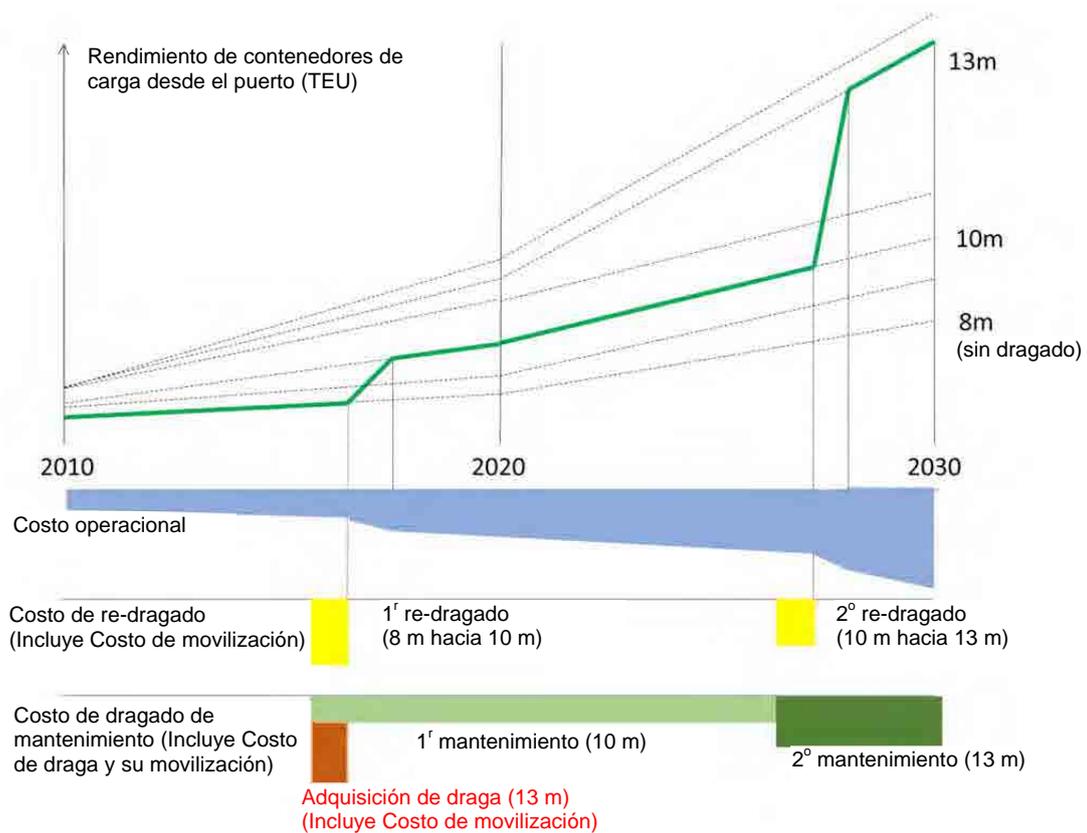


Figura 10.2 Ejemplo típico de la estructura del cálculo de ingreso-costo de las series temporales (en caso de dragado propio)

10.4 Metodología y ejemplo de resultados del análisis financiero y económico de las series temporales considerando el momento oportuno del dragado

10.4.1 Elaborando una hoja de cálculo para la estimación de las series temporales

Basándose en el marco del cálculo de las series temporales del rendimiento de contenedores de carga, ingresos, costos operacionales, costo de flete de carga para fletadoras salvadoreñas y costo de dragado descritos en 10.3, se desarrolla una hoja de cálculo a base de excel.

La hoja de cálculo está preparada separadamente para cada tipo de escenario de draga (escenario de draga en base a un contrato y escenario de dragado propio) y sus resultados son comparados. El archivo de excel está preparado para cada modelo (modelo exponencial modificado y modelo lineal) que predice el cambio de profundidad de agua después del dragado inicial. Asimismo, un diferente archivo de Excel se prepara cuando el sistema de tarifa se haya cambiado; por ejemplo, el último cambio del sistema de tarifas en el Puerto de La Unión del sistema basado en el número de contenedores hacia el sistema con base en TEUs.

10.4.2 Obteniendo el momento oportuno de re-dragado y la combinación óptima de la profundidad a lograr

Cambiando el año en que las profundidades a lograr después del primer re-dragado se realiza y las profundidades a lograr para ambos re-dragados (que son coloreados en amarillo en la izquierda superior en la Figura 10.4), el ingreso y beneficio netos estimados podrían ser cambiados.

El equipo de estudios de JICA proporciona un diseño para obtener el año óptimo para maximizar el beneficio neto (que se estima resumiendo la diferencia del ingreso neto y costo de flete para fletadoras salvadoreñas entre “escenario de dragado” y “escenario de no-dragado”) a lo largo del periodo de evaluación para cada combinación de las profundidades a lograr después del primer y segundo re-dragado. El año óptimo es obtenido cambiando el año de registro en que la profundidad a lograr después del primer re-dragado se realice, con un rango entre 2015 y 2024.

El ejemplo del resultado de cálculo por el diseño para determinar el año óptimo y el beneficio neto en el año para cada combinación de la profundidad a lograr después del primer y segundo re-dragado se indica en la Tabla 10.8 (antes del incremento de la tarifa) y la Tabla 10.9 (después del incremento de la tarifa). Estas tablas también indican la comparación de los resultados entre el dragado en base a un contrato y el dragado propio. Los descubrimientos desde la tabla son los siguientes:

- 1) El año óptimo cuando la profundidad a lograr debe ser realizada para maximizar el beneficio neto esperado es diferente entre la combinación de la profundidad a lograr después del primer y segundo re-dragado y entre el tipo de dragados (sea dragado en base a un contrato o sea dragado propio). Igualmente, el beneficio neto esperado es mayor entre el dragado en base a un contrato y el dragado propio (que están coloreados en verde en la Tabla 10.9) es diferente entre la combinación de la profundidad a lograr. Generalmente cuando la diferencia de las profundidades a lograr después del primer y segundo dragado sea de cero (el segundo re-dragado no se realiza) o pequeñas, el dragado propio es más beneficioso que el dragado en base a un contrato. Por otro lado, cuando la diferencia de las profundidades a lograr es relativamente grande, el dragado en base a un contrato es más beneficioso para maximizar el beneficio neto esperado.
- 2) Antes del incremento de la tarifa en el Puerto de La Unión, en la mayoría de los casos por una combinación de la profundidad a lograr, el máximo beneficio neto es menos de cero; es decir, el “escenario sin dragado” (en el caso de no hacer nada) es mejor que cualquier escenario con dragado (véase la Tabla 10.8). Fuera de algunas combinaciones en las que el beneficio neto máximo esperado es positivo como se observa en la Tabla 10.8, la combinación que el primer re-dragado con -12 m se realiza en 2014 y el segundo re-dragado con -13 m en 2024 con adquisición de draga propia para el dragado de mantenimiento en 2014 es para maximizar el beneficio neto máximo esperado, aunque este resultado se basa en la suposición que el escenario de “transbordo central” indicado en el Capítulo 9 se realiza; en otras palabras, esta estrategia para el dragado tiene un riesgo significativo. La segunda mejor estrategia con menos riesgo relativamente es que el primer re-dragado con -10 m se realice en 2014 y el segundo re-dragado con -13 m en 2024 con la draga contratada por lo menos para los primeros diez años.
- 3) Por otro lado, después del incremento de la tarifa en el Puerto de La Unión, en la mayoría de los casos por una combinación de la profundidad a lograr, el máximo beneficio neto estimado es positivo (véase la Tabla 10.9). Fuera de ellas, la combinación del primer re-dragado para una profundidad de -13 m, el cual se realizará en 2016 y se mantendrá por veinte años, y la compra de una draga propia para el dragado de mantenimiento en 2016 maximiza el beneficio esperado, aunque esta estrategia para dragado tiene un riesgo significativo así como también el caso antes del aumento de la tarifa mencionada en 2). La segunda mejor estrategia que presenta un riesgo relativamente menor es, como en el caso anterior incrementando la tarifa mencionado en 2), que el primer re-dragado para la profundidad de -10 m se realiza en 2014 y el segundo re-dragado para la profundidad de -13 m en 2024 con la draga contratada por lo menos para los primeros diez años.

Tabla 10.8 Ejemplo de resultado de cálculo en el año óptimo y el beneficio neto para cada combinación de la profundidad a lograr después del primer y segundo re-dragado y cada tipo de dragado (antes del incremento de la tarifa en el Puerto de La Unión)

Profundidad a logra		Dragado en base a un contrato (000 US\$)				Dragado propio (000 US\$)			
Primer re-dragado	Segundo re-dragado	Año óptimo	Beneficio neto (VAN)	Ingreso neto para el sector portuario salvadoreño	Disminución del costo de flete	Año óptimo	Beneficio neto (VAN)	Ingreso neto para el sector portuario salvadoreño	Disminución del costo de flete
8	8	2015	0	0	0	2015	0	0	0
8	9	2024	-1,347	-1,347	0	2024	-7,963	-7,963	0
8	10	2024	-2,086	-2,086	0	2024	-10,545	-10,545	0
8	11	2024	-3,226	-3,226	0	2024	-17,213	-17,213	0
8	12	2024	-4,956	-4,956	0	2024	-26,316	-26,316	0
8	13	2015	111,724	-89,254	200,978	2015	61,139	-139,839	200,978
8	14	2015	35,513	-167,775	203,287	2016	-49,976	-227,444	177,468
9	9	2024	-33,314	-32,310	-1,005	2024	-29,649	-28,644	-1,005
9	10	2024	-34,212	-33,207	-1,005	2024	-32,377	-31,373	-1,005
9	11	2024	-35,325	-34,321	-1,005	2024	-39,019	-38,014	-1,005
9	12	2024	-37,164	-36,159	-1,005	2024	-48,230	-47,225	-1,005
9	13	2015	53,198	-140,087	193,286	2015	21,434	-171,851	193,286
9	14	2015	-26,187	-221,782	195,595	2023	-91,324	-107,444	16,120
10	10	2024	-35,364	-52,047	16,683	2024	-25,265	-41,947	16,683
10	11	2024	-36,641	-53,324	16,683	2024	-32,055	-48,737	16,683
10	12	2024	-38,476	-55,159	16,683	2024	-41,262	-57,945	16,683
10	13	2015	57,280	-176,775	234,055	2015	40,715	-193,340	234,055
10	14	2015	-21,149	-257,514	236,364	2015	-73,129	-309,493	236,364
11	11	2024	-34,864	-78,623	43,759	2024	-20,951	-64,710	43,759
11	12	2024	-36,941	-80,700	43,759	2024	-30,376	-74,135	43,759
11	13	2015	36,163	-212,367	248,530	2015	36,717	-211,814	248,530
11	14	2019	-32,862	-186,969	154,108	2019	-64,304	-218,412	154,108
12	12	2016	14,955	-230,303	245,258	2015	64,475	-198,937	263,412
12	13	2015	155,315	-255,279	410,595	2015	188,432	-222,163	410,595
12	14	2016	79,605	-301,560	381,165	2015	76,256	-336,648	412,904
13	13	2018	155,091	-224,720	379,811	2017	182,474	-219,912	402,386
13	14	2021	112,445	-190,567	303,012	2020	106,577	-222,843	329,421
14	14	2024	25,047	-204,861	229,908	2020	49,384	-294,631	344,015

Tabla 10.9 Ejemplo de resultado de cálculo en el año óptimo y el beneficio neto para cada combinación de la profundidad a lograr después del primer y segundo re-dragado y cada tipo de dragado (antes del incremento de la tarifa en el Puerto de La Unión)

Profundidad a lograr		Dragado en base a un contrato (000 US\$)				Dragado propio (000 US\$)			
Primer re-dragado	Segundo re-dragado	Año óptimo	Beneficio neto (VAN)	Ingreso neto para el sector portuario salvadoreño	Disminución del costo de flete	Año óptimo	Beneficio neto (VAN)	Ingreso neto para el sector portuario salvadoreño	Disminución del costo de flete
8	8	2015	0	0	0	2015	0	0	0
8	9	2024	-1,347	-1,347	0	2024	-7,963	-7,963	0
8	10	2015	34,996	-21,379	56,375	2015	22,552	-33,823	56,375
8	11	2015	13,028	-43,347	56,375	2015	-7,567	-63,942	56,375
8	12	2015	20,181	-59,737	79,918	2015	-11,300	-91,218	79,918
8	13	2015	190,403	57,847	132,556	2015	139,818	7,262	132,556
8	14	2015	138,908	-26,985	165,893	2015	52,908	-112,985	165,893
9	9	2024	-38,131	-39,832	1,701	2024	-34,466	-36,167	1,701
9	10	2019	-33,230	-45,435	12,206	2019	-29,062	-41,268	12,206
9	11	2024	-40,143	-41,843	1,701	2024	-43,836	-45,537	1,701

9	12	2024	-41,981	-43,682	1,701	2024	-53,047	-54,748	1,701
9	13	2015	105,959	30,183	75,776	2015	74,196	-1,581	75,776
9	14	2015	51,291	-57,822	109,113	2016	-14,576	-117,475	102,899
10	10	2016	81,517	-50,110	131,626	2016	101,245	-30,382	131,626
10	11	2017	62,926	-65,158	128,083	2017	74,034	-54,049	128,083
10	12	2016	59,429	-92,228	151,657	2015	61,729	-94,331	156,059
10	13	2015	231,876	23,178	208,698	2015	215,311	6,613	208,698
10	14	2015	178,163	-63,871	242,034	2015	126,184	-115,851	242,034
11	11	2019	24,891	-88,849	113,740	2018	48,451	-71,689	120,140
11	12	2018	13,979	-119,945	133,923	2017	28,812	-111,661	140,473
11	13	2015	174,807	-21,841	196,647	2015	175,360	-21,287	196,647
11	14	2016	120,286	-100,846	221,133	2016	86,376	-134,757	221,133
12	12	2016	124,597	-63,526	188,123	2016	172,355	-15,768	188,123
12	13	2015	288,408	47,496	240,911	2015	321,524	80,613	240,911
12	14	2015	236,363	-37,885	274,248	2015	234,064	-40,183	274,248
13	13	2017	335,524	55,258	280,266	2016	367,391	78,474	288,917
13	14	2018	293,989	2,426	291,563	2017	291,982	-15,689	307,671
14	14	2019	187,758	-103,410	291,168	2018	220,141	-87,189	307,330

10.5 Conclusión del Capítulo 10

En este capítulo, está introducida una metodología de análisis de series temporales que considera el ingreso, beneficio y costo del dragado cada año y se indican los resultados de cálculo a modo de ejemplo a fin de contribuir al debate sobre el tiempo óptimo para realizar dragado. El cálculo se basa en diversas suposiciones (p. ej., el re-dragado está permitido solamente dos veces y el segundo re-dragado se debe realizar precisamente diez años después del primer dragado); además, los ejemplos cuyos resultados de cálculo se indican en este capítulo son muy limitados a aquellos que se basan en el cruce cuya red de servicio genera el máximo beneficio neto estimado para cada profundidad del canal.

Los resultados de ejemplos implican que la mejor estrategia para acrecentar el máximo beneficio neto estimado es comparar una draga para el mantenimiento anual dentro de unos pocos años y mantener una profundidad del canal en alrededor de -12 m o -13 m, aunque existe un riesgo significativo porque esta estrategia será exitosa solamente cuando el escenario de “hub de transbordo” se realice. Por otro lado, la segunda mejor estrategia con menor riesgo relativo es que el primer re-dragado para la profundidad alrededor de -10 m y el segundo re-dragado para la profundidad de -13 m se realicen con la draga contratada. Este tipo de estrategia de “paso a paso” es muy útil para evitar grandes riesgos financieros.

Capítulo 11 Conclusiones y Recomendaciones

Capítulo 11 Conclusiones y Recomendaciones

11.1 Conclusiones

Las conclusiones del Estudio se resumen a continuación.

(1) Estado actual de la sedimentación en el canal de acceso

El Puerto de La Unión tiene un canal de acceso con una longitud total de 22,3 km y fue dragado a una profundidad de DL.-14 m. En la actualidad, sin embargo, el paso entero se ha azolvado casi a la elevación original y no se ha mantenido la profundidad lograda del último dragado.

(2) Espesor de la capa de lodo fluido

A juzgar por la experiencia del Equipo en el campo, se considera que la ecosonda de 200 kHz de frecuencia detecta la superficie superior de la capa de lodo fluido. Se considera que la profundidad navegable para las embarcaciones es más profunda que la medida por la ecosonda de 200 kHz, debido al espesor de la capa de lodo fluido.

La capa de lodo fluido en los canales permanece por un periodo relativamente largo. Esto indica una posibilidad de reducir el volumen de dragado de mantenimiento con la elaboración de un plan de este dragado teniendo en cuenta la capa de lodofluido.

Con base en el análisis de muestras de lodo de cerca de dos años después del dragado principal, se confirma que la capa de lodo fluido, cuya densidad húmeda es menor de $1,200 \text{ kg/m}^3$, tiene un espesor de 0,5 m en el canal externo y de 1,0 m en el canal interno.

(3) Mecanismo de sedimentación y modelos de predicción para la profundidad de agua en el canal

En el Puerto de La Unión, el fenómeno de sedimentación es un resultado del movimiento de la capa de lodo fluido como un flujo de densidad. Dondequiera que haya una diferencia de elevación sobre el fondo marino, como sucede a través de un canal dragado, el lodo fluido fluye a profundidades más bajas por gravedad.

Un análisis de tendencia de la variación temporal de la profundidad media de los canales sobre las líneas transversales ha permitido establecer un modelo empírico de predicción para la velocidad de sedimentación como función de la diferencia de profundidades dentro y fuera de los canales, y el tiempo transcurrido desde que terminó el dragado principal (véase la Ecuación (4.1)).

El modelo de predicción de la velocidad de sedimentación es una modificación de un modelo de predicción de la diferencia de profundidad h , según la Ecuación (4.2), llamado modelo exponencial original.

Los datos batimétricos del canal interno obtenidos en diciembre de 2008 presentaron valores menores poco naturales. Esto puede deberse a errores sistemáticos como una corrección inapropiada del nivel de mareas o una equivocación del nivel referencial. Dichos datos han sido corregidos y al mismo tiempo el coeficiente del modelo exponencial original ha sido modificado

(véase la Ecuación (4.3)).

Fuera del canal externo, el fondo marino no cambió en la zona Oeste en el proceso de sedimentación del canal, mientras que en la zona Este, el fondo marino fue erosionado. La profundidad de agua en el canal fue normalmente igual o mayor que la del margen oriental. En otras palabras, la profundidad de agua del canal completamente azolvado es mayor que la profundidad antes del dragado. Tomando en consideración el efecto del margen oriental, que está introducido en el “concepto de profundidad final”, el modelo exponencial original ha sido modificado para el canal externo (véase la Figura 4.27).

La rápida sedimentación ocurrió inmediatamente después del dragado, lo que podría ser un fenómeno de “salto” de sólo una vez en un canal recién excavado. Si es así, la rápida sedimentación no ocurrirá en un caso en que se realice continuamente un dragado de mantenimiento. Basándose en esta hipótesis, ha sido establecido otro nuevo modelo de predicción. Es decir, la velocidad de sedimentación es constante (Ecuación (4.4)) y la profundidad de agua en el canal cambia linealmente con el tiempo (véase la Ecuación (4.5)). Este modelo ha sido denominado modelo lineal. Puesto que el modelo lineal fue formulado sobre la base de dicha hipótesis, no debemos hacer uso de este modelo hasta que se verifique la hipótesis con los datos batimétricos, o se confirme la aplicabilidad del modelo con los mismos.

Desgraciadamente no hay datos disponibles y necesarios de la dársena para formular un modelo empírico de predicción, por lo que el modelo exponencial modificado para el canal externo se aplica a la dársena.

(4) Volumen de re-dragado

La dársena, canal interno y canal externo necesitan ser re-dragados primero. El volumen total del re-dragado para seis profundidades objetivo de entre 9 a 14 m, con intervalos de 1 m, fue calculado aproximadamente según los resultados de las últimas mediciones de julio de 2013. Los volúmenes estimados de dragado según la profundidad se resumen en la Tabla 5.1.

(5) Volumen de dragado de mantenimiento

El volumen de dragado de mantenimiento se calcula para seis niveles de profundidad objetivo: 9, 10, 11, 12, 13 y 14 m. El ciclo o intervalo de un dragado de mantenimiento sucesivo se establece en 3, 4, 6, ó 12 meses. El volumen de dragado de mantenimiento con un ciclo específico y una profundidad objetivo se calcula con el modelo exponencial modificado y el modelo lineal. En el cálculo, el espesor del lodo fluido se tiene en cuenta. Los resultados del cálculo se presentan en la Figura 5.7.

(6) Método apropiado de dragado

Como resultado de la comparación de cuatro tipos de draga, se considera apropiada a la TSHD (Trailing Suction Hopper Dredger), draga de succión en marcha, para el re-dragado y el dragado de mantenimiento en el Puerto de La Unión, porque la TSHD presenta el mínimo impacto sobre el “tráfico de otras embarcaciones” y la de más alta “productividad” y “eficiencia del costo”.

(7) Modelo de recalada de embarcaciones

El modelo de recalada de buques se desarrolló para analizar el Puerto de La Unión, desde los

puntos de vista económico y financiero. La estructura total del modelo se muestra en la Figura 8.29. Las principales variables de entrada del modelo son el nivel de servicio en cada puerto, incluyendo la profundidad del canal del Puerto de La Unión, y la demanda de transporte de la carga de contenedores (OD de la carga de contenedores). El modelo se divide en dos partes; consideraciones del comportamiento de las compañías navieras para decidir cada red de servicios de transportes y el modelo de asignación de la carga de contenedores. Cada combinación de red de servicios de transporte es incluida respectivamente en el modelo de asignación de la carga de contenedores, el cual es desarrollado para incluir tanto las redes de transportes marítimas como terrestres. Basado en los resultados del modelo de asignación de carga de contenedores, cada combinación de red de servicios de transporte naviero es examinada desde el punto de vista de lo que cada compañía naviera considere razonable recalar en el Puerto de La Unión.

Los resultados de los cálculos del modelo de asignación de la carga de contenedores son examinados en la Sección 8.8 desde el punto de vista de la reproducibilidad del modelo por medio de numerosos patrones de referencia, como la producción de la carga de contenedores. La sensibilidad del modelo para estimar parámetros desconocidos también es examinada. Como resultado, el modelo de asignación de carga de contenedores describe bien el actual mercado de carga de contenedores navieros en los países de CA4 y se comporta razonablemente ante el cambio en el input del modelo. También, incluyendo varios escenarios en la futura red de transporte naviera para cada profundidad del canal en el Puerto de la Unión en el 2020 y el 2030, se seleccionan numerosos escenarios factibles para cada profundidad en ambos años, basándose en el criterio expuesto en la Sección 9.2.

Los resultados estimados (ej.: Figura 9.12 y Figura 9.13) muestran que el escenario del “hub de trasbordo” en el que los buques de la ruta principal recalán, es uno de los escenarios factibles en la futura red de transporte naviero. También, el modelo puede estimular los efectos de crecimiento de tarifas y el desarrollo regional cerca del Puerto de La Unión (al este de El Salvador).

El Modelo de Recalada de Buques desarrollado en este proyecto busca detallar de manera exhaustiva los patrones de los flujos de contenedores que son posiblemente realizados, reflejando que varios tipos de patrones de la futura red de transporte naviero son considerados en la Costa Pacífico de América Central, incluyendo el Puerto de La Unión. Por lo tanto, los múltiples resultados son estimados para ser realizados bajo la misma profundidad de canal. Entonces, aunque la operación y el procedimiento en el Puerto de La Unión son efectivamente implementados como se supone en el modelo, el valor más bajo de todos los escenarios factibles puede ser realizado en el peor caso.

(8) Análisis económico y financiero del Puerto de La Unión y simulación de políticas

Basado en la producción de la carga de contenedores y otros outputs estimados desde el modelo de recalada de buques, el ingreso neto (que se adquiere substrayendo las rentas esperadas de las cargas portuarias y operacionales por gastos, como los costos operacionales de contenedores, exceptuando el costo de dragado) del negocio de contenedores del Puerto de La Unión, el ingreso neto del negocio de contenedores del sector portuario salvadoreño (suma de los Puertos de Acajutla y la Unión), y el beneficio neto de la economía salvadoreña por el proyecto de dragado en el Puerto de La Unión, se estiman y comparan con el costo de dragado por profundidad del canal.

Desde el aspecto financiero, si la tarifa del Puerto de La Unión se mantiene al nivel actual, el ingreso neto será siempre menor que el costo de dragado para cada profundidad de canal, como

se muestra en el Figura 9.18 y la Figura 9.19. Por otro lado, si la tarifa del Puerto de La Unión aumenta, el ingreso neto podrá ser mayor que el costo de dragado en un escenario donde el ingreso neto esperado es maximizado por profundidad del canal, como se muestra en la Figura 9.24 y la Figura 9.25.

Otra simulación de políticas se enfoca en un avance del desarrollo regional en el este de El Salvador. Podría contribuir al aumento de la cantidad de carga de contenedores (ver Figura 9.17) así como también, las rentas en el Puerto de La Unión (ver Figura 9.30).

(9) Plan de dragado óptimo considerando los cambios en las series cronológicas

La metodología del análisis de las series de tiempo considerando el ingreso, los beneficios y los costos de dragado de cada año, es desarrollado como se describe en el Capítulo 10. También, se muestran ejemplos de resultados de cálculos con el objetivo de contribuir a la discusión sobre el tiempo óptimo para conducir el dragado. El cálculo se basa sobre varias suposiciones (ej.: el re-dragado es permitido solamente dos veces, y el segundo re-dragado debe ser llevado a cabo precisamente diez años luego del primer dragado); en adición, los ejemplos que se muestran en el Capítulo 10 de los resultados de cálculos son muy limitados a aquellos basados en la red de servicios de transportes navieros que generan el máximo beneficio neto esperado para cada profundidad de canal.

(10) Reglas de navegación del canal de acceso

El estado presente del canal de navegación y las reglas se resumen y se propone una nueva regla de navegación en el punto 10.1. El tiempo de espera supuesto es calculado basado en la nueva regla así como en las reglas existentes. Se descubre que las reglas existentes pueden ser efectivas bajo la situación actual donde un buque pequeño navega por un canal poco profundo, pero cuando el canal es profundizado y se esperan que recalen varios buques de diferentes tamaños, se requiere introducir la nueva regla.

11.2 Recomendaciones

(1) Aplicabilidad de los modelos de predicción formulados empíricamente

Tanto el modelo exponencial modificado como el modelo lineal son formulados empíricamente basándose sólo en los datos batimétricos sin considerar las características físicas de la sedimentación. Dichos modelos pueden predecir el proceso de sedimentación bajo las mismas condiciones que en el pasado. Sin embargo, no pueden predecir un proceso bajo una nueva condición.

Por ejemplo, entre los datos batimétricos utilizados para la formulación de dichos modelos, la profundidad de agua máxima en los canales es alrededor de 15 m. Entonces, la precisión de la predicción con dichos modelos está garantizada hasta cierto nivel mientras la profundidad de los canales sea menor de 15 m. Cabe notar que la precisión se pierde cuando la profundidad de agua es mayor de 15 m, porque los modelos no han sido formulados para tal profundidad.

Otro ejemplo; en caso de que sea construida alguna estructura cerca del canal para reducir la sedimentación, lo que constituye una nueva condición, dichos modelos no podrán servir. En este caso, tendrá que desarrollarse otro modelo basado en los datos batimétricos obtenidos bajo la nueva condición.

(2) Aplicabilidad del modelo lineal

El modelo lineal ha sido formulado sobre la base de una hipótesis de que una rápida sedimentación inmediatamente después del dragado podría ser un fenómeno de “salto” que ocurre sólo una vez en un canal recién dragado. Hay que subrayar de nuevo que no se debe hacer uso del modelo lineal hasta que se verifique la hipótesis con los datos batimétricos, o se confirme la aplicabilidad del modelo con los mismos.

(3) Plan adecuado de dragado

El costo de dragado con draga propia se estima menor que el de a base de contrato porque su costo indirecto es más barato, mientras que los costos directos son similares entre ambos. El costo indirecto a base de contrato incluye los costos de movilización, seguro, los relacionados con imprevistos y otros. Por el contrario, el costo indirecto de dragado con draga propia incluye sólo los costos de movilización, seguro y de imprevistos, ya que es difícil estimar otros costos. Sin embargo, no es apropiado discutir sobre el plan de dragado únicamente comparando sus costos a base de contrato con los de draga propia por las siguientes razones.

Si CEPA posee una draga, tendrá que asumir costos considerables mayores a los de la estimación. Además de que las obras de dragado no podrán ser funcionales si no se cuenta con una larga experiencia y acumulación de conocimientos. Aparte del costo, CEPA tendrá que hacerse cargo de la formación y educación de la tripulación de la draga.

Por otra parte, es necesario predecir con exactitud el volumen de sedimentación para diseñar el tamaño o capacidad de la draga antes de su adquisición. Sin embargo, los modelos de predicción del volumen de sedimentación desarrollados en el presente informe no son suficientemente fiables y es necesario revisarlos a través del monitoreo de la sedimentación del canal durante un cierto periodo de tiempo.

Además, en caso de cambiar la profundidad objetivo del canal, será extremadamente difícil dar una respuesta flexible, si CEPA cuenta con su propia draga. Este problema también se mantendrá en el futuro.

Juzgando con base en todo lo arriba mencionado, se recomienda encarecidamente "el dragado a base de contrato" para el dragado de mantenimiento de los canales por un cierto periodo.

(4) Necesidad del monitoreo de la profundidad de los canales

Los dos modelos establecidos empíricamente se basan en los datos batimétricos que no siempre son suficientes ni en calidad ni en cantidad. En particular, el modelo lineal ha sido desarrollado sobre una hipótesis no verificada. El monitoreo de la profundidad de los canales mediante mediciones batimétricas es la única manera para mejorar la precisión de la predicción y reforzar la aplicabilidad del modelo lineal al dragado de mantenimiento. Esto es el primer propósito del monitoreo. El segundo propósito es confirmar el fenómeno de sedimentación rápida que ocurre inmediatamente después del dragado.

El plan de monitoreo se describe en el Capítulo 6 y está sujeto a la condición de que las mediciones batimétricas sean llevadas a cabo por el personal de CEPA con sus propios equipos.

(5) Utilización de dos frecuencias de ecosonda

Cuando el levantamiento batimétrico se lleva a cabo, la profundidad del agua debe medirse con las ondas sónicas de 38 y 200 kHz al mismo tiempo. Las señales de alta frecuencia se reflejan cerca de la interfase agua-lodo, mientras que las ondas de baja frecuencia penetran en el depósito de sedimentos y dan valores mayores de profundidad de agua. Ha habido muchas discusiones sobre la respuesta acústica de la capa de lodo fluido a las ondas sónicas de baja y alta frecuencia, pero aún no se ha obtenido una conclusión cuantitativa. De todos modos, la diferencia entre la profundidad de agua medida con ondas de baja y alta frecuencia es una indicación del espesor de la capa de lodo fluido.

(6) Establecimiento de la Tarifa

El aumento de la tarifa en el Puerto de La Unión es necesario para la solidez financiera del puerto. Si la tarifa del Puerto de La Unión se mantiene al nivel del presente, el ingreso neto será siempre menor que el costo de dragado por cada profundidad de canal, como se ha mencionado ya. Por consiguiente, es necesario aumentar la tarifa en el Puerto de La Unión para mantener una condición financiera sólida.

Sin embargo, esto puede llegar a debilitar la competitividad del puerto ante puertos vecinos, conllevando a un decrecimiento en el monto de los contenedores que opera. El nivel de la tarifa va a ser un asunto crucial cuando el mercado naviero comience a ser más liberalizado así como cuando las barreras en las fronteras nacionales son removidas como se muestra en la Figura 9.16.

(7) Escenario de hub de trasbordo

Llegar a ser un hub de trasbordo es uno de los escenarios factibles para el Puerto de La Unión, de acuerdo al cálculo del modelo de recalada de buques como se muestra en la Figura 9.12, la Figura 9.13, y en otras figuras en la Sección 9.2. También puede ser beneficioso para la economía de El Salvador, como se muestra en la Figura 9.22, la Figura 9.23, y en otras figuras en la Sección 9.3.

Sin embargo, un punto importante a tener en cuenta, es que con el solo hecho de profundizar el canal por medio del dragado, no se garantiza que el puerto se convierta en un hub de trasbordo. Para ello, se requieren realizar considerables esfuerzos para atraer buques de la línea principal. Como se afirmó en el punto (8) de la sección anterior, los valores estimados (la producción de la carga de contenedores) del Modelo de Recalada de Buques se extienden en un amplio rango dependiendo del escenario. Para realizar el valor más elevado de los escenarios factibles atrayendo la red de transporte naviera más favorable al Puerto de La Unión, es muy importante implementar estrategias de ventas portuarias más efectivas, enfocándose en los objetivos apropiados basados en investigaciones científicas como se muestra en este informe. La importancia de las estrategias de ventas portuarias no deberán ser cambiadas de ningún modo aun cuando la CEPA se convierta en una autoridad portuaria de tipo terrateniente luego del contrato de concesión. Las ventas portuarias necesitan ser implementadas estratégicamente con la cooperación del concesionario.

(8) Desarrollo regional en el oriente de El Salvador

Un avance del proyecto de desarrollo para la región oriental salvadoreña podría contribuir a incrementar el monto de la carga de contenedores así como de la renta en el Puerto de La Unión, como ya se ha mencionado. Por lo tanto, el desarrollo de la integración del Puerto de La Unión con el interior en el área oriental de El Salvador, es también una de las claves importantes para el desarrollo futuro del Puerto de La Unión como fue originalmente planeada.

(9) Importancia del plan de inversión paso a paso para el dragado para evitar grandes riesgos financieros

Los ejemplos de resultados como se muestran en la Tabla 10.9 y la Tabla 10.10 en el análisis de las series de tiempo considerando el ingreso, el beneficio y el costo de dragado de cada año, implican que la mejor estrategia para maximizar el máximo beneficio neto esperado, es conseguir una draga para un mantenimiento anual del dragado dentro de unos años y mantener la profundidad del canal alrededor de unos -12 m o -13 m. Sin embargo, existe un riesgo significativo debido a que esta estrategia podrá ser exitosa sólo si se realiza el escenario de “hub de trasbordo”.

Por otro lado, la segunda mejor estrategia con relativamente menor riesgo, es que se realice un primer re-dragado para una profundidad de aproximadamente -10 m, conducida por una draga contratada, y un segundo dragado para una profundidad de -13 m. Este tipo de estrategia “paso a paso” es muy útil para evitar enormes riesgos financieros.

(10) Necesidad de nuevas reglas de navegación para el acceso al canal del Puerto de La Unión

Las reglas existentes de navegación son adecuadas bajo la situación actual donde barcos pequeños navegan un canal poco profundo, como se mencionó en la Sección 9.1. Sin embargo, se necesita introducir nuevas reglas de navegación cuando el canal sea profundizado y recalen barcos de varios tamaños.