

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**

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**

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.

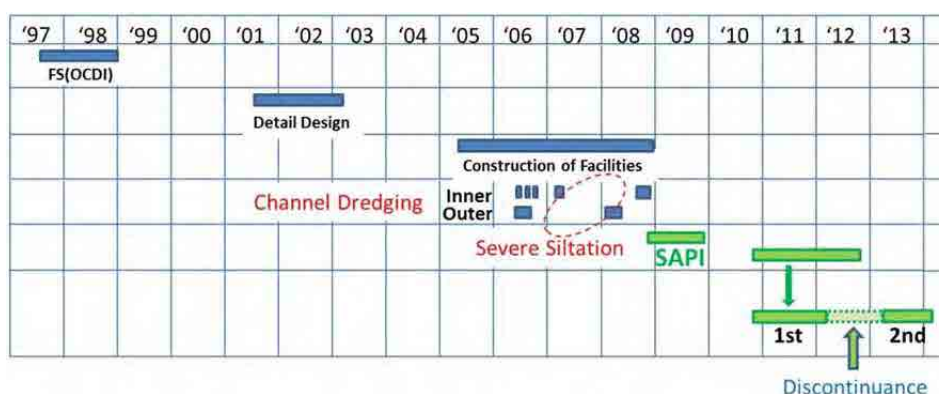


Figura 1.1 Historia del Puerto de La Unión

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 1^{er} 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.

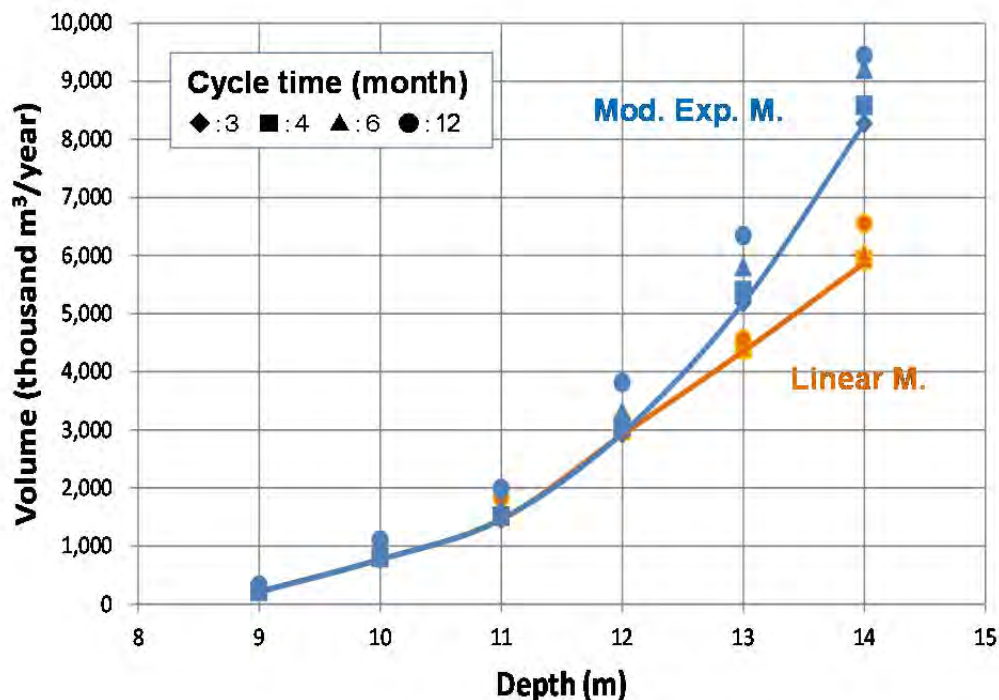


Figura 5.7 Volumen de dragado de mantenimiento versus Profundidad

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.

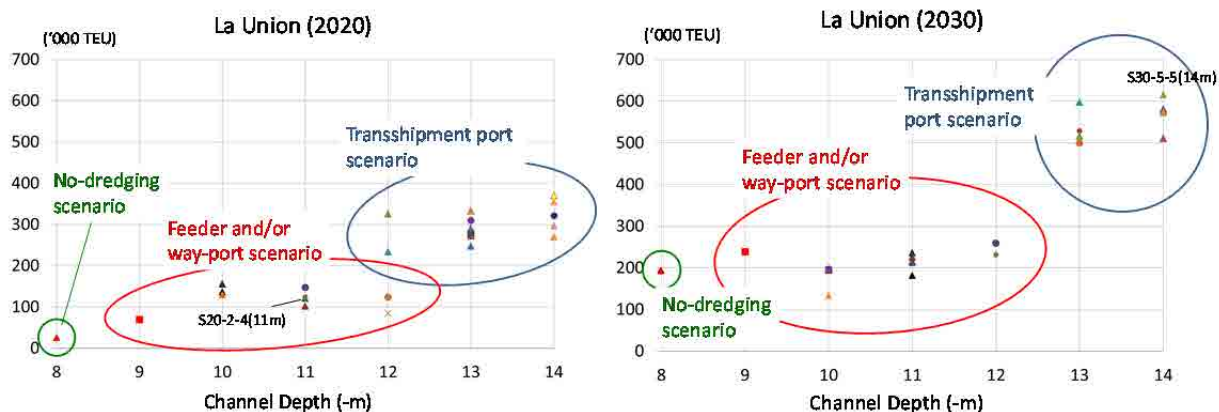


Figura 9.12 y 9.13 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión en 2020 y 2030

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)).

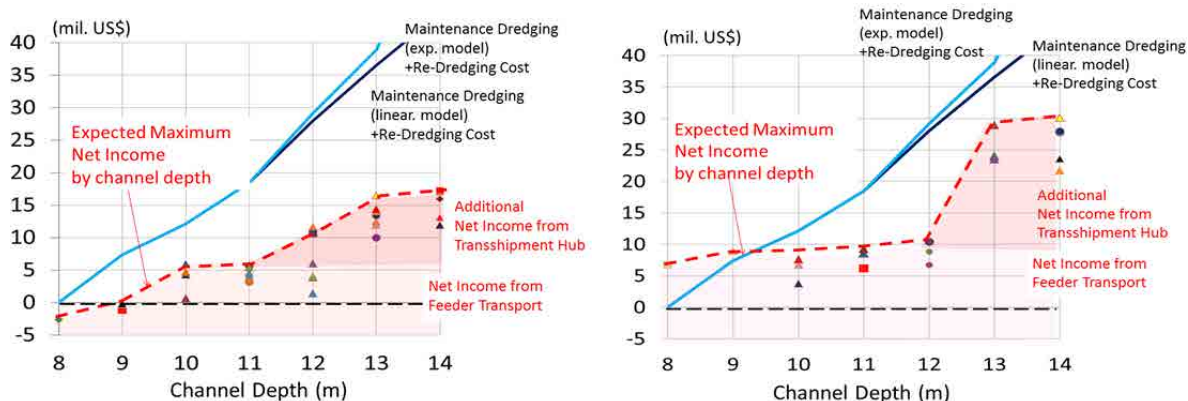


Figura 9.18 y 9.19 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (izquierda: 2020; derecha: 2030)

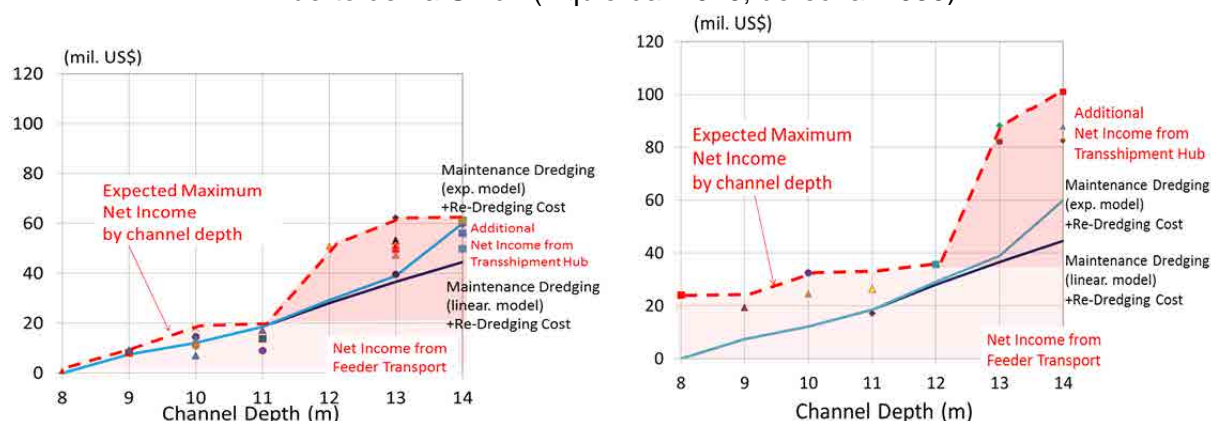


Figura 9.24 y 9.25 Ingreso neto estimado en caso de aumentar las tarifas y el costo del dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (izquierda: 2020; derecha: 2030)

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.....	1-2
1.3	Resultados del estudio de SAPI.....	1-4
1.3.1	Golfo de Fonseca y Ríos que Desembocan	1-4
1.3.2	Clasificación de Sedimentos y Mecanismo de Sedimentación	1-5
1.3.3	Establecimiento de Fórmulas de Predicción para la Velocidad de Sedimentación y Profundidad del Canal	1-7
1.4	Objetivos y Principales Trabajos del presente Estudio.....	1-8
1.5	Ingenieros Involucrados y Programa del Estudio	1-9
1.5.1	Ingenieros Involucrados	1-9
1.5.2	Programa del Estudio.....	1-12
1.6	Composición y Abstracto de los Capítulos del Informe	1-14
Capítulo 2	Transferencia de Tecnología.....	2-1
2.1	Capacitación Técnica Impartida al Personal de CEPA en Japón	2-1
2.2	Transferencia de Tecnología a la Contraparte	2-2
2.2.1	Transferencia de Tecnología en el Campo de Ingeniería.....	2-2
2.2.2	Transferencia de Tecnología en el Campo de Economía.....	2-7
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	Perfil Longitudinal de la Profundidad del Canal de Acceso.....	3-3
3.1.3	Perfil Transversal de la Profundidad de la Dársena y el Canal de Acceso	3-3
3.1.4	Profundidad Media del Canal de Acceso y la Dársena.....	3-13
3.1.5	Diferencia entre las Mediciones de Profundidad con Ondas Sónicas de 38 y 200 kHz.....	3-16
3.2	Condiciones del Lodo del Fondo Marino	3-17
3.2.1	Sitios y Metodología del Muestreo de Lodo	3-17
3.2.2	Descripción de Lodo Muestreado y Perfil de la Densidad Vertical de la Capa de Lodo.....	3-20
3.2.3	Propiedades Físicas del Lodo Muestreado	3-23

3.2.4	Predicción Numérica del Cambio de Perfil de Densidad mediante el Proceso de Consolidación de Lodo.....	3-24
3.2.5	Evaluación de Espesor de la Capa de Lodo Fluido para la Definición del Fondo Náutico.....	3-30
3.3	Principales Resultados del Estudio de Campo	3-30
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).....	4-2
4.3	Análisis de los Procesos de Sedimentación en el Canal	4-6
4.3.1	Sedimentación en el Canal Interno	4-6
4.3.2	Sedimentación en el Canal Externo.....	4-12
4.3.3	Consideraciones Físicas para la Sedimentación Rápida Inmediatamente después del Dragado	4-17
4.4	Modelos de Predicción de Sedimentación para el Canal.....	4-21
4.4.1	Modificaciones al Modelo Exponencial Original.....	4-21
4.4.2	Modelo Lineal.....	4-26
4.4.3	Aplicabilidad de los Dos Modelos.....	4-28
4.5	Modelo de Predicción de Sedimentación para la Dársena y el Canal del Puerto	4-29
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	5-3
5.2.1	Profundidad navegable	5-3
5.2.2	Método de estimación del volumen de dragado de mantenimiento	5-3
5.2.3	Volumen de dragado de mantenimiento en función de la profundidad	5-5
5.2.4	Volumen de dragado de mantenimiento y profundidad de post-dragado por segmento.....	5-11
5.3	Análisis de Métodos de Dragado y Capacidad de Draga	5-17
5.3.1	Tipos de draga.....	5-17
5.3.2	Método apropiado de dragado	5-21
5.3.3	Capacidad requerida de draga.....	5-25
5.4	Estimación del Costo de Dragado	5-31
5.4.1	Consideraciones sobre el costo estimado de dragado.....	5-32
5.4.2	Costo de re-dragado.....	5-43
5.4.3	Costo de dragado de mantenimiento	5-43
5.4.4	Comentarios sobre el costo de re-dragado.....	5-45
5.4.5	Efecto de disminuir el ciclo de dragado (Caso estudiado para la profundidad objetivo del canal de 12 m).....	5-46
5.4.6	Recomendaciones sobre el marco de dragado.....	5-49
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	6-2
6.3	Confirmación de Rápida Sedimentación Inmediatamente después de Dragado	6-3
6.4	Corrección por Mareas Aplicada a Datos Batimétricos.....	6-7
6.4.1	Mejoramiento de la corrección de mareas para los datos de mediciones batimétricas	6-7
6.4.2	Nivel de referencia del Puerto de La Unión	6-13

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	7-4
7.4	Asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión	7-8

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.....	8-24
8.2	Puertos de los países CA5 en la costa del Pacífico.....	8-28
8.2.1	Indicador básico.....	8-28
8.2.2	Condiciones de ubicación	8-28
8.2.3	Condiciones físicas	8-29
8.2.4	Gestión y operación portuaria.....	8-29
8.2.5	Características de los puertos	8-30
8.2.6	Características del Manejo de los Contenedores	8-31
8.2.7	Futuro Desarrollo y Mejora	8-31
8.3	Actividades de Contenedores de la Región de América Central	8-38
8.3.1	Tráfico de contenedores de los puertos de América Central	8-38
8.3.2	Movimiento de los buques portacontenedores en la región de América Central ..	8-41
8.3.3	Opiniones de operadores de transporte marítimo	8-47
8.4	Perspectiva General del Modelo de Recalado de Buques	8-51
8.5	Comportamiento de las Compañías Navieras.....	8-53
8.5.1	Red de transporte marítimo	8-53
8.5.2	Compañía Naviera	8-54
8.5.3	Puerto.....	8-55
8.6	Modelo de asignación de carga de contenedores.....	8-59
8.6.1	Estructura completa del modelo	8-59
8.6.2	Formulación del modelo de asignación de carga de contenedores.....	8-60
8.6.3	Submodelo de transporte marítimo.....	8-61
8.6.4	Costo de flete marítimo	8-61
8.6.5	Tiempo de transporte terrestre y el costo de flete.....	8-62
8.7	Datos de Input.....	8-63
8.7.1	Carga de contenedores O-D (demanda de transporte de carga de contenedores) ..	8-63
8.7.2	Nivel de servicio en cada puerto.....	8-69
8.7.3	Red de transporte marítimo	8-70
8.7.4	Red de transporte terrestre	8-70
8.8	Resultados de cálculo del modelo de asignación de carga de contenedores	8-72
8.8.1	Esquema de cálculo del modelo	8-72
8.8.2	Estimación de parámetros desconocidos	8-73
8.8.3	Reproducibilidad del modelo.....	8-73
8.8.4	Sensibilidad del output del modelo	8-78

8.9	Conclusión del Capítulo 8	8-81
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.....	9-8
9.1.3	Navegabilidad según la profundidad del canal.....	9-10
9.2	Cálculo y los resultados del Modelo de Escalas de los Buques	9-20
9.2.1	Simulación de la recalada en el Puerto de La Unión al presente (al año 2010) utilizando el modelo desarrollado.....	9-20
9.2.2	Configuración de futuros escenarios para la simulación (2020 y 2030)	9-21
9.2.3	Resultados del modelo de cálculo	9-29
9.3	Análisis económico y financiero en el modelo original	9-40
9.3.1	Definición y metodología	9-40
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	9-42
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	9-46
9.3.4	Beneficio económico de El Salvador por la manipulación de contenedores en el Puerto de La Unión.....	9-51
9.4	Análisis económico y financiero de simulación de políticas.....	9-55
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	9-55
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	9-60
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.....	9-64
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.....	9-67
9.5	Conclusión del Capítulo 9	9-70
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	10-4
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	10-5
10.3.1	Estimación de las series temporales del rendimiento de contenedores de carga, y la ganancia y beneficio netos.....	10-5
10.3.2	Costo de dragado de las series temporales incluyendo el momento oportuno del re-dragado.....	10-10

10.4	Metodología y ejemplo de resultados del análisis financiero y económico de las series temporales considerando el momento oportuno del dragado	10-13
10.4.1	Elaborando una hoja de cálculo para la estimación de las series temporales.....	10-13
10.4.2	Obteniendo el momento oportuno de re-dragado y la combinación óptima de la profundidad a lograr	10-15
10.5	Conclusión del Capítulo 10.....	10-18
Capítulo 11	Conclusiones y Recomendaciones.....	11-1
11.1	Conclusiones.....	11-1
11.2	Recomendaciones	11-4

ANEXOS

ANEXO A MINUTA DE DISCUSIONES SOBRE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO A-1

ANEXO B MINUTA DE DISCUSIONES ENTRE CEPA Y EL EQUIPO DE ESTUDIO .B-1

**ANEXO C TEMAS RELACIONADOS CON LA SEDIMENTACIÓN DEL CANAL DEL
PUERTO DE LA UNIÓN.....**

..... C-1

C.1 ESTABILIDAD DE LOS TALUDESC-2

C.2 POSIBILIDAD DE LA REUBICACIÓN DEL CANALC-8

C.3 DRAGADO CON RASTRILLOC-10

C.4 COMENTARIOS SOBRE EL PLAN DE CEPA.....C-21

C.5 MÉTODOS DE DRAGADOC-31

C.6 PROFUNDIDAD Y VOLUMEN DE POST-DRAGADO POR SEGMENTOC-53

C.7 POST-DRAGADO EN EL CANAL EXTERNO HACIA EL OESTEC-65

C.8 Cálculo del Volumen de Re-Dragado.....C-69

**ANNEX D TÓPICOS RELACIONADOS CON EL ESTUDIO ECONÓMICO PARA EL
PUERTO DE LA UNIÓN.....**

D-1

D.1 Puertos en los Países Colindantes D-2

D.2 Detalle del Submodelo de Transporte Marítimo..... D-40

D.3 Entrevistas y encuestas junto con los miembros del equipo económico de la CEPA.... D-55

D.4 Manual de Operaciones de Computación del Modelo de Recalada de Buques..... D-66

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 Listado de miembros del Comité de Asistencia Doméstica al Proyecto en Japón	1-9
Tabla 1.3 Miembros del equipo de estudio del 1 ^{er} periodo.....	1-10
Tabla 1.4 Miembros del equipo de estudio del 2o periodo.....	1-10
Tabla 1.5 Contrapartes en el estudio del 1 ^{er} periodo	1-11
Tabla 1.6 Contrapartes en el estudio del 2º periodo	1-11
Tabla 1.7 Los Expertos de JICA enviados a CEPA	1-11
Tabla 1.8 Otras personas pertinentes de CEPA en el estudio del 1 ^{er} periodo.....	1-12
Tabla 1.9 Personas pertinentes de CEPA en el estudio del 2º periodo.....	1-12
Tabla 1.10 Programa del estudio del 1er periodo	1-12
Tabla 1.11 Programas del estudio del 2º periodo.....	1-13
Tabla 2.1 Itinerario de la capacitación técnica en Japón	2-2
Tabla 2.2 Participantes (1)	2-3
Tabla 2.3 Participantes (2)	2-3
Tabla 2.4 Participantes (3)	2-4
Tabla 2.5 Participantes (4)	2-4
Tabla 2.6 Participantes (5)	2-4
Tabla 2.7 Participantes (6)	2-5
Tabla 2.8 Participantes (7)	2-5
Tabla 2.9 Participantes (8)	2-5
Tabla 2.10 Participantes (9)	2-5
Tabla 2.11 Participantes (10)	2-6
Tabla 2.12 Participantes (11)	2-6
Tabla 2.13 Participantes (12)	2-7
Tabla 2.14 Participantes (1)	2-7
Tabla 2.15 Participantes (2)	2-8
Tabla 2.16 Participantes (3)	2-8
Tabla 2.17 Participantes (4)	2-9
Tabla 2.18 Participantes (5)	2-9
Tabla 2.19 Participantes (6)	2-9
Tabla 2.20 Participantes (7)	2-10
Tabla 2.21 Participantes (8)	2-10
Tabla 2.22 Participantes (9)	2-10
Tabla 2.23 Participantes (10)	2-11
Tabla 2.24 Participantes (11)	2-11
Tabla 2.25 Participantes (12)	2-12
Tabla 2.26 Participantes (13)	2-12
Tabla 2.27 Programa del taller de trabajo, títulos de presentaciones y presentadores.....	2-12
Tabla 2.28 Listado de participantes y presentadores	2-13
Tabla 3.1 Ubicación de las líneas de mediciones batimétricas	3-1
Tabla 3.2 Profundidad media del canal de acceso y la dársena en febrero de 2011	3-14
Tabla 3.3 Profundidad media del canal de acceso y la dársena en agosto de 2011	3-14
Tabla 3.4 Profundidad media del canal de acceso y la dársena en enero de 2012.....	3-14
Tabla 3.5 Rango aproximado del espesor del lodo fluido en las líneas transversales	

respectivas (SAPI, 2009)	3-17
Tabla 3.6 Ubicación de los sitios del muestreo.....	3-18
Tabla 3.7 Características de suelo en cinco sitios de muestreo	3-24
Tabla 4.1 Periodos de implementación de dragado	4-1
Tabla 4.2 Parámetros de la diferencia de profundidad final para el canal del puerto y la dársena	4-31
Tabla 5.1 Volumen de re-dragado estimado (unidad: 1.000 m ³)	5-2
Tabla 5.2 TDS (Tonelada de Sólido Seco) estimado de re-dragado (unidad: 1.000 t)	5-2
Tabla 5.3 Modelos de previsión de sedimentación para estimar volumen de dragado de mantenimiento	5-4
Tabla 5.4 Volumen de dragado de mantenimiento calculado con el modelo exponencial modificado	5-6
Tabla 5.5 Volumen de dragado de mantenimiento calculado con el modelo lineal.....	5-7
Tabla 5.6 Altura y volumen de dragado de mantenimiento (post-dragado) estimado con el modelo exponencial modificado para una profundidad objetivo de 14 m	5-16
Tabla 5.7 Aplicabilidad de métodos de dragado al Puerto de La Unión.....	5-24
Tabla 5.8 Ejemplo de cálculo de horas laborables.....	5-27
Tabla 5.9 Capacidad de draga necesaria para re-dragado (m ³).....	5-29
Tabla 5.10 Capacidad de draga necesaria para el dragado de mantenimiento (m ³), aplicando el modelo exponencial modificado.....	5-29
Tabla 5.11 Capacidad de draga necesaria para el dragado de mantenimiento (m ³), aplicando el modelo lineal	5-30
Tabla 5.12 Precio de fabricación de draga estudiado por CEPA	5-33
Tabla 5.13 Precio de fabricación de draga en Japón (Base real)	5-33
Tabla 5.14 Costo de maquinaria de la TSHD según su capacidad	5-35
Tabla 5.15 Desglose de la fuerza del motor según la capacidad de la TSHD (potencia de bomba y potencia de propulsión).....	5-38
Tabla 5.16 Número de tripulantes de alto nivel y tripulantes comunes y el costo unitario laboral (excluyendo las prestaciones sociales y otros gastos)	5-39
Tabla 5.17 Costo anual de tripulantes según categoría.....	5-39
Tabla 5.18 Costo de tripulación en caso de dragado con draga propia (costo unitario de CEPA incluyendo las prestaciones sociales y otros gastos).....	5-40
Tabla 5.19 Costo de movilización inicial según la capacidad de draga y costo anual	5-41
Tabla 5.20 Costo de movilización para inspección según la capacidad de draga (Recorrido de ida y vuelta de/a Balboa)	5-41
Tabla 5.21 Costos de seguro y contingencias estimados por CEPA.....	5-43
Tabla 5.22 Costo de dragado según el tirante de agua.....	5-43
Tabla 5.23 Costo de dragado con el modelo exponencial modificado	5-44
Tabla 5.24 Costo de dragado con el modelo lineal	5-44
Tabla 5.25 Desglose del costo indirecto de dragado a base de contrato.....	5-51
Tabla 6.1 Niveles de referencia vertical en El Salvador proporcionados por CNR.	6-14
Tabla 7.1 Tasa de Crecimiento del PIB Real de CA4.....	7-2
Tabla 7.2 Volumen Estimado de Contenedores de CA4.....	7-2
Tabla 7.3 Elasticidad del PIB del Volumen de Contenedores hacia/desde CA4	7-3
Tabla 7.4 Elasticidad PIB	7-3
Tabla 7.5 Tasa de Crecimiento de Contenedores (2010 = 100).....	7-4
Tabla 7.6 Volumen de Contenedores de cada puerto en 2010	7-5
Tabla 7.7 Volumen de Contenedores de cada país en 2010 (TEU).....	7-6
Tabla 7.8 Matriz de transporte de hinterland (2010)	7-7
Tabla 7.9 Referente a los siguientes sitios:.....	7-9

Tabla 7.10 Costos del Transporte por TEU en 2010 (US\$)	7-9
Tabla 7.11 Tiempo de Tránsito en 2010 (días).....	7-10
Tabla 7.12 Matriz de transporte de hinterland (con La Unión)	7-11
Tabla 7.13 Matriz de transporte de hinterland (con La Unión) en 2020 (Escenario 1)	7-13
Tabla 7.14 Matriz de transporte de hinterland (con La Unión) en 2030 (Escenario 1)	7-14
Tabla 7.15 Asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión en los años 2020 y 2030 (Escenario 1).....	7-15
Tabla 7.16 Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2020 (Escenario 2).....	7-15
Tabla 7.17 Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2030 (Escenario 2).....	7-17
Tabla 7.18 Asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión en los años 2020 y 2030 (Escenario 2).....	7-18
Tabla 8.1 Tendencia de Recaladas de Barcos y Manejo de Carga de los Principales Puertos de El Salvador.....	8-2
Tabla 8.2 Muelle	8-4
Tabla 8.3 Principales Instalaciones del Puerto de Acajutla	8-4
Tabla 8.4 Cambio de Volumen de Carga Total en Últimos 10 Años	8-5
Tabla 8.5 Carga manejada según tipo y muelle	8-6
Tabla 8.6 Cambio de Carga de Contenedores en Últimos 10 Años.....	8-6
Tabla 8.7 Países de Origen de los Contenedores Importados según Mercancías en 2012 ..	8-7
Tabla 8.8 Países de Destino de los Contenedores Exportados según Mercancías en 2012 ..	8-7
Tabla 8.9 Recaladas de Barcos según su Clase en 2012.....	8-8
Tabla 8.10 Recaladas Mensuales de Buques Portacontenedores según Compañía Naviera en 2012	8-8
Tabla 8.11 Asignación de Atraques de Muelle por Categoría de Mercancías en 2012.....	8-9
Tabla 8.12 Asignación de Atraques de Muelle por Mercancías en 2012.....	8-10
Tabla 8.13 Tiempo Estimado de Atraque y Trabajo, y el Aumento de Contenedores	8-11
Tabla 8.14 Capacidad de Manejo de Contenedores.....	8-12
Tabla 8.15 Instalaciones portuarias y sus estados actuales en el Puerto de Acajutla.....	8-14
Tabla 8.16 Resultados de los ensayos con el martillo Schmidt	8-18
Tabla 8.17 Resultado de la Encuesta sobre las Inspecciones Visuales y de Martillo para el Estudio de Diagnóstico sobre los Grados de Deterioro de las Instalaciones del Puerto de Acajutla	8-19
Tabla 8.18 Valoración de la Vida Útil Restante basada en los Resultados de la Encuesta sobre las Instalaciones del Puerto de Acajutla.....	8-20
Tabla 8.19 Principal Instalación del Puerto de La Unión	8-24
Tabla 8.20 Tráfico de Carga del Puerto de La Unión	8-25
Tabla 8.21 Tráfico de Contenedores del Puerto de La Unión.....	8-26
Tabla 8.22 Recalada de Barcos en el Puerto de La Unión en 2012	8-26
Tabla 8.23 Situaciones Económicas de los países del CA5.....	8-32
Tabla 8.24 Condiciones de Ubicación de los Puertos de los Países del CA5 en la Costa del Pacífico	8-33
Tabla 8.25 Condiciones Físicas de los Puertos de los Países del CA5 en la Costa del Pacífico (actualizada)	8-34
Tabla 8.26 Gestión y Operación Portuaria.....	8-35
Tabla 8.27 Características de los Puertos de los Países del CA5 en la Costa del Pacífico según Recalada de Buques y Manejo de Carga	8-36
Tabla 8.28 Características del Manejo de los Contenedores en los Puertos de los Países del CA5 en la Costa del Pacífico (2012)	8-37
Tabla 8.29 Tráfico de contenedores de los puertos en la región de América Central.....	8-39
Tabla 8.30 Valor estándar de las Dimensiones de Buques Portacontenedores	8-41

Tabla 8.31 Cambios en el número de los servicios de contenedores que recalán en los puertos	8-46
Tabla 8.32 Ejemplo de la base de datos sobre buques portacontenedores de MDS	8-54
Tabla 8.33 28 compañías de transporte de contenedores en el modelo	8-54
Tabla 8.34 Puertos en América Central incluidos en el modelo y su tráfico	8-57
Tabla 8.35 Proporciones (índices de cobertura) en términos de la capacidad de TEU de los buques portacontenedores que recalaron en los puertos que están incluidos en la red de transporte del modelo	8-58
Tabla 8.36 Desglose por región socia de la carga que se maneja en 2 puertos guatemaltecos (2010).....	8-65
Tabla 8.37 Proporción de la carga de contenedores cargados de y a América Central en cada costa por región socia (en base a TEU, 2010)	8-66
Tabla 8.38 Proporción de cada zona por región socia (exportación e importación).....	8-66
Tabla 8.39 Configuraciones de nivel de servicio en cada puerto	8-69
Tabla 8.40 Tiempo y costo de conducción entre las zonas representativas (nodos O y D) y los puertos.....	8-71
Tabla 8.41 Tiempo y costo para cruzar la frontera entre las zonas representativas (nodos O y D) y los puertos.....	8-71
Tabla 8.42 Cantidades y proporciones estimadas de los contenedores según país o región socia del comercio de y a los puertos de los países del CA4.....	8-75
Tabla 8.43 Resultados de la estimación de los puertos de exportación e importación de los contenedores de y a los países del CA4 (TEU)	8-75
Tabla 8.44 Proporciones real y estimada de las compañías navieras en el Puerto de Acajutla (2010).....	8-76
Tabla 9.1 Normas de navegación en el Puerto de La Unión.....	9-3
Tabla 9.2 Niveles de marea del Puerto de La Unión según CNR.....	9-8
Tabla 9.3 Sugerencias sobre la tolerancia de resguardo bruto bajo la quilla de PIANC ...	9-11
Tabla 9.4 Resultados del Cálculo del Tiempo Navegable en el Canal	9-12
Tabla 9.5 Resultados del Cálculo del Promedio del Tiempo Navegable Diario.....	9-14
Tabla 9.6 Resultados del cálculo de tiempo previsto de espera.....	9-16
Tabla 9.7 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	9-21
Tabla 9.8 Ajustes futuros del nivel de servicio en cada puerto.....	9-22
Tabla 9.9 Servicio de transporte regular existente en el Puerto de Acajutla al mes de mayo de 2010	9-24
Tabla 9.10 Servicio de transporte regular existente en el Puerto de La Unión al mes de febrero de 2012.....	9-24
Tabla 9.11 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.....	9-25
Tabla 9.12 Posibles alternativas a ser agregadas como un servicio de transbordo en el Puerto de La Unión.....	9-26
Tabla 9.13 Ejemplo del escenario de la red de transporte marítimo introducido en el modelo (Para una profundidad de -12 m)	9-27
Tabla 9.14 Ejemplo de distribución de la zona de influencia de los puertos salvadoreños estimada a partir del modelo.....	9-33
Tabla 9.15 Ejemplo de distribución de la zona de influencia del Puerto de La Unión estimada a partir del modelo (en el caso del aumentar tarifas).....	9-37
Tabla 9.16 Ejemplo de la distribución de la zona de influencia del Puerto de La Unión, después de aumentar la tarifa (en el Escenario S30-5-5 (14 m) con una profundidad	

de canal de -14 m en el año 2030)	9-38
Tabla 9.17 Ingresos y gastos del negocio de contenedores en el Puerto de La Unión	9-40
Tabla 9.18 Tarifas del Puerto de La Unión (para los contenedores).....	9-40
Tabla 9.19 Costo de operación de terminal de contenedores.....	9-41
Tabla 9.20 Ingresos y gastos del negocio de contenedores en los puertos de El Salvador	9-41
Tabla 9.21 Tarifas del Puerto de Acajutla (para los contenedores).....	9-41
Tabla 9.22 Beneficio económico y el costo del proyecto de dragado del canal en el Puerto de La Unión (Comparación con el escenario “sin el dragado”)	9-42
Tabla 9.23 Rendimiento estimado de contenedores y escalas de los buques en el Puerto de La Unión (2020)	9-42
Tabla 9.24 Rendimiento estimado de contenedores y escalas de los buques en el Puerto de La Unión (2030)	9-43
Tabla 9.25 Costo de dragado según la profundidad del canal y según el modelo	9-43
Tabla 9.26 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión (2020)	9-45
Tabla 9.27 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión (2030)	9-45
Tabla 9.28 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020).....	9-45
Tabla 9.29 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2030).....	9-46
Tabla 9.30 Rendimiento de contenedores y escalas de los buques en los puertos de Acajutla y La Unión (2020)	9-46
Tabla 9.31 Rendimiento de contenedores y escalas de los buques en los puertos de Acajutla y La Unión (2030)	9-47
Tabla 9.32 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en los puertos de Acajutla y La Unión (2020)	9-49
Tabla 9.33 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en los puertos de Acajutla y La Unión (2030).....	9-49
Tabla 9.34 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)	9-50
Tabla 9.35 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)	9-50
Tabla 9.36 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2020)	9-53
Tabla 9.37 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)	9-53
Tabla 9.38 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2020)	9-53
Tabla 9.39 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)	9-54
Tabla 9.40 Nuevas tarifas del Puerto de La Unión	9-55
Tabla 9.41 Rendimiento estimado de contenedores y escalas de los buques en el Puerto de La Unión en caso de aumentar las tarifas (2020)	9-55
Tabla 9.42 Rendimiento estimado de contenedores y escalas de los buques en el Puerto de La Unión en caso de aumentar las tarifas (2030)	9-56
Tabla 9.43 Ingreso neto máximo generado de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión en caso de aumentar las tarifas (2020)	9-58
Tabla 9.44T Ingreso neto máximo generado de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión en caso de aumentar las tarifas (2030)	9-58

Tabla 9.45 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)	9-59
Tabla 9.46 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)..	9-59
Tabla 9.47 Rendimiento de contenedores y escalas de los buques en los puertos de Acajutla y La Unión en caso de aumentar las tarifas en el Puerto de La Unión (2020)	9-60
Tabla 9.48 Rendimiento de contenedores y escalas de los buques en los puertos de Acajutla y La Unión en caso de aumentar las tarifas en el Puerto de La Unión (2030)	9-60
Tabla 9.49 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).....	9-63
Tabla 9.50 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).....	9-63
Tabla 9.51 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)	9-63
Tabla 9.52 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)	9-64
Tabla 9.53 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2020)	9-66
Tabla 9.54 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)	9-66
Tabla 9.55 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2020)	9-66
Tabla 9.56 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)	9-67
Tabla 9.57 Rendimiento estimado de contenedores y escalas de los buques en el Puerto de La Unión considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador (2020)....	9-67
Tabla 9.58 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)....	9-69
Tabla 9.59 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)	9-69
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	10-3
Tabla 10.4 Costo para adquisición de la draga (US\$) por la profundidad a lograr para ambos modelos de predecir el cambio de profundidad de agua después del dragado inicial	10-3
Tabla 10.5 Costo de movilización para draga de mantenimiento (US\$) estimado por cada profundidad a lograr	10-4
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 representativo del rendimiento de contenedor de carga y otros ingresos/costos por cada profundidad de canal en 2020 y 2030.....	10-7
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)	10-16
Tabla 10.10 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 (después del incremento de la tarifa en el Puerto de La Unión)	10-17

Listado de Figuras

Figura 1.1 Historia del Puerto de La Unión.....	1-2
Figura 1.2 Cambios del fondo marino en el canal interno.....	1-3
Figura 1.3 Cambios del fondo marino en el canal externo.....	1-3
Figura 1.4 Batimetría del Golfo de Fonseca reproducida de la Carta 21521 de US NGIA	1-5
Figura 1.5 Foto satelital del Golfo de Fonseca reproducida de.....	1-5
Figura 1.6 Clasificación de sedimentos y diámetro medio alrededor del canal interno.....	1-6
Figura 1.7 Clasificación de sedimentos y diámetro medio alrededor del canal externo.....	1-7
Figura 3.1 Líneas de mediciones batimétricas en el canal de acceso.....	3-2
Figura 3.2 Líneas de mediciones batimétricas en la dársena.....	3-2
Figura 3.3 Variación longitudinal de la profundidad a lo largo de la línea central del canal de acceso.....	3-3
Figura 3.4 Perfil transversal de la profundidad del canal de acceso externo con el perfil de canal planeado (L1, L2 y L3).....	3-4
Figura 3.5 Perfil transversal de la profundidad del canal de acceso externo con el perfil de canal planeado (L4, L5 y L6).....	3-5
Figura 3.6 Perfil transversal del canal de acceso externo con el perfil de canal planeado (L7, L8 y L9).....	3-6
Figura 3.7 Perfil transversal de la profundidad del canal de acceso externo con el perfil de canal planeado (L10, L11 y L12).....	3-7
Figura 3.8 Perfil transversal de la profundidad del canal de acceso interno con el perfil de canal planeado (L17, L18 y L19).....	3-8
Figura 3.9 Perfil transversal de la profundidad del canal de acceso interno con el perfil de canal planeado (L20, L21 y L22).....	3-9
Figura 3.10 Perfil de la profundidad de la dársena de maniobras sobre las líneas perpendiculares al muelle.....	3-10
Figura 3.11 Perfil de la profundidad de la dársena de maniobras sobre las líneas perpendiculares al muelle.....	3-11
Figura 3.12 Perfil de la profundidad de la dársena de maniobras sobre las líneas paralelas al muelle.....	3-12
Figura 3.13 Variación longitudinal de la profundidad media del canal de acceso.....	3-15
Figura 3.14 Variación longitudinal de la profundidad media del canal de acceso interno y la dársena.....	3-15
Figura 3.15 Perfiles transversales del canal medidos con señales de 38 y 200 kHz entre L18 y L20 (SAPI, 2009).....	3-16
Figura 3.16 Ubicación de los sitios del muestreo.....	3-18
Figura 3.17 Subiendo el tubo de muestreo en el sitio E (a) y tubo de muestreo en el sitio E (b).....	3-19
Figura 3.18 Cortando el tubo de muestreo en secciones de 0,3 m de largo.....	3-20
Figura 3.19 Fotos de muestras de lodo con su densidad.....	3-21
Figura 3.20 Perfil vertical de la densidad húmeda de lodo fuera del canal de acceso.....	3-22
Figura 3.21 Perfil vertical de la densidad húmeda de lodo dentro del canal de acceso.....	3-22
Figura 3.22 Relación entre el contenido de humedad y la densidad húmeda de muestras de lodo.....	3-23
Figura 3.23 Velocidad de sedimentación adoptada en la calibración del análisis de consolidación de lodo.....	3-25
Figura 3.24 Evolución temporal de (a) profundidad media del canal y (b) perfil de	

densidad húmeda de lodo en el sitio D	3-26
Figura 3.25 Evolución temporal de (a) profundidad media del canal y (b) perfil de densidad húmeda de lodo en el sitio E	3-27
Figura 3.26 Velocidad de sedimentación adoptada en la predicción de la sedimentación de lodo después del dragado de mantenimiento	3-28
Figura 3.27 Evolución temporal de (a) altura de sedimentación y (b) densidad húmeda de lodo del fondo después del dragado de mantenimiento	3-29
Figura 3.28 Evolución temporal de la densidad húmeda de lodo del fondo versus la altura de sedimentación después del dragado de mantenimiento	3-29
Figura 3.29 Evolución temporal del perfil de la densidad húmeda de lodo. (a) $\Delta h_0 = 3,0$ m y (b) $\Delta h_0 = 4,5$ m	3-29
Figura 3.30 Evolución temporal del perfil de la densidad húmeda de lodo. (a) $\Delta h_0 = 6,0$ m y (b) $\Delta h_0 = 7,5$ m	3-30
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	4-2
Figura 4.3 Líneas de mediciones batimétricas en el canal de acceso	4-3
Figura 4.4 Velocidad de sedimentación en función de la diferencia de profundidad dentro y fuera del canal de acceso	4-4
Figura 4.5 Definición de las profundidades de agua	4-4
Figura 4.6 Comparación de la profundidad del canal predicha y medida en líneas seleccionadas de mediciones batimétricas	4-5
Figura 4.7 Cambios del tirante de agua en las líneas de referencia de la L21 a la L18 en el canal interno	4-7
Figura 4.8 Superposición de secciones transversales a lo largo de L21	4-8
Figura 4.9 Superposición de secciones transversales a lo largo de las líneas de referencia de la L20 a la L18	4-9
Figura 4.10 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)	4-10
Figura 4.11 Superposición de las secciones transversales a lo largo de las líneas de referencia de la L20 a la L18, después de incrementar los valores de los datos de diciembre de 2008	4-10
Figura 4.12 Correcciones de los datos de tirante de agua en el canal interno	4-12
Figura 4.13 Ubicación de las líneas de referencia en el canal externo	4-13
Figura 4.14 Cambios del tirante de agua en las líneas de referencia de la L08 a la L05 en el canal externo	4-14
Figura 4.15 Periodos de dragado en el canal externo y los datos batimétricos considerados	4-15
Figura 4.16 Situación de completa sedimentación a lo largo de L08 a L05 en el canal externo	4-16
Figura 4.17 Diagrama conceptual de la condición de equilibrio dinámico antes del dragado	4-17
Figura 4.18 Diagrama conceptual de sedimentación en el canal externo	4-18
Figura 4.19 Superposición de secciones transversales a lo largo de L07 y L06	4-19
Figura 4.20 Distribución espacial de sedimento	4-19
Figura 4.21 Superposición de secciones transversales justamente después del segundo dragado (Medidas el 28 de abril y 5 de mayo de 2008)	4-20
Figura 4.22 Superposición de secciones transversales del 11 de agosto de 2008, cerca de 3 meses y medio después del dragado	4-21
Figura 4.23 Distribución espacial de sedimento	4-21

Figura 4.24 Diferencias en la sección transversal de L21 (canal interno) (Reproducida de la Figura 4.8)	4-22
Figura 4.25 Velocidad de sedimentación en función de la diferencia de profundidad en el canal interno después de la corrección de datos	4-22
Figura 4.26 Comparación del modelo exponencial original y el modificado con el tirante de agua real (para el canal interno)	4-23
Figura 4.27 Modificación del modelo exponencial introduciendo el concepto de profundidad final (para el canal externo)	4-24
Figura 4.28 Perfil longitudinal de la profundidad final h_e en el canal externo	4-24
Figura 4.29 Comparación del modelo exponencial original y el modificado con el tirante de agua real (canal externo).....	4-25
Figura 4.30 Variaciones temporales del tirante de agua en los canales interior y exterior	4-26
Figura 4.31 Velocidad de sedimentación representativa para los canales interior y exterior	4-27
Figura 4.32 Conexión del modelo lineal al modelo exponencial modificado.....	4-28
Figura 4.33 Sistema de coordenadas de la dársena del puerto	4-30
Figura 4.34 Secciones transversales a lo largo de la línea $x=200$ m, perpendicular al muelle	4-30
Figura 4.35 Perfiles del fondo marino a lo largo de la línea $y = -400$ m, paralela al muelle	4-30
Figura 4.36 Secciones transversales a lo largo de la línea 22, perpendicular al muelle	4-31
Figura 4.37 Comparación entre la altura de sedimentación relativa predicha y medida...	4-32
Figura 5.1 Perfil longitudinal sobre la línea central del canal de acceso, medido en julio de 2013	5-1
Figura 5.2 Forma del Canal para el cálculo del volumen de Re-Dragado.....	5-2
Figura 5.3 Definición de profundidad navegable y profundidad medida.....	5-3
Figura 5.4 Esquema de la subida del fondo del canal entre los dragados de mantenimiento	5-5
Figura 5.5 Volumen de dragado de mantenimiento (trazado con la escala vertical fija).....	5-8
Figura 5.6 Volumen de dragado de mantenimiento (trazado sobre distintas escalas verticales).....	5-9
Figura 5.7 Volumen de dragado de mantenimiento en función de la profundidad	5-10
Figura 5.8 Esquema de la definición de las alturas de dragado y post-dragado.....	5-12
Figura 5.9 Profundidad estimada de post-dragado con el modelo exponencial modificado	5-13
Figura 5.10 Profundidad estimada de post-dragado con el modelo lineal.....	5-14
Figura 5.11 Relación entre la profundidad de post-dragado y volumen de dragado anual	5-15
Figura 5.12 Esquema conceptual de una draga de succión con cabezal cortador	5-17
Figura 5.13 Esquema conceptual de una TSHD (Fuente: “Dragado; Manual de ingenieros” R N Bray et al., 1998).....	5-18
Figura 5.14 Esquema conceptual de la draga de cuchara	5-20
Figura 5.15 Foto y esquema conceptual de una draga de cuchara (tipo pontón).....	5-20
Figura 5.16 Esquema conceptual de una draga retroexcavadora (Fuente: “Mimar Sinan” Jan De Nul Group)	5-21
Figura 5.17 Ubicación del botadero	5-26
Figura 5.18 Tiempo necesario para el trabajo de dragado	5-28
Figura 5.19 Capacidad de draga necesaria para el dragado de mantenimiento (m^3), aplicando el modelo exponencial modificado	5-30
Figura 5.20 Capacidad de draga necesaria para el dragado de mantenimiento (m^3),	

aplicando el modelo lineal	5-31
Figura 5.21 Estimación del costo de dragado a base de contrato	5-32
Figura 5.22 Estimación del costo de dragado con propia draga de CEPA	5-32
Figura 5.23 Precio de fabricación de una TSHD según su capacidad	5-34
Figura 5.24 Relación entre la capacidad de la TSHD y la fuerza total del motor	5-37
Figura 5.25 Relación entre la capacidad de la TSHD y la potencia de bomba.....	5-38
Figura 5.26 Costo de dragado a base de contrato (comparación de costo entre el modelo exponencial modificado y el modelo lineal).....	5-45
Figura 5.27 Costo de dragado con draga propia (comparación de costo entre el modelo exponencial modificado y el modelo lineal).....	5-45
Figura 5.28 Estructura de los costos de re-dragado y dragado de mantenimiento	5-46
Figura 5.29 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).....	5-47
Figura 5.30 Relación entre el ciclo de dragado y el ratio de trabajo para los casos de capacidad de draga de 2.500 m ³ y 4.500 m ³	5-47
Figura 5.31 Relación entre el ciclo de dragado y el ratio de trabajo para capacidades de draga necesarias	5-48
Figura 5.32 Relación entre el ciclo y costo anual de dragado	5-48
Figura 5.33 Comparación del costo de dragado entre dragado a base de contrato y dragado con draga propia	5-49
Figura 5.34 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).....	5-50
Figura 5.35 Costo de dragado y capacidad de draga según el tirante de agua	5-52
Figura 6.1 Líneas de medición para el canal interno con una longitud transversal de 500 m y un intervalo longitudinal de 1 km.....	6-4
Figura 6.2 Líneas de medición para el canal externo con una longitud transversal de 500m y un intervalo longitudinal de 1 km.....	6-5
Figura 6.3 Líneas de medición para el área portuaria (dársena) con intervalos de 200 m de longitud.....	6-6
Figura 6.4 Equipo de mediciones batimétricas montado por el personal de CEPA	6-7
Figura 6.5 Relación entre las profundidades de agua medidas y las corregidas.....	6-8
Figura 6.6 Variación del nivel de mareas del 19 de abril, 2013.....	6-8
Figura 6.7 Parámetros de corrección de mareas relacionados con los puntos del canal (según el informe de SAPI)	6-9
Figura 6.8 Pantalla del programa de conversión geodésica utilizado por el personal de CEPA	6-10
Figura 6.9 Herramientas de procesamiento posterior codificadas con Excel/VBA	6-11
Figura 6.10 Ejemplo de datos procesados posteriormente	6-12
Figura 6.11 Nivel de referencia vertical adoptado por CNR	6-15
Figura 6.12 Nivel de referencia vertical adoptado en el Informe de Diseño Detallado (CUT-9 es un mojón ubicado en la esquina sudeste del Puerto de La Unión)	6-15
Figura 6.13 Variación de la profundidad de agua a lo largo del canal de acceso antes de la corrección de profundidad	6-17
Figura 6.14 Variación de la profundidad de agua a lo largo del canal de acceso después de la corrección de profundidad	6-17
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 Cambio de Volumen de Carga de Importación y Exportación por Categoría	8-5
Figura 8.5 Cambio de Carga de Contenedores	8-6
Figura 8.6 Distribución del Patio de Contenedores	8-12
Figura 8.7 Ubicación de cada atraque	8-13
Figura 8.8 Vista General del Plano del atraque A.....	8-13
Figura 8.9 Sección Transversal del atraque B	8-14
Figura 8.10 Sección Transversal del atraque C	8-14
Figura 8.11 Continuo óxido de color naranja rojizo en las pantallas de acero en el atraque A	8-15
Figura 8.12 Situación de las pilas de tubos de acero en el atraque B	8-15
Figura 8.13 Hormigón descascarado en el atraque A	8-16
Figura 8.14 Pared de hormigón mirando hacia el mar exterior en el atraque C	8-16
Figura 8.15 Inspección de martillo sobre las pantallas de acero en el atraque A	8-16
Figura 8.16 Puntos de ensayo realizados con el martillo Schmidt	8-17
Figura 8.17 Posiciones del martillo Schmidt.....	8-17
Figura 8.18 Posición del martillo Schmidt para el atraque A.....	8-17
Figura 8.19 Posición del martillo Schmidt para el atraque B	8-18
Figura 8.20 Planta de Generación de Energía Eléctrica Planificada	8-23
Figura 8.21 Red de Carreteras de entrada y salida del Puerto de Acajutla.....	8-23
Figura 8.22 Ubicación del Puerto de La Unión	8-24
Figura 8.23 Plano del Puerto de La Unión	8-25
Figura 8.24 Plano de Desarrollo del Puerto de La Unión.....	8-27
Figura 8.25 Puertos de contenedores en la región de América Central.....	8-38
Figura 8.26 Puertos de Contenedores de los Países del CA5 en la Costa del Pacífico	8-40
Figura 8.27 Distribución de la Capacidad de Buques Usados.....	8-41
Figura 8.28 Movimiento de buques portacontenedores de cada compañía naviera	8-45
Figura 8.29 Estructura completa del modelo de recalado de buques	8-52
Figura 8.30 Ubicación de los Puertos en América Central (se indican en letras rojas los puertos agregados en este modelo).....	8-56
Figura 8.31 Todos los puertos tratados en el modelo	8-57
Figura 8.32 Red de transporte considerada en el modelo de asignación de carga de contenedores	8-59
Figura 8.33 Red de transporte terrestre considerada en este proyecto	8-70
Figura 8.34 Tráfico de carga de contenedores reproducido por el modelo desarrollado en comparación con el tráfico real.....	8-74
Figura 8.35 Ejemplo del flujo de los contenedores estimado según servicio de línea (Maersk, 2010).....	8-77
Figura 8.36 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.....	8-78
Figura 8.37 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	8-79
Figura 8.38 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	8-80
Figura 9.1 Canal de navegación del Puerto de La Unión	9-2
Figura 9.2 Referencia del Nivel Vertical	9-8
Figura 9.3 Niveles de marea del Puerto de La Unión en 2013	9-9
Figura 9.4 Definición de resguardo bajo la quilla	9-11
Figura 9.5 Esquema conceptual de cálculo del tiempo previsto de espera.....	9-15

Figura 9.6 Resultados del cálculo de tiempo previsto de espera según la profundidad del canal.....	9-17
Figura 9.7 Relaciones entre el calado y capacidad de carga de contenedores en TEUs....	9-18
Figura 9.8 Herramienta de salida el rango de tiempo navegable.....	9-18
Figura 9.9 Resultados del cálculo del tiempo de espera previsto de acuerdo a las reglas de navegación existentes	9-19
Figura 9.10 Ruta de Servicio operada por APL y Hamburg-Sud en 2012.....	9-20
Figura 9.11 Base y caso ejemplar de la red de transporte marítimo (solamente los servicios de escala en los puertos de Acajutla y La Unión).....	9-28
Figura 9.12 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2020	9-31
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 2030	9-32
Figura 9.14 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2020 (en el caso aumentar la tarifa en el Puerto de La Unión).....	9-35
Figura 9.15 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2030 (en el caso de aumentar la tarifa en el Puerto de La Unión)	9-36
Figura 9.16 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)	9-37
Figura 9.17 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)	9-39
Figura 9.18 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)	9-44
Figura 9.19 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2030)	9-44
Figura 9.20 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)	9-48
Figura 9.21 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)	9-48
Figura 9.22 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña y el costo de dragado según profundidad del canal (2020)	9-52
Figura 9.23 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña y el costo de dragado según profundidades del canal (2030)	9-52
Figura 9.24 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)	9-57
Figura 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 (2030).....	9-57
Figura 9.26 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)	9-61
Figura 9.27 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)	9-62

Figura 9.28 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).....	9-65
Figura 9.29 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).....	9-65
Figura 9.30 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).....	9-68
Figura 10.1 Ejemplo típico de la estructura del cálculo de ingreso-costo de las series temporales (en caso del dragado en base a un contrato para los primeros diez años)	10-9
Figura 10.2 Ejemplo típico de la estructura del cálculo de ingreso-costo de las series temporales (en caso de dragado propio)	10-12
Figura 10.3 Ejemplo típico de la estructura del cálculo de ingreso-costo de las series temporales (en caso de dragado propio sin segundo re-dragado).....	10-12
Figura 10.4 Ejemplo de hoja de cálculo (a base de excel) para estimación de las series temporales de ingreso y beneficio netos incluyendo el rendimiento de contenedores de carga, ingresos públicos de ambos Puertos de Acajutla y La Unión, dragado y otros costos	10-14

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 a 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.

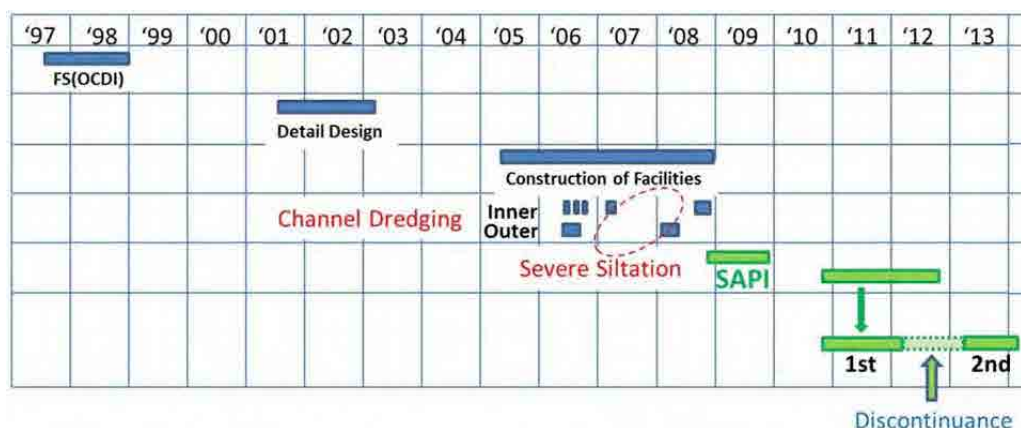


Figura 1.1 Historia del Puerto de La Unión

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 buques de pasaje de clases de 25.000 TPM. El canal fue dragado a una profundidad de 14 m, pero toda la ruta de navegación ha sido azolvada, y la profundidad una vez completada no ha sido mantenida.

El puerto tiene un muelle de contenedores con una longitud de 340 m y una profundidad de DL-15,0 m; un muelle para fines múltiples con una longitud de 220 m y una profundidad de 14,0 m; y un muelle de pasajeros con una longitud de 240 m y una profundidad de 9,5 m. Sin embargo, el tirante de agua de cada instalación viene siendo menos profundo a causa de la sedimentación. Las áreas portuarias están construidas sobre un terreno ganado al mar con un volumen de relleno de 3,0 millones de m³.

El área de maniobras tiene un diámetro de 600 m y tenía una profundidad de 14 m. En esta área también el tirante de agua se hace menos profundo debido a la sedimentación. El área total de la dársena con el amarradero y el área de maniobras alcanza 65,7 ha.

El canal de acceso de 22,3 km de longitud está dividido en la parte interna y la externa mediante una estrecha vía 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 porción 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 aprox.; la profundidad en la parte más somera es sobre 9 m. Los taludes están diseñados con una pendiente 5:1.

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).

Las mediciones batimétricas alrededor de la dársena y el canal de acceso se realizaron antes y durante las obras de construcción utilizando una ecosonda equipada con señales acústicas de 210 kHz de frecuencia. Si la reflexión de las ondas de 210 kHz de frecuencia se relaciona con la detección del fondo del mar, 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, que fue presentado por Nippon Koei Ltd. en 2002, y también se muestra en la Tabla 1.1. La predicción fue hecha con una simulación numérica por Hydraulic Research (HR) Wallingford, Reino Unido, por encargo. 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	Pronosticado
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

Ejemplos del progreso temporal de la sedimentación se presentan en la Figura 1.2 y la Figura 1.3 en tres puntos del canal de acceso a una distancia de 2,78, 16,0, y 17,0 km de la dársena. Como se observa en estas figuras, la interfaz observada con ondas de frecuencia 210 kHz aumentó unos 3 m en tres puntos en 10 meses entre abril de 2007 y enero de 2008.

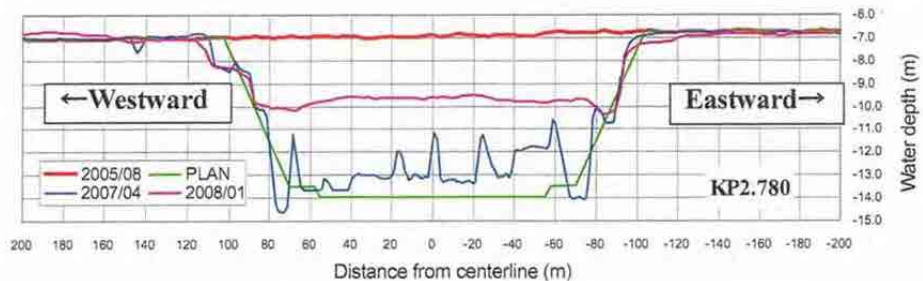


Figura 1.2 Cambios del fondo marino en el canal interno

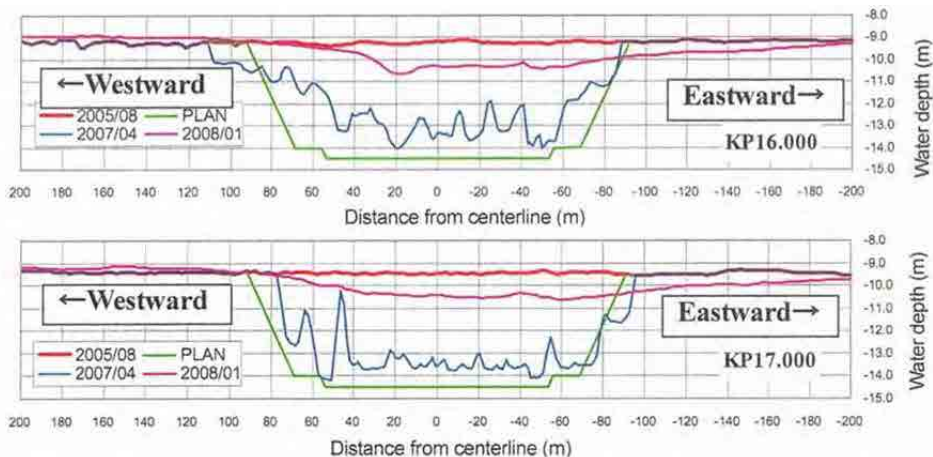


Figura 1.3 Cambios del fondo marino en el canal externo

Durante el trabajo de dragado del proyecto, fue observada una sedimentación imprevistamente rápida en el canal, que podría poner en peligro la operación regular del puerto cuando éste se ponga en marcha. Puesto que las causas de tal fenómeno no estaban 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”).

Los objetivos del Estudio de SAPI se detallan a continuación:

- i) Aclarar la presente situación de sedimentación en el Puerto de La Unión
- ii) Estimar el volumen de futura sedimentación en caso de no tomarse medidas
- iii) Proponer y recomendar medidas apropiadas contra la sedimentación
- iv) Aclarar condiciones ambientales tales como las mareas, corrientes, olas, suelo, entre otros, mediante la recopilación de datos, estudios de campo y simulaciones numéricas

Bajo dichos objetivos, fueron conducidos los siguientes trabajos:

- A. Estudio de políticas y prácticas del mantenimiento portuario con el concepto de fondo náutico en puertos del mundo
- B. Recopilación y análisis de condiciones ambientales
- C. Cálculo estimado de volumen de sedimentación actual y futura
- D. Búsqueda de medidas contra la sedimentación

El Estudio de SAPI fue emprendido por JICA^{**} y ejecutado entre noviembre de 2008 y noviembre de 2009 (véase la Figura 1.1).

^{**} Nota: El 1 de octubre de 2008, la Operación de Cooperación Económica Internacional de JBIC se fusionó con JICA.

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 Ríos que Desembocan

El Golfo de Fonseca tiene un ancho aproximado de 65 km y una longitud de 45 km, con una superficie de 3.200 km² aprox. (véase la Figura 1.4). La Figura 1.5 presenta una foto satelital del Golfo de Fonseca, que cuenta con tres ensenadas. Del Oeste al Este, se encuentra la Bahía de La Unión, Bahía de Chismuyo (Honduras) y Bahía de San Lorenzo (Honduras). Como se indica en color verde oscuro en la Figura 1.5, la zona periférica del Golfo está ocupada por un amplio tramo de manglares. El área total de manglares se estima en unos 780 km².

Cinco principales ríos desembocan en el Golfo: Goascorán, Nacaome, Choluteca, Negro y Estero Real del Oeste al Este. Los ríos se distinguen en la Figura 1.5 con el color índigo, junto con numerosas canaletas e islotes penetrados profundamente en los manglares. Muchos arroyos desembocan directamente en el Golfo; recolectando aguas pluviales caídas sobre campos abiertos alrededor del Golfo.

El lodo en el Golfo de Fonseca proviene de sedimentos suspendidos durante inundaciones de muchos ríos. Los sedimentos del arrastre de fondo se captan mayormente en 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.

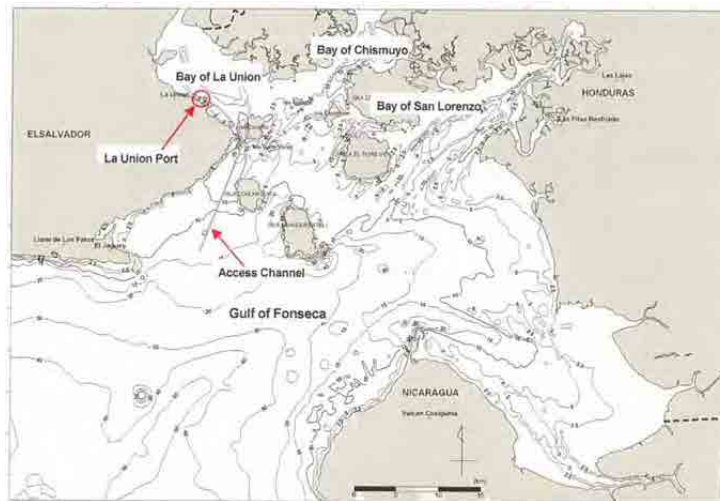


Figura 1.4 Batimetría del Golfo de Fonseca reproducida de la Carta 21521 de US NGIA



Figura 1.5 Foto satelital del Golfo de Fonseca reproducida de <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/9/96/GOF_Photo.jpg>

1.3.2 Clasificación de Sedimentos y Mecanismo de Sedimentación

La Figura 1.6 y la Figura 1.7 presentan el contenido de sedimentos y diámetro medio de las muestras tomadas alrededor de los canales interno y externo, respectivamente.

En el área Norte del Cabo El Chiquirín, la mayor parte del fondo marino está cubierta con limo y lodo, excepto en algunos puntos como las Estaciones 9, 12, 24 y 26, donde parece disponible un suministro local de arena fina. El diámetro medio varía de 0,013 a 0,034 mm excluyendo los sitios con arena fina local.

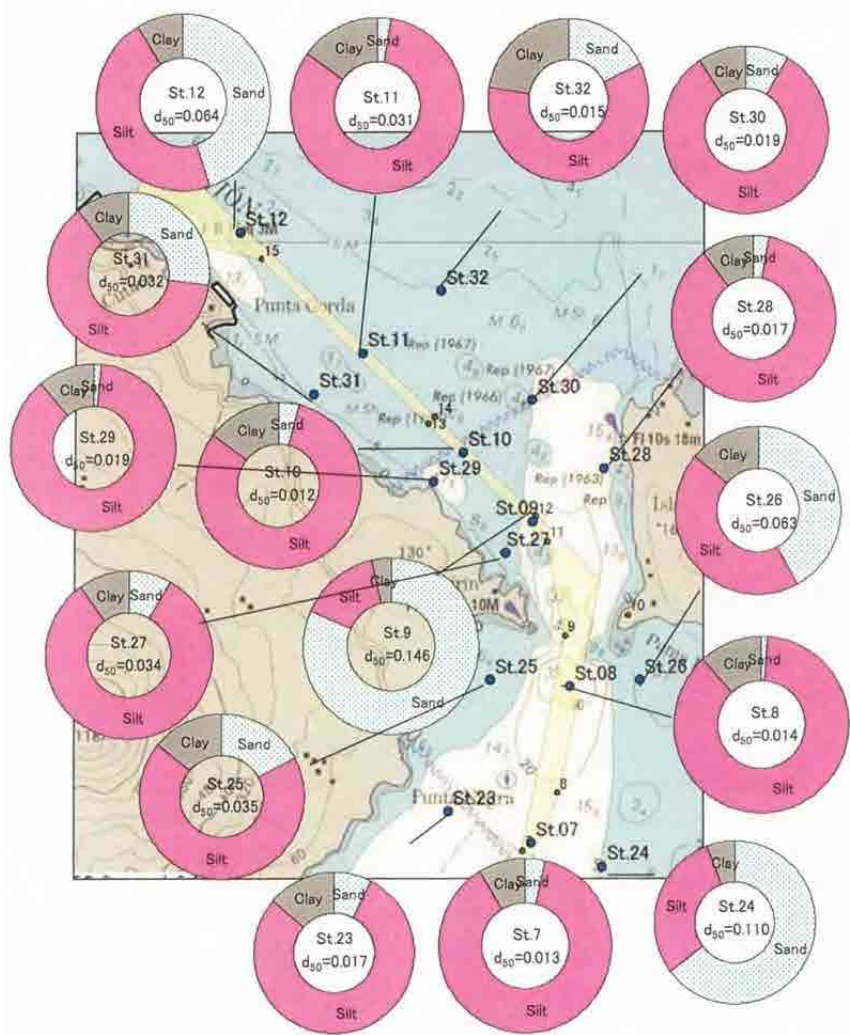


Figura 1.6 Clasificación de sedimentos y diámetro medio alrededor del canal interno

En el área Sur del Cabo El Chiquirín, las estaciones ubicadas fuera del canal externo indican un contenido de arena fina del 30 al 50%, excepto la estación en el afloramiento cerca de la Isla Conchanguita.

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, según lo expuesto en las Estaciones de 1 a 6, indica que la arena no se mueve hacia dentro del canal, pero limo y arcilla son transportados al interior del canal. Es decir, la sedimentación en el canal es resultado del movimiento de limo y arcilla, mientras que la arena fina se queda en su posición original. 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.

Lo que está pasando en el Puerto de La Unión es el movimiento de una 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 elevaciones más bajas por gravedad. El movimiento continúa mientras haya diferencia de elevación sobre la superficie del lodo fluido entre el fondo marino interior y exterior del canal.

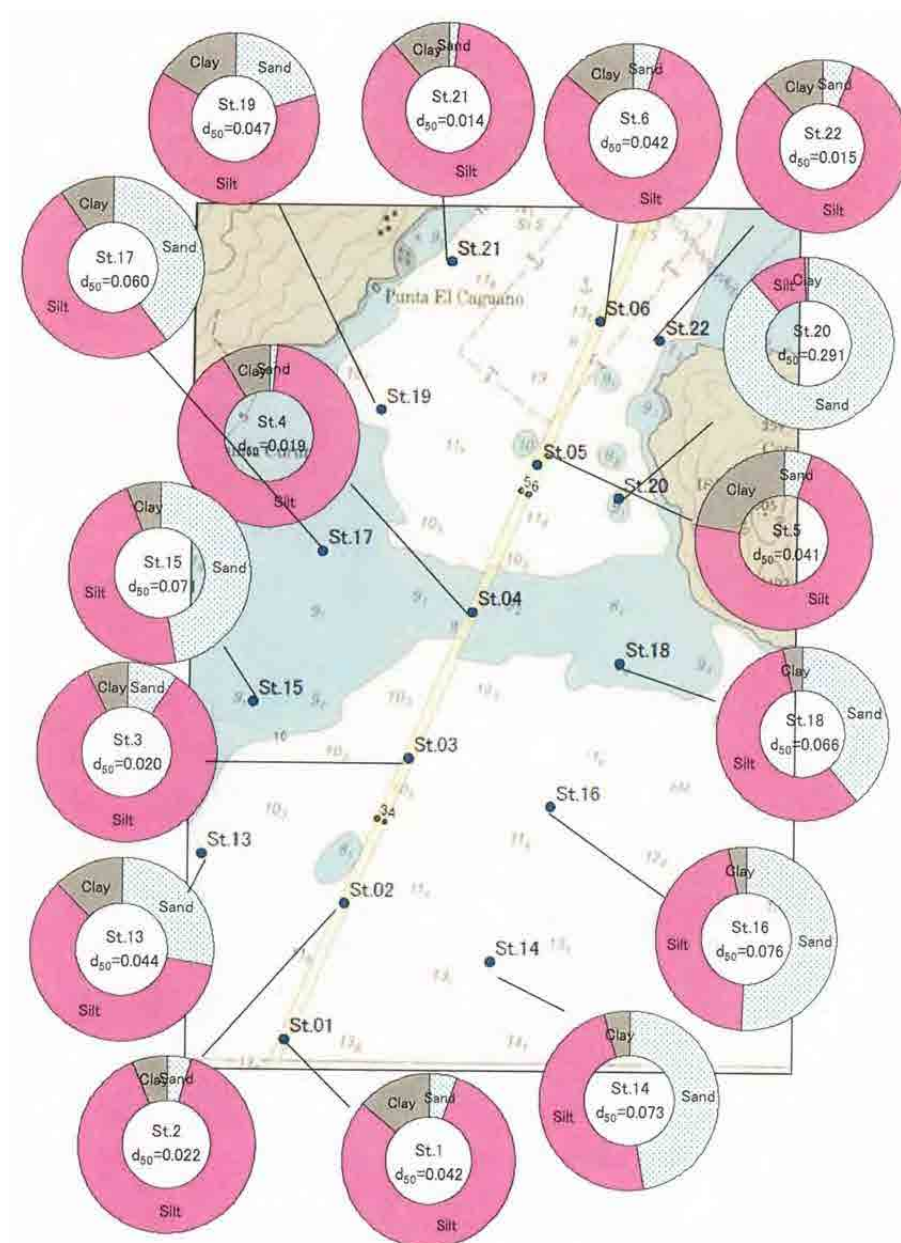


Figura 1.7 Clasificación de sedimentos y diámetro medio alrededor del canal externo

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

Los datos más fiables para el análisis de problema de sedimentación son registros de las mediciones batimétricas del canal de acceso desde junio de 2006 cuando empezó el principal dragado.

Un análisis de tendencia de la variación temporal de la profundidad media del canal sobre las líneas transversales ha permitido establecer un modelo 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.

Otro modelo de predicción para estimar una futura profundidad del canal ha sido también derivada de la fórmula de velocidad de sedimentación. La validez de los modelos de predicción

de la profundidad del canal fue verificada con los resultados de previas mediciones batimétricas registradas.

1.4 Objetivos y Principales Trabajos del presente Estudio

El Estudio de SAPI aclaró que la sedimentación es causada por el lento movimiento del lodo fluido hacia el fondo marino más profundo. Las fórmulas de predicción de sedimentación se establecieron sobre la base del análisis de los datos de las mediciones batimétricas durante y después de las operaciones de dragado. Con la aplicación de la fórmula para estimar la profundidad del canal, se estimó que el volumen de sedimentación predicho en el canal de acceso con una profundidad de 14 m sería 10 millones de metros cúbicos/año.

Debido a la limitada cantidad de datos batimétricos de series cronológicas y a la relativamente corta duración del estudio, el nivel de precisión del volumen de sedimentación predicho no fue suficientemente alto como para dar una fiable estimación del volumen de dragado de mantenimiento. La variación de la profundidad náutica depende de la velocidad de la consolidación del lodo, que tampoco fue suficientemente aclarada. Por tanto, actualmente se reconoce que es difícil proporcionar un plan definitivo de dragado de mantenimiento incluyendo su ubicación, frecuencia y método para la elaboración del análisis de costo y financiero.

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, fue firmada la Minuta de Discusiones el 28 de abril de 2010 (véase el Anexo A), y 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. El 1^{er} estudio tuvo los dos siguientes propósitos que constan en la Minuta de Discusiones.

- (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 (véase el Anexo A). 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.

El 2º estudio tiene los tres siguientes propósitos que constan en la Minuta de Discusiones entre JICA y CEPA del 31 de octubre de 2012 (véase el Anexo A):

- (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”, un Comité de Asistencia Doméstica al Proyecto fue establecido dentro del Departamento de Infraestructura Económica de la sede de JICA. La Tabla 1.2 presenta el listado de los miembros del Comité. El Comité evalúa los ítems respecto a los siguientes temas y aconseja al director del departamento, desde un punto de vista académico y técnico.

1. Temas relacionados con la sedimentación en el canal
 - 1) Análisis de la situación presente
 - 2) Análisis del volumen y velocidad de sedimentación en todo el tramo del canal de acceso incluyendo la dársena.
 - 3) Recopilación y análisis de datos del dragado de rastrillo y estudio de métodos de dragado
 - 4) Cálculo estimado del costo de dragado según la profundidad objetivo de navegación del canal
 - 5) Sugerencia de medidas contra sedimentación en el canal
2. Otros temas que sean necesarios

Tabla 1.2 Listado de miembros del Comité de Asistencia Doméstica al Proyecto en Japón

	Nombre	Especialidad	Cargo e institución
Presidente	Dr. Kazuo MURAKAMI	Sedimentación en general y medidas contras Sedimentación en canales	Profesor emérito, Universidad de la Ciudad de Tokio
Vocal	Dr. Yasuyuki NAKAGAWA	Dinámica de sedimentos en costas y estuarios	Líder del Grupo de Investigación de Dinámica de Sedimentos en Costas y Estuarios, Instituto de Investigación de Puerto y Aeropuerto
Vocal	Sr. Tsuyoshi NAKASAKI	Administración de operación y mantenimiento de instalaciones portuarias	Jefe de la Oficina de Planificación de Políticas Internacionales, Agencia de Puertos
Vocal	Sr. Masanori KURODA	Métodos de dragado	Consejero experto, Asociación de Ingeniería de Dragado y Recuperación de Tierras

(2) Equipo de Estudio

El equipo de estudio del 1^{er} periodo lo conforman mayormente ingenieros de la ECOH Corporation, listados en la Tabla 1.3.

Los miembros del equipo de estudio del 2° periodo aparecen en la Tabla 1.4. El equipo del 2° 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 de ECOH Corporation, que se encargan del problema de sedimentación y plan de dragado en el canal. El segundo equipo está integrado por ingenieros de OCDI, que están a cargo del pronóstico de demanda y análisis económico del puerto.

Tabla 1.3 Miembros del equipo de estudio del 1^{er} periodo

Nombre	Especialidad a su cargo	Institución
Dr. Yoshimi GODA	Líder, análisis de sedimentación	ECOH Co.
Dr. Nobuyuki ONO	Sub-líder, análisis de sedimentación	ECOH Co.
Sr. Takahisa AOYAMA	Trabajo de dragado y planificación	ECOH Co.
Sr. Yoshimasa ITO	Mediciones oceanográficas	ECOH Co.
Sr. Anuratoshimitsu MATSUMOTO	Mediciones batimétricas	Ocean Engineering Co.

Tabla 1.4 Miembros del equipo de estudio del 2o periodo

Nombre	Especialidad a su cargo	Institución	
Dr. Kazumasa KATO	Líder, análisis de sedimentación	ECOH Co.	Equipo de ingeniería
Dr. Nobuyuki ONO	Predicción de sedimentación	ECOH Co.	
Sr. Takahisa AOYAMA	Trabajo de dragado de canal y Estimación de costo	ECOH Co.	
Sr. Shinji SAKURAI	Planificación de dragado de canal	DRAM Engineering	
Sr. Tatsuyuki SHISHIDO	Economía marítima	OCDI	Equipo de economía
Dr. Ryuichi SHIBASAKI	Pronóstico de demanda	OCDI	
Sr. Takayuki IIJIMA	Análisis económico	OCDI	
Sr. Tadahiko KAWADA	Planificación portuaria	OCDI	

(3) Contraparte

A dos personas contrapartes en el estudio del 1^{er} periodo, listadas en la Tabla 1.5, se les dio un entrenamiento técnico en Japón.

En el estudio del 2° 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 1.6.

Tabla 1.5 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 1.6 Contrapartes en el estudio del 2^o 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	Departamento de Concesiones, Consejero del Presidente
	Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
	Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
	Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
	Sra. Andrea Castillo	Presidencia
	Sr. Alan Castillo	Departamento de Concesiones
	Sr. Juan Carlos Martínez	Departamento de Concesiones
	Sr. Damián Reyes	División de Análisis de Mercado

(4) Expertos de JICA enviados a CEPA

Los expertos de JICA enviados a CEPA se listan en la

Tabla 1.7

Tabla 1.7 Los Expertos de JICA enviados a CEPA

Nombre	Periodo
Dr. Hidefumi IKEDA	En el estudio del 1 ^{er} periodo
Sr. Takashi KADONO	En el estudio del 2 ^o periodo

(5) Personas pertinentes de CEPA

Aquellas personas que no fueron contrapartes pero participaron en reuniones y seminarios de transferencia técnica se listan en la Tabla 1.8 y Tabla 1.9.

Tabla 1.8 Otras personas pertinentes de CEPA en el estudio del 1^{er} periodo

Nombre	Institución
Sr. Luis Enrique Córdova Macías	Presidente
Sr. Alberto Arene	Presidente
Sr. Milton Lacayo	Director del Puerto de La Unión
Sr. Salvador Villalobos Brizuela	Director General
Sr. Rolando Alberto Díaz	Encagado de concesión
Sr. Juan Caros Martínez	Departamento de Concesión
Sr. Alberto Jiménez	Encargado del Puerto de La Unión
Sr. Carlos R. Cornejo	Ingeniero de mantenimiento
Sr. Amilto Orellana	Encargado de administración
Sra. Karen Martínez	
Sr. Miguel Martínez	Operación
Sr. Oaman Montoya	Encargado de tecnología informática

Tabla 1.9 Personas pertinentes de CEPA en el estudio del 2^o periodo

Nombre	Institución
Sr. Alberto Arene	Presidente
Sr. Milton Lacayo	Director del Puerto de La Unión
Sr. Andrés Abelino Cruz	Encargado de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sr. Marcos Vásquez	Departamento de Concesión
Sr. Juan Carlos Martínez	Departamento de Concesión
Sr. Rolando Díaz	Consultor de CEPA

1.5.2 Programa del Estudio

La

Tabla 1.10 y la Tabla 1.11 muestran programas de los estudios del 1^{er} y 2^o periodo, respectivamente.

Tabla 1.10 Programa del estudio del 1er periodo

2010	
28 de abril	Minuta de Reuniones (por Miyake)
2011	
7 de enero	JICA elaboró un contrato con el equipo para el estudio del 1 ^{er} periodo.
Del 25 de enero al 21 de febrero	Primer trabajo de campo Presentación del Informe Inicial 1
Del 31 de enero al 2 de febrero	Mediciones batimétricas
Del 7 al 9 de febrero	Muestreo de lodo
Del 15 de agosto al 6 de septiembre	Segundo trabajo de campo Presentación del Informe Intermedio 1
Del 19 al 22 de agosto	Mediciones Batimétricas

2012	
Del 15 de enero al 6 de febrero	Tercer trabajo de campo Presentación del Informe Intermedio 2
Del 19 al 21 de enero	Mediciones batimétricas

Tabla 1.11 Programas del estudio del 2º periodo

2012	
31 de octubre	Minuta de Reuniones (por Kawakami)
2013	
29 de marzo	JICA elaboró un contrato con el equipo para el estudio del 2º periodo.
1 de abril	1ª reunión del Comité de Asistencia Doméstica al Proyecto (PSDC)
Del 10 de abril al 5 de mayo	Primer trabajo de campo Presentación del Informe Inicial
14 de mayo	Reunión de informe en la Sede de JICA sobre el 1º trabajo de campo
09 de agosto	2ª reunión del PSDC
Del 11 de agosto al 1 de septiembre	Segundo trabajo de campo Presentación del Informe Intermedio
27 de agosto	Taller de trabajo sobre “Asistencia Técnica Especial para el Dragado de Mantenimiento del Puerto de La Unión, Republica de El Salvador”
11 de septiembre	Informe de reunión en la Sede de JICA sobre el 2º trabajo de campo
31 de octubre	Explicación preliminar del borrador del Informe Final a la Sede y Oficina de JICA mediante Teleconferencia
19 de noviembre	3ª reunión de PSDC
Del 04 al 16 de diciembre	Tercer trabajo de campo Presentación del borrador del Informe Final
Del 10 al 11 de diciembre	Explicación sobre el Borrador del Informe Final a CEPA
24 de diciembre	Reunión de informe en la Sede de JICA sobre el 3º trabajo de campo
2014	
20 de enero	Fecha límite para los comentarios del borrador del Informe Final
31 de marzo	Presentación del Informe Final

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 1º 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 2º modelo de predicción, llamado modelo lineal. La aplicabilidad de dichos modelos es argumentada.

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 idoneidad 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 muestra el método de cálculo para proyectar el índice de crecimiento del volumen de los contenedores desde CA4 (El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua) y el desarrollo del modelo de asignación de mercado.

El propósito principal del Capítulo 8 es describir el modelo de recalada de buques para un análisis económico y financiero del Puerto de La Unión. Antes de describir la estructura del modelo, se resumen el estatus actual de los puertos salvadoreños así como el de los otros puertos principales de países de América Central (CA5), principalmente desde el punto de vista económico pero también enfocando en sus condiciones físicas. También, se examina una estrategia de operadores de transporte (compañías navieras de contenedores marítimos) en la Costa Pacífico de América Central desde la red de transporte marítimo de cada operador y su cambio, así como también desde estudios por entrevistas a operadores y otros depositarios. Luego, se describe una idea general del modelo de recalada de buques, seguido por una descripción de cada componente del modelo incluyendo el comportamiento de las compañías navieras, el modelo de asignación de carga de contenedores, y los datos de entrada (input). Finalmente, los resultados de los cálculos del modelo de asignación de carga de contenedores son examinados desde el punto de vista de la reproducibilidad del modelo por medio de diversos patrones de referencia. También se examina la sensibilidad del modelo hacia los parámetros desconocidos estimados.

El Capítulo 9 se enfoca principalmente en el resultado (output) del modelo de recalada de buques. Sin embargo, la primera parte del capítulo describe el presente estatus del canal de navegación y las reglas de navegación en el Puerto de La Unión, seguido por una propuesta de una nueva regla de navegación. Luego de ello, de acuerdo a numerosos escenarios en la futura red de transporte marítimo que son preparados para cada profundidad de canal en el Puerto de la Unión, el modelo de recalada de buques es calculado para estimar la futura producción de la carga de los contenedores y otros outputs. Del output del modelo, se estiman el ingreso neto (exceptuando los costos 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 para la economía salvadoreña del proyecto de dragado en el Puerto de La Unión, y éstos son comparados con el costo de dragado por profundidad de canal. El cálculo del modelo así como el análisis económico y financiero mencionado anteriormente, también se lleva a cabo en los casos que se implementen cada una de las políticas relacionadas, como por ejemplo, el aumento de la tarifa del Puerto de La Unión, el desarrollo regional en el este de El Salvador, y la reducción de la barrera en la frontera nacional.

El Capítulo 10 muestra una metodología del análisis de las series de tiempo, considerando el ingreso, el beneficio y el costo de dragado de cada año. También, se muestran ejemplos de los resultados del cálculo, para contribuir a la discusión al momento de la inversión para el dragado.

Capítulo 2 Transferencia de Tecnología

Capítulo 2 Transferencia de Tecnología

2.1 Capacitación Técnica Impartida 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. 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. (véase la Foto 2.1 y la Foto 2.2). El itinerario del programa de la capacitación se presenta en la Tabla 2.1.

Participantes

Sr. Cruz Fuentes Andrés Abelino

Sr. Orantes Montiegudo Mario René



Foto 2.1 Ejercicio sobre la barco de mediciones de MLIT, COSMO



Foto 2.2 Ejercicio sobre la draga de MLIT, Kaisho Maru

Tabla 2.1 Itinerario de la capacitación técnica en Japón

Day	Date	a day of week	CEPA Trainee		JICA	
			Mr. Cruz Fuentes Andres Abelino	Mr. Orantes Montiel Mario Rene	Interpreter	Stay in
1	11/21	Mon	San Salvador → Miami			Miami
2	11/22	Tue	Miami→Chicago			flying overnight
3	11/23	Wed	Chicago→Narita			Tokyo
4	11/24	Thu	Courtesy call on JICA, Orientation		with Trainee	Tokyo
5	11/25	Fri	Exercise on Shin-Tokyo Maru Seminar on Dredging at ECOH		with Trainee	Tokyo
6	11/26	Sat	documentation		with Trainee	Tokyo
7	11/27	Sun	documentation		with Trainee	Tokyo
8	11/28	Mon	Excursion to HORS, Hasaki, Ibaraki		with Trainee	Tokyo
9	11/29	Tue	Tokyo → Fukuoka Inspection of Hakata Port		with Trainee	Kitakyushu
10	11/30	Wed	Hakata → Kitakyushu Exercise on MLITT's dredger, Kaisho Maru Exercise in Sounding Survey on Survey Boat		with Trainee	Kitakyushu
11	12/1	Thu	Inspection of Construction site at Shinwakato Tunnel and Kanda Port Kitakyushu → Tokyo		with Trainee	Tokyo
12	12/2	Fri	Seminar in Astronomical tide prediction at PARI		with Trainee	Tokyo
13	12/3	Sat	documentation		with Trainee	Tokyo
14	12/4	Sun	documentation		with Trainee	Tokyo
15	12/5	Mon	Seminar in Astronomical tide prediction program at ECOH		with Trainee	Tokyo
16	12/6	Tue	Exercise on Astronomical tide prediction program at ECOH		with Trainee	Tokyo
17	12/7	Wed	15:00 Assessment of the training		with Trainee	Tokyo
18	12/8	Thu	Narita→Los Angeles			Los Angeles
19	12/9	Fri	Los Angeles→San Salvador			

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 los participantes en el Puerto de La Unión. Ellos comprendieron bien su contenido. Los participantes están listados en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Participantes (1)

Nombre	Institución
Sr. Andrés Abelino Cruz	Encargado de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sr. Carlos Cornejo	Ingeniero de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sr. Marcos Vásquez	Departamento de Concesión
Sr. Osman Montoya	Asistente de navegación, Puerto de La Unión
Sr. Roque Machado	Técnico informático, Puerto de La Unión

(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 participantes. La contraparte explicó sobre su método de corrección de mareas. El equipo señaló que su método no era apropiado. Los participantes están listados en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Participantes (2)

Nombre	Institución
Sr. Andrés Abelino Cruz	Encargado de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sr. Carlos Cornejo	Ingeniero de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sr. Marcos Vásquez	Departamento de Concesión
Sr. Osman Montoya	Asistente de navegación, Puerto de La Unión
Sr. Roque Machado	Técnico informático, Puerto de La Unión

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

En el campo, los 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 2.3). Fue confirmado que sus métodos de mediciones batimétricas fueron correctos y apropiados, y sus habilidades fueron buenas. Los participantes están listados en la Tabla 2.4.



Foto 2.3 Instalando un equipo de registro para las mediciones batimétricas

Tabla 2.4 Participantes (3)

Nombre	Institución
Sr. Andrés Abelino Cruz	Encargado de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sr. Carlos Cornejo	Ingeniero de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sr. Marcos Vásquez	Departamento de Concesión
Sr. Osman Montoya	Asistente de navegación, Puerto de La Unión
Sr. Roque Machado	Técnico informático, Puerto de La Unión

- (4) Explicación sobre el Soft-ware 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 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. Los participantes están listados en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Participantes (4)

Nombre	Institución
Sr. Andrés Abelino Cruz	Encargado de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sr. Carlos Cornejo	Ingeniero de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sr. Marcos Vásquez	Departamento de Concesión, CEPA
Sr. Osman Montoya	Asistente de navegación, Puerto de La Unión
Sr. Roque Machado	Técnico informático, Puerto de La Unión

- (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 la contraparte. Los datos batimétricos obtenidos fueron utilizados en la práctica de corrección de mareas, en la que fue aprovechado efectivamente el soft-ware proporcionado. Los participantes están listados en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Participantes (5)

Nombre	Institución
Sr. Andrés Abelino Cruz	Encargado de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sr. Carlos Cornejo	Ingeniero de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sr. Osman Montoya	Asistente de navegación, 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
Sr. Roque Machado	Técnico informático, Puerto de La Unión

- (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 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. Los participantes están listados en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Participantes (6)

Nombre	Institución
Sr. Carlos Cornejo	Ingeniero 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

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

El equipo y la contraparte realizaron mediciones batimétricas conjuntas a lo largo del canal interno. Los participantes están listados en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Participantes (7)

Nombre	Institución
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
Sr. Roque Machado	Técnico informático, Puerto de La Unión

(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 la contraparte sobre el modelo exponencial modificado y un modelo lineal formulado recientemente. La contraparte pudo comprender la aplicabilidad de dichos modelos. Los participantes están listados en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Participantes (8)

Nombre	Institución
Sr. Milton Lacayo	Encargado del puerto, Puerto de La Unión
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
Sr. Marcos Vásquez	Departamento de Concesión

(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, la contraparte profundizó su conocimiento de la importancia de monitoreo para mejorar el modelo de predicción. Los participantes están listados en la

Tabla 2.10

Tabla 2.10 Participantes (9)

Nombre	Institución
Sr. Milton Lacayo	Encargado del puerto, Puerto de La Unión

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
Sr. Marcos Vásquez	Departamento de Concesión

(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. Los participantes están listados en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Participantes (10)

Nombre	Institución
Sr. Milton Lacayo	Encargado del Puerto, Puerto de La Unión
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
Sr. Marcos Vásquez	Departamento de Concesión

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

La contraparte comprendió el método de cálculo del volumen de sedimentación con la aplicación de los dos modelos de predicción. Los participantes están listados en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Participantes (11)

Nombre	Institución
Sr. Milton Lacayo	Encargado del puerto, Puerto de La Unión
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
Sr. Marcos Vásquez	Departamento de Concesión

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

Fueron introducidos varios tipos de draga (véase la Foto 2.4). Los participantes están listados en la Tabla 2.13.



Foto 2.4 Ambiente de la presentación
Tabla 2.13 Participantes (12)

Nombre	Institución
Sr. Carlos Federico Paredes	Encargado de concesiones
Sr. Milton Lacayo	Encargado del puerto, Puerto de La Unión
Sr. Amilto Orellana	Encargado del Departamento Administrativo, Puerto de La Unión
Sr. Andrés Abelino Cruz	Encargado de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sr. Rafael Antonio Hernández	Departamento de Ingeniería
Sra. Egly Tatiana Chacón	Especialista en batimetría y dragado, Puerto de La Unión
Sr. Carlos Alejandro Molina Paz	Especialista en batimetría y dragado, Puerto de La Unión
Sr. Juan Carlos Martínez	Departamento de Concesión
Sr. Julio Alberto Romero Mejía	Técnico de manejo de concesiones
Sra. Patricia Callejas	Técnico de manejo de concesiones
Sra. Eugenia Luna	Técnico de manejo de concesiones
Sra. Andrea Castillo	Asistente del Presidente
Sr. Damián Reyes	Analista económico y financiero

2.2.2 Transferencia de Tecnología en el Campo de Economía

(1) Explicación del Informe Inicial, el 22 de abril de 2013

Al comienzo del segundo período de estudio, el equipo económico explicó el Informe Inicial. El equipo económico de la CEPA pudo profundizar su entendimiento sobre el objetivo principal de esta investigación. Los participantes se detallan en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Participantes (1)

Nombre	Afiliación
Sr. Carlos Federico Paredes	Departamento de Concesiones, Consejero del Presidente
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sra. Andrea Castillo	Presidencia
Sr. Alan Castillo	Departamento de Concesiones
Sr. Juan Carlos Martínez	Departamento de Concesiones

(2) Método de cálculo del modelo CEPA, el 26 de abril de 2013

El equipo económico confirmó la metodología a utilizar en la Futura demanda prevista y la Asignación de mercado conducida por la CEPA. Los participantes se detallan en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15 Participantes (2)

Nombre	Afiliación
Sr. Carlos Federico Paredes	Departamento de Concesiones, Consejero del Presidente
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sr. Juan Carlos Martínez	Departamento de Concesiones
Sr. Alan Castillo	Departamento de Concesiones



Foto 2.5 Presentación por un miembro del equipo económico

(3) Resultados estimados del Modelo de Recalada de Buques, el 27 de junio de 2013
(a través de una reunión Skype)

El equipo económico presentó un resumen de los resultados estimados obtenidos del Modelo de Recalada de Buques. El equipo económico de la CEPA confirmó lo que fue expuesto, y pudo profundizar su entendimiento sobre el modelo. Los participantes se detallan en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16 Participantes (3)

Nombre	Afiliación
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sr. Carlos Federico Paredes	Departamento de Concesiones
Sr. Alan Castillo	Departamento de Concesiones



Foto 2.6 Reunión Skype

- (4) Idea general del Modelo de Recalada de Buques y Resultados estimados, el 11 de julio de 2013 (a través de una reunión Skype)

El equipo económico presentó una idea general del Modelo de Recalada de Buques y los resultados obtenidos del modelo. El equipo económico de la CEPA pudo profundizar su entendimiento sobre el modelo. Los participantes se detallan en la Tabla 2.17.

Tabla 2.17 Participantes (4)

Nombre	Afiliación
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sr. Alan Castillo	Departamento de Concesiones

- (5) Resultados estimados del Modelo de Recalada de Buques, el 18 de Julio de 2013 (a través de una reunión Skype)

El equipo económico explicó un resumen de los resultados estimados obtenidos del Modelo de Recalada de Buques. El equipo económico de la CEPA pudo profundizar su entendimiento sobre el modelo. Los participantes se detallan en la Tabla 2.18.

Tabla 2.18 Participantes (5)

Nombre	Afiliación
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sr. Damián Reyes	División de Análisis de Mercado

- (6) Fundamentos del Modelo de Recalada de Buques, el 9 de agosto de 2013 (a través de una reunión Skype)

El equipo económico explicó el modelo de asignación del tráfico, el cual es uno de los componentes fundamentales del Modelo de Recalada de Buques. El equipo económico de la CEPA practicó con el modelo, y pudo profundizar su entendimiento sobre el modelo. Los participantes se detallan en la Tabla 2.19.

Tabla 2.19 Participantes (6)

Nombre	Afiliación
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sr. Damián Reyes	División de Análisis de Mercado

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

El equipo económico explicó cómo se ha ajustado el Modelo de Recalada de Buques para mejor adecuación en la región de América Central. El equipo económico de la CEPA pudo profundizar su entendimiento sobre el modelo. Los participantes se detallan en la Tabla 2.20.

Tabla 2.20 Participantes (7)

Nombre	Afiliación
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sra. Andrea Castillo	Presidencia
Sr. Damián Reyes	División de Análisis de Mercado

(8) Servicio de Contenedores en la Costa del Pacífico en CA5, el 16 de agosto de 2013

El equipo económico explicó el estado actual del transporte de los contenedores sobre la Costa del Pacífico en CA5. El equipo económico de la CEPA pudo entender que las rutas y la frecuencia de los servicios de contenedores pueden cambiar de acuerdo a la estrategia de las compañías navieras en América Central. Los participantes se detallan en la Tabla 2.21.

Tabla 2.21 Participantes (8)

Nombre	Afiliación
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sr. Damián Reyes	División de Análisis de Mercado



Foto 2.7 Participantes del equipo económico de la CEPA

(9) Tarifa del Puerto de La Unión, el 25 de agosto de 2013

El equipo económico explicó la tarifa del Puerto de la Unión y de los países vecinos. El equipo económico de la CEPA pudo profundizar su entendimiento sobre la tarifa. Los participantes se detallan en la Tabla 2.22.

Tabla 2.22 Participantes (9)

Nombre	Afiliación
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sr. Damián Reyes	División de Análisis de Mercado

(10) Tiempo de espera estimado de un buque supuesto en el Puerto de La Unión, el 28 de agosto de 2013

El equipo económico explicó el tiempo de espera estimado de un buque supuesto, por cambios de la marea en el Puerto de La Unión. El equipo económico de la CEPA pudo entender que el tiempo navegable del canal puede expandirse aprovechando la ventaja de la marea. Los participantes se detallan en la Tabla 2.23.

Tabla 2.23 Participantes (10)

Nombre	Afiliación
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sr. Damián Reyes	División de Análisis de Mercado



Foto 2.8 Presentación por un miembro del equipo económico

(11) Canal de Navegación utilizando la Ventaja de la Marea, el 6 de diciembre de 2013

El equipo económico explicó sobre el tiempo navegable del canal utilizando la ventaja de la marea. El equipo económico de la CEPA pudo profundizar su entendimiento sobre el método utilizado para calcular el tiempo navegable. Los participantes se detallan en la Tabla 2.24.

Tabla 2.24 Participantes (11)

Nombre	Afiliación
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sr. Damián Reyes	División de Análisis de Mercado

(12) Desarrollo Industrial/Regional y Planeamiento y Promoción Portuaria, el 9 de diciembre de 2013

El equipo económico explicó la conexión entre el desarrollo industrial de la región circundante al puerto y el planeamiento y promoción portuaria. El equipo económico de la CEPA pudo profundizar su entendimiento sobre la importancia de la política portuaria. Los participantes se detallan en la Tabla 2.25.

Tabla 2.25 Participantes (12)

Nombre	Afiliación
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sra. Andrea Castillo	Presidencia
Sr. Damián Reyes	División de Análisis de Mercado

(13) Método de cálculo del Análisis Económico y Financiero y Resumen del Borrador del Informe Final, el 12 de diciembre de 2013 (ver Anexo F13).

El equipo económico explicó el método de cálculo del Análisis Económico y Financiero, y el resumen del Borrador del Informe Final (DFR: Draft Final Report). El equipo económico de la CEPA pudo profundizar su entendimiento sobre el análisis y el resumen del DFR. Los participantes se detallan en la Tabla 2.26.

Tabla 2.26 Participantes (13)

Nombre	Afiliación
Sr. Julio Romero	Departamento de Concesiones
Sra. Patricia Callejas	Departamento de Concesiones
Sra. Marta Eugenia Canales	Departamento de Concesiones
Sra. Andrea Castillo	Presidencia
Sr. Damián Reyes	División de Análisis de Mercado

(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 taller de trabajo empezó mientras los participantes tomaban el almuerzo invitado por CEPA. El programa del taller, los títulos de las presentaciones y los presentadores se listan en la Tabla 2.27. 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 2.9 muestra un ambiente del taller de trabajo, donde, viendo de frente la pantalla del proyector, las personas de CEPA ocupan el lado izquierdo. Los participantes y los presentadores están listados en la Tabla 2.28.

Tabla 2.27 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>		14:30-14:45
6. Estudio de Campo sobre draga de mantenimiento en el canal de acceso del puerto 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 2.9 Taller de trabajo celebrado en la Sede de CEPA

Tabla 2.28 Listado de participantes y presentadores

Nombre	Institución
Parte Salvadoreña	
Sr. Alberto Arene	Presidente
Sr. Carlos Federico Paredes Castillo	Asesor de Presidente
Sr. Milton Lacayo	Encargado del puerto, Puerto de La Unión
Sr. Padre Amilto Orellana	Encargado financiero, Puerto de La Unión
Sr. Andrés Abelino Cruz	Encargado de mantenimiento, Puerto de La Unión
Sra. Marta Eugenia Canales	Administrador de Base de Datos, Puerto de La Unión
Sra. Andrea Castillo	Asistente del Presidente
Sra. Patricia Callejas	Asistente financiero
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
Sr. Rafael Antonio Hernández	Departamento de Ingeniería
Sr. Damián Reyes	Analista de Marketing

Sr. Jaime Flores	Técnico financiero
Sr. Marcos Vásquez	Departamento de Concesión
Sr. Juan Carlos Martínez	Departamento de Concesión
Sr. Julio Alberto Romero Mejía	Departamento de Concesión
Sr. Takashi Kadono	Experto de JICA
Parte Japonesa	
Sr. Taiji Kawakami	Asesor técnico ejecutivo, Departamento de Infraestructura Económica, Sede de JICA
Dr. Kazuo Murakami	Profesor Emérito, Universidad de la Ciudad de Tokio
Dr. Yasuyuki Nakagawa	Líder del Grupo de Investigación de Dinámica de Sedimentación de Costas y Estuarios, Instituto de Investigación de Puertos y Aeropuertos
Sr. Masatomo Hihara	Director de Políticas Internacionales, Agencia de Puertos
Equipo de Estudio de JICA	
Dr. Kazumasa Kato	Líder, Análisis de sedimentación, ECOH
Dr. Nobuyuki Ono	Análisis y predicción de sedimentación, ECOH
Sr. Takahisa Aoyama	Trabajos de dragado de canal y planificación, ECOH
Sr. Tatsuyuki Shishido	Economía marítima, OCDI
Dr. Ryuichi Shibasaki	Pronóstico de demanda, OCDI
Sr. Takayuki Iijima	Análisis económico, OCDI
Sr. Tadahiko Kawada	Planificación portuaria, OCDI
Oficina de JICA en El Salvador	
Sr. Shinji Sato	Presidente adjunto representativo
Sr. Yuichiro Inoue	Director de Cooperación Financiera Reembolsable
Sra. Miwako Kamimura	Asesora de Formulación de Proyectos
Sr. Gabriela Alfaro	Oficial de Programa

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

Las mediciones batimétricas fueron realizadas sobre una línea longitudinal a lo largo del canal de acceso, 22 líneas transversales al canal de acceso, 7 líneas en la dársena perpendiculares al muelle y 3 líneas en la dársena paralelas al muelle. La ubicación de las líneas transversales al canal de acceso se presenta en la Figura 3.1 con la distancia desde el punto base listado en la Tabla 3.1, que indica una relación de conversión entre el número de líneas y la coordenada KP. Las líneas de L1 a L22 corresponden a las indicadas en la Figura 3.1. La ubicación de las líneas dentro de la dársena se presenta en la Figura 3.2. Las líneas de $x-0$ a $x-1200$ son establecidas casi perpendicularmente al muelle, mientras que las líneas de $y-200$ y $y-400$ son paralelas a la línea central del canal. La columna de la extensión indica longitudes aproximadas de las líneas de mediciones.

Tabla 3.1 Ubicación de las líneas de mediciones batimétricas

No	KP (km)	Extensión (m)	No	KP (km)	Extensión (m)	No	KP (km)	Extensión (m)
L1	21,91	600	L12	10,90	400	$x+1200$	1,20	700
L2	20,90	600	L13	9,91	400	$x+1000$	1,00	700
L3	19,90	600	L14	8,90	400	L22	0,92	700
L4	18,91	600	L15	7,91	400	$x+800$	0,80	700
L5	17,90	600	L16	6,92	400	$x+600$	0,60	700
L6	16,90	600	L17	5,93	400	$x+400$	0,40	700
L7	15,91	600	L18	4,93	400	$x+200$	0,20	700
L8	14,91	600	L19	3,92	400	$x+0$	0,00	800
L9	13,91	600	L20	2,92	400	$y-0$	-	800
L10	12,91	600	L21	1,92	400	$y-200$	-	1300
L11	11,89	400				$y-400$	-	1300

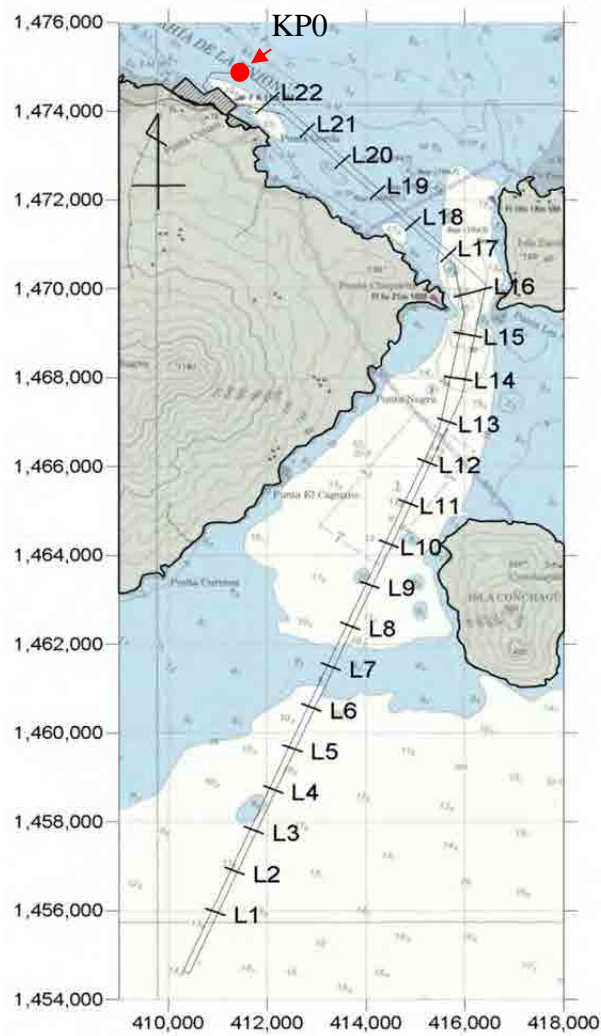


Figura 3.1 Líneas de mediciones batimétricas en el canal de acceso

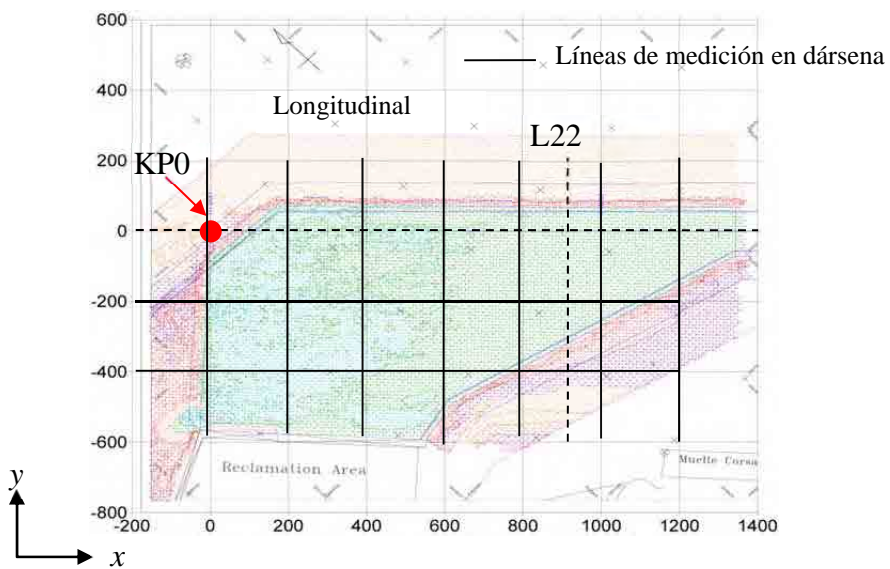


Figura 3.2 Líneas de mediciones batimétricas en la dársena

3.1.2 Perfil Longitudinal de la Profundidad del Canal de Acceso

La Figura 3.3 presenta la variación longitudinal de la profundidad a lo largo de la línea central del canal de acceso durante los periodos de la mediciones del 31 de enero al 2 de febrero de 2011, el del 19 al 22 de agosto de 2011, y el del 19 al 21 de enero de 2012. El diagrama superior presenta un perfil longitudinal completo del canal de acceso y el diagrama inferior presenta la parte del perfil menor de 15 m de profundidad. La parte somera en el canal externo está alrededor de KP16.000 con una profundidad de -10,2 m, mientras que el canal interno es menos profundo alrededor de KP3.500 con una profundidad de -7,4 m.

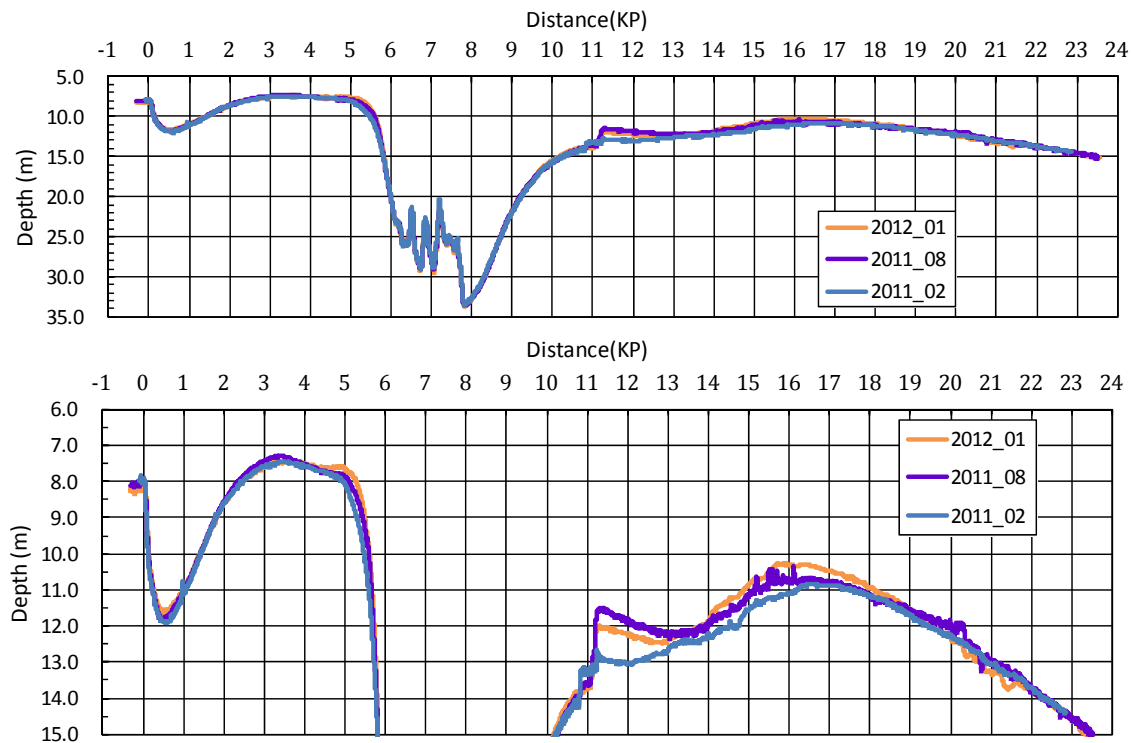


Figura 3.3 Variación longitudinal de la profundidad a lo largo de la línea central del canal de acceso

3.1.3 Perfil Transversal de la Profundidad de la Dársena y el Canal de Acceso

Las figuras de la Figura 3.4 y a la Figura 3.9 muestran los cambios del perfil de las secciones transversales del canal de acceso entre L01 (KP21.91) y L22 (KP0.92) con un intervalo de 1 km; los resultados de las mediciones realizadas en diciembre de 2008, junio de 2009, febrero de 2011, agosto de 2011, y enero de 2012 se presentan junto con la forma planeada del canal. En cada figura, el punto de partida de la distancia está establecido sobre la línea central del canal y es positivo hacia el Este.

La Figura 3.10 y la Figura 3.11 muestran las secciones transversales de la dársena con un intervalo de 0,2 km; en éstas se presentan los resultados de cuatro mediciones realizadas en diciembre de 2008, febrero de 2011, agosto de 2011, y enero de 2012. La profundidad del agua al completar el dragado principal en diciembre de 2008 se indican también en las figuras.

La Figura 3.12 muestra el perfil de la profundidad de la dársena a lo largo de las líneas de $y = 0$, -200 y -400 m, que son paralelas a la línea central del canal de acceso. La distancia está medida en dirección Sur desde el extremo Norte de la dársena, tal como se indica en la Figura 3.2.

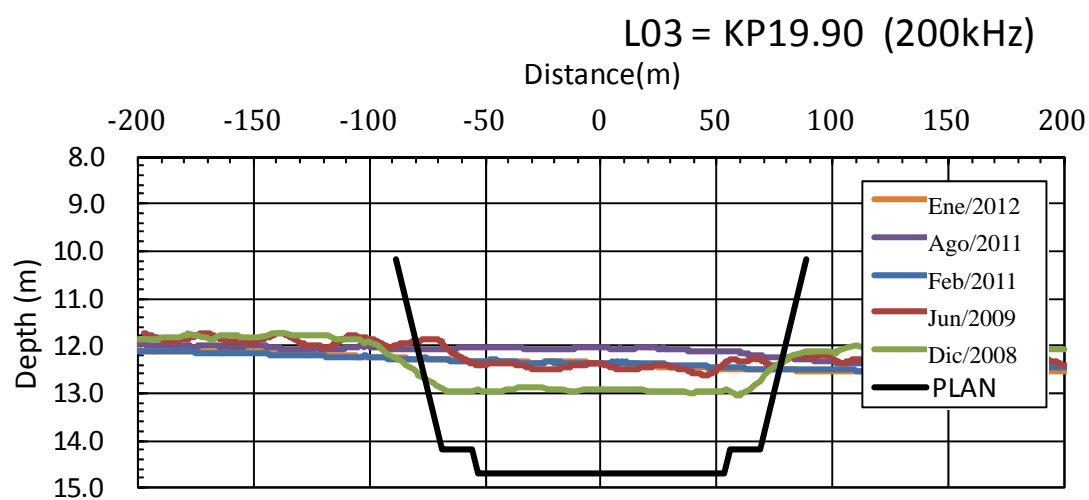
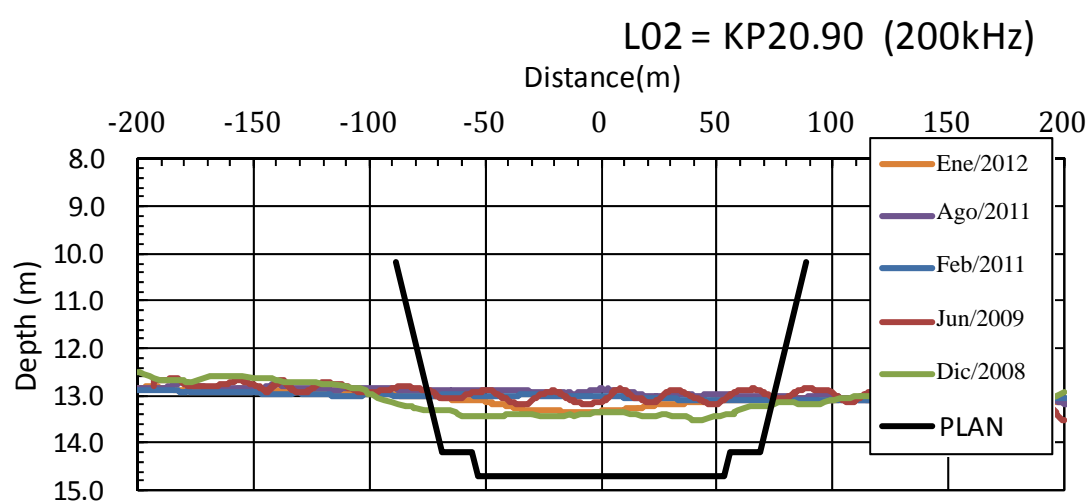
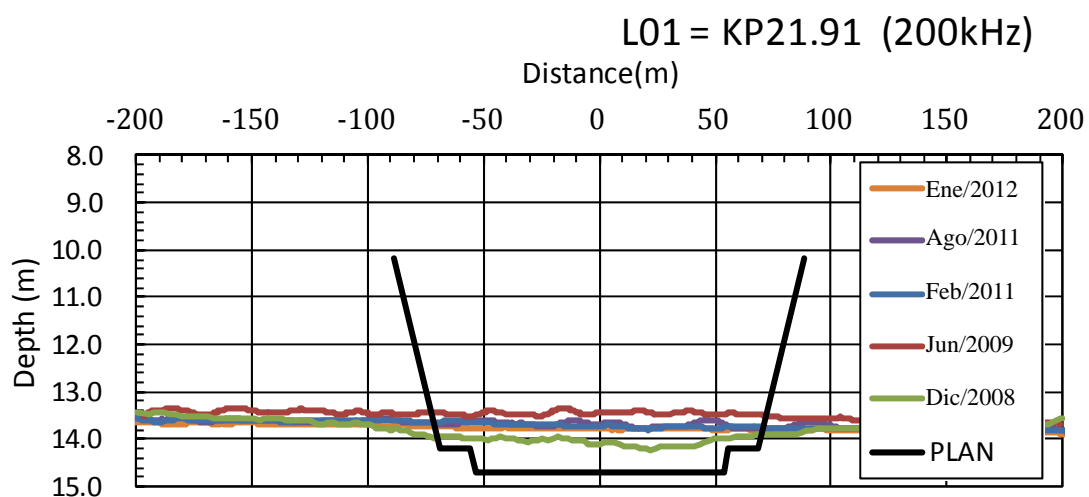


Figura 3.4 Perfil transversal de la profundidad del canal de acceso externo con el perfil de canal planeado (L1, L2 y L3)

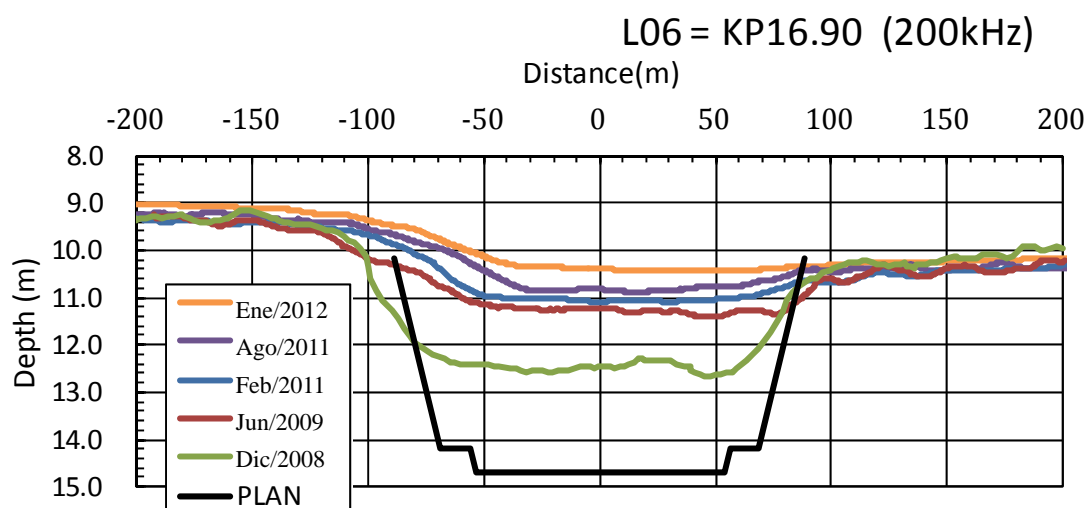
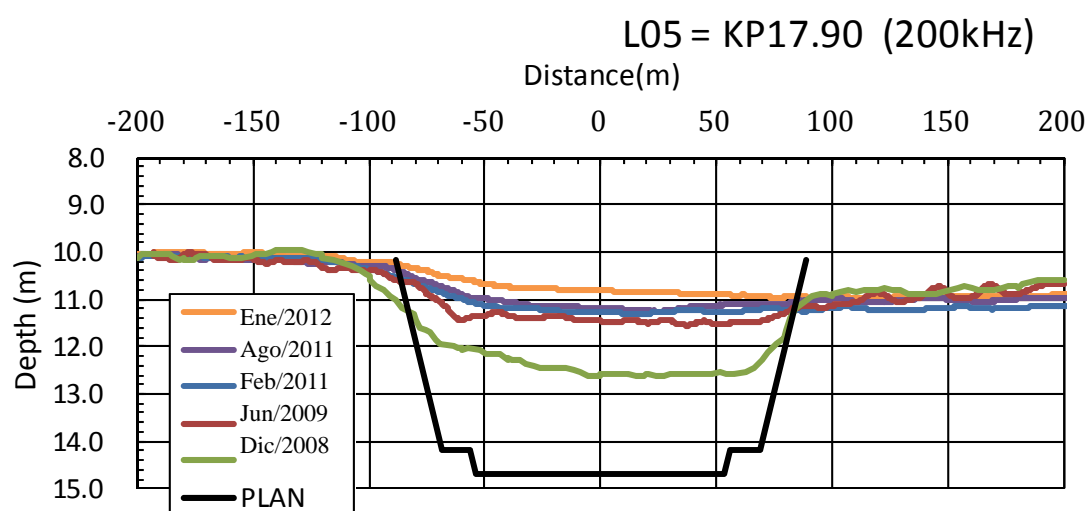
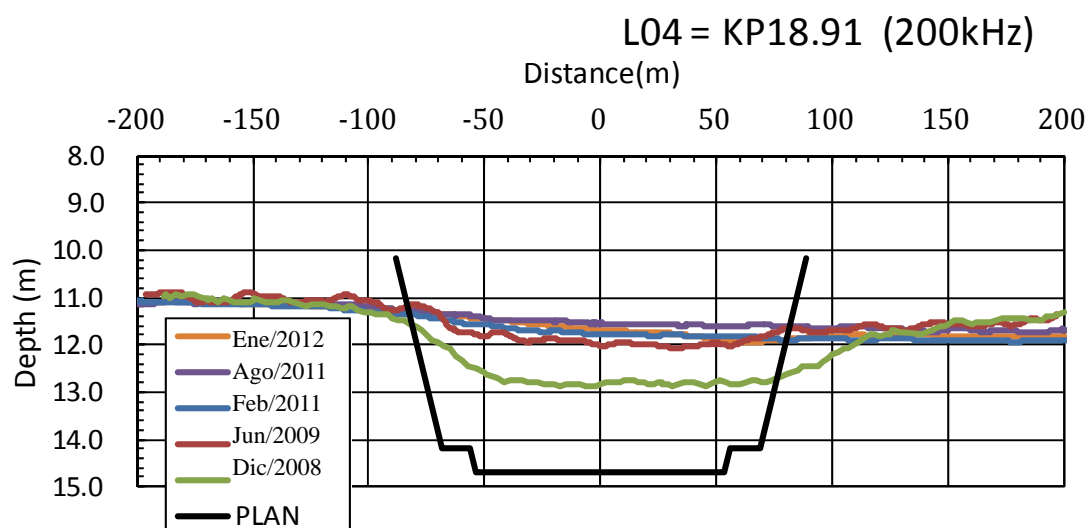


Figura 3.5 Perfil transversal de la profundidad del canal de acceso externo con el perfil de canal planeado (L4, L5 y L6)

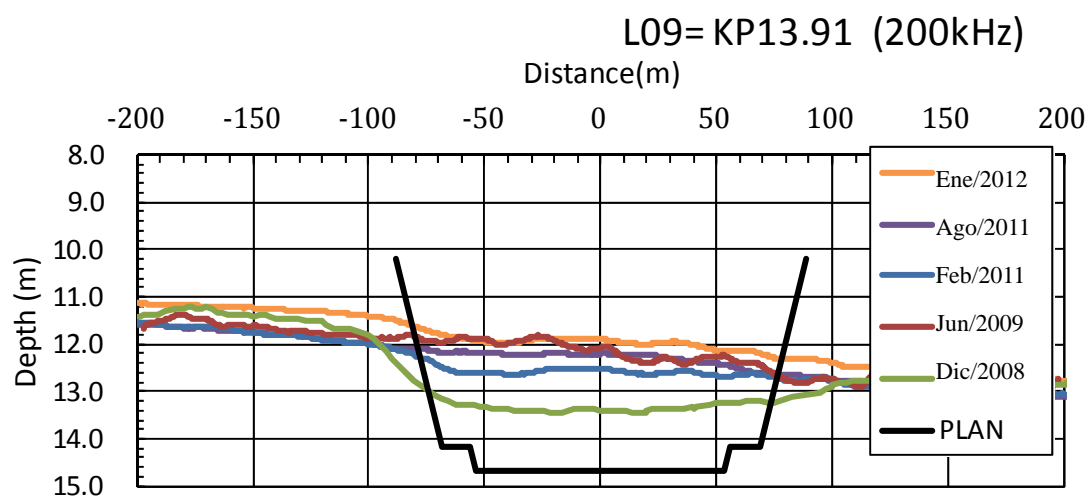
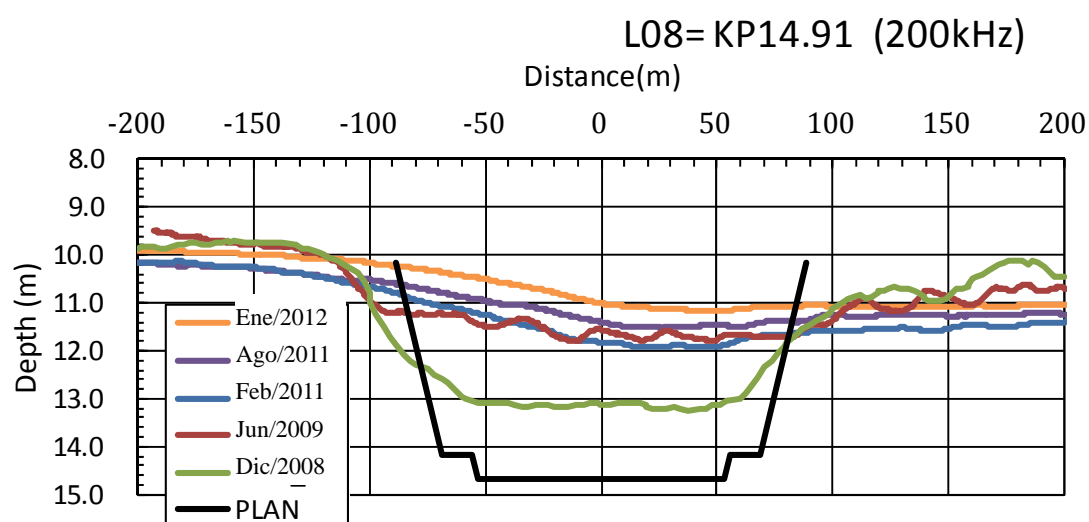
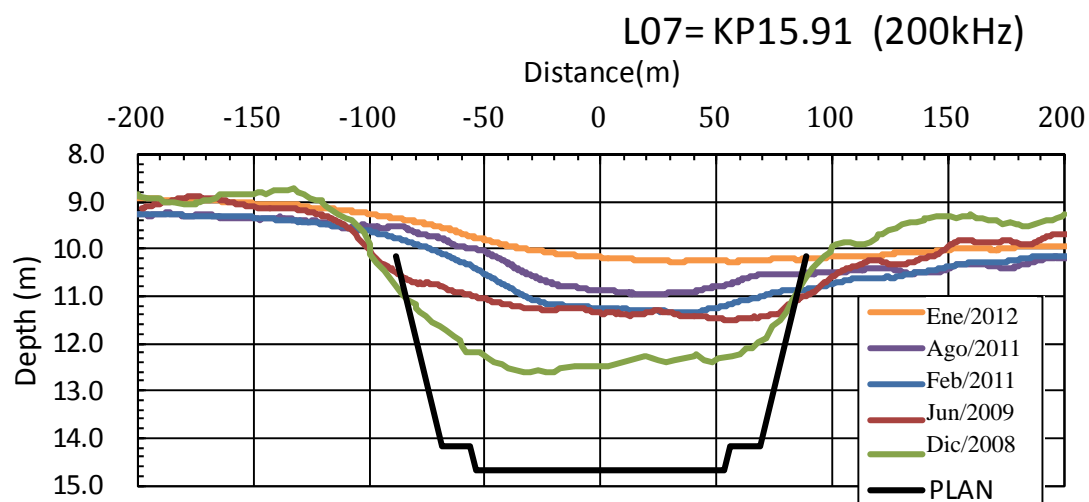


Figura 3.6 Perfil transversal del canal de acceso externo con el perfil de canal planeado (L7, L8 y L9)

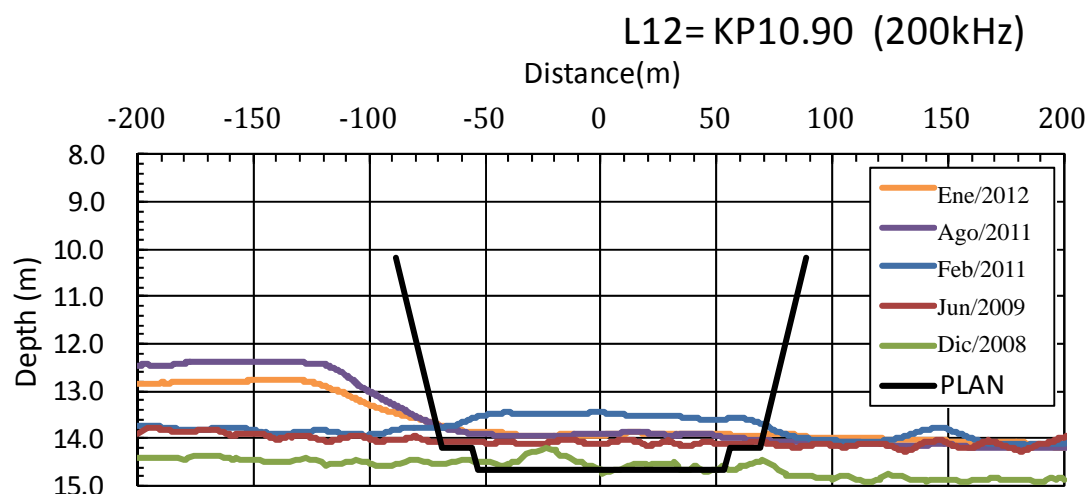
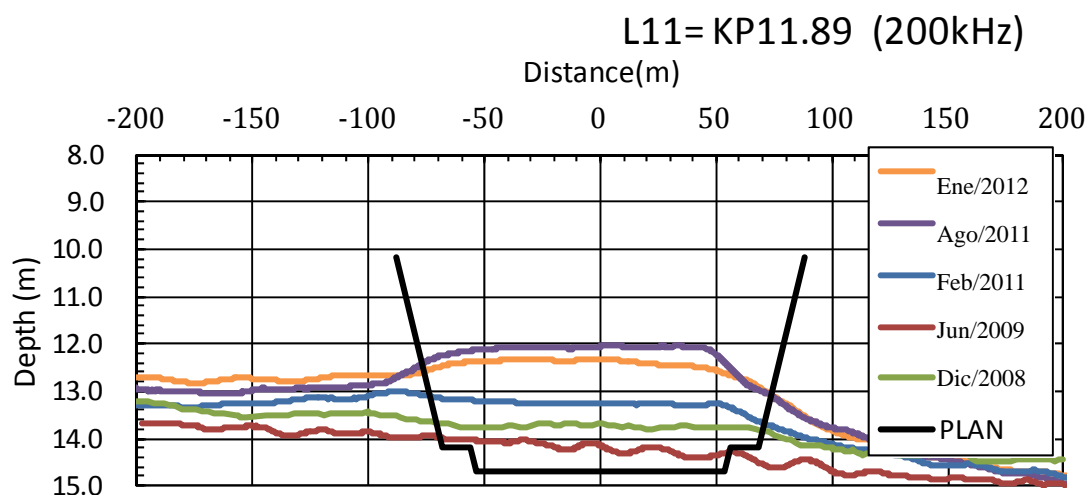
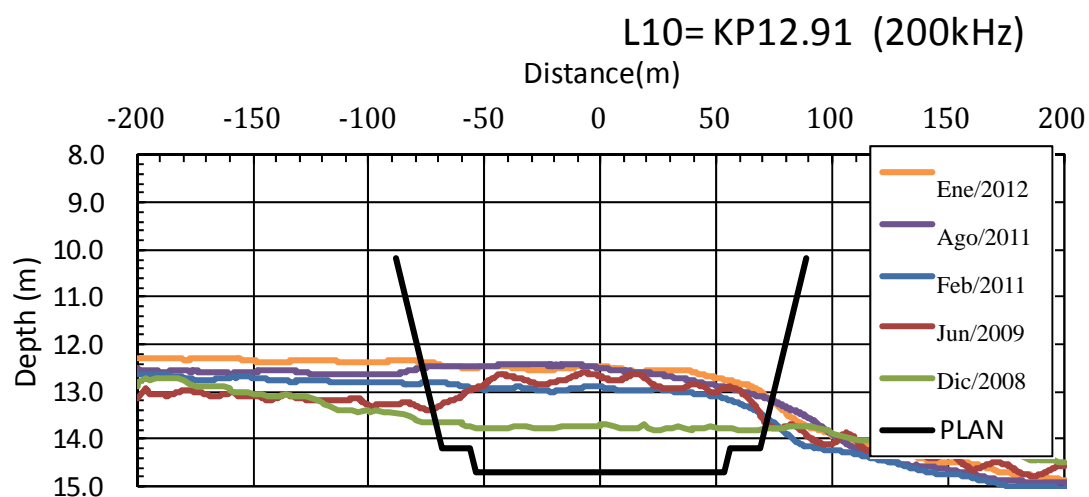


Figura 3.7 Perfil transversal de la profundidad del canal de acceso externo con el perfil de canal planeado (L10, L11 y L12)

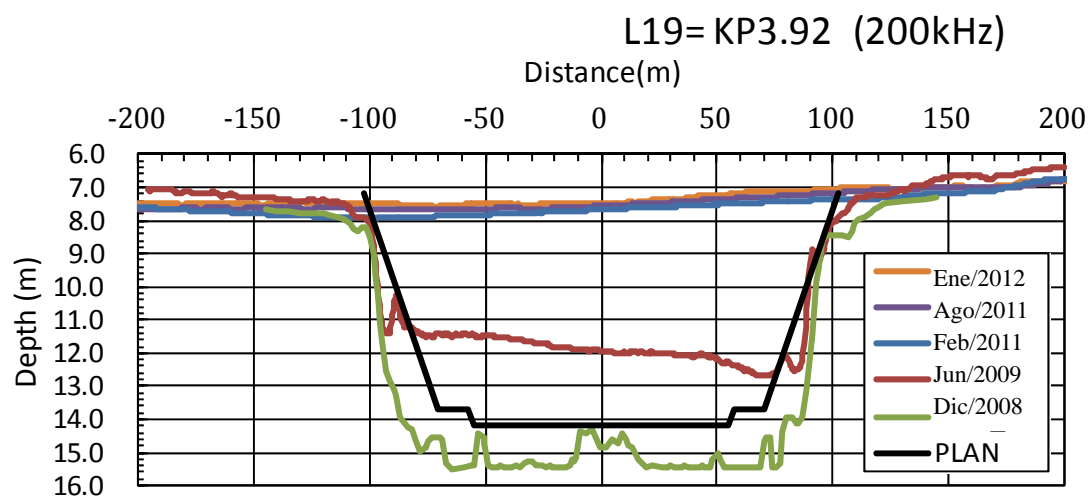
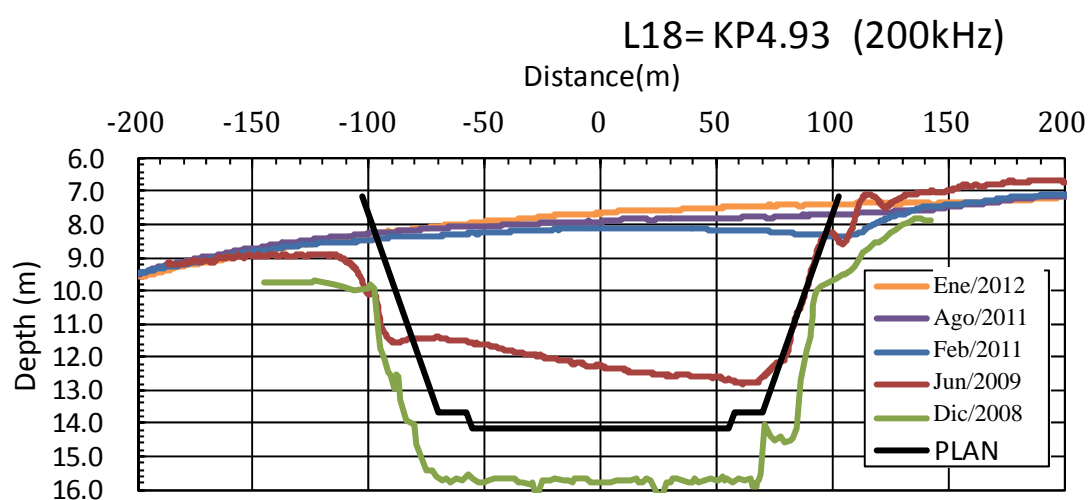
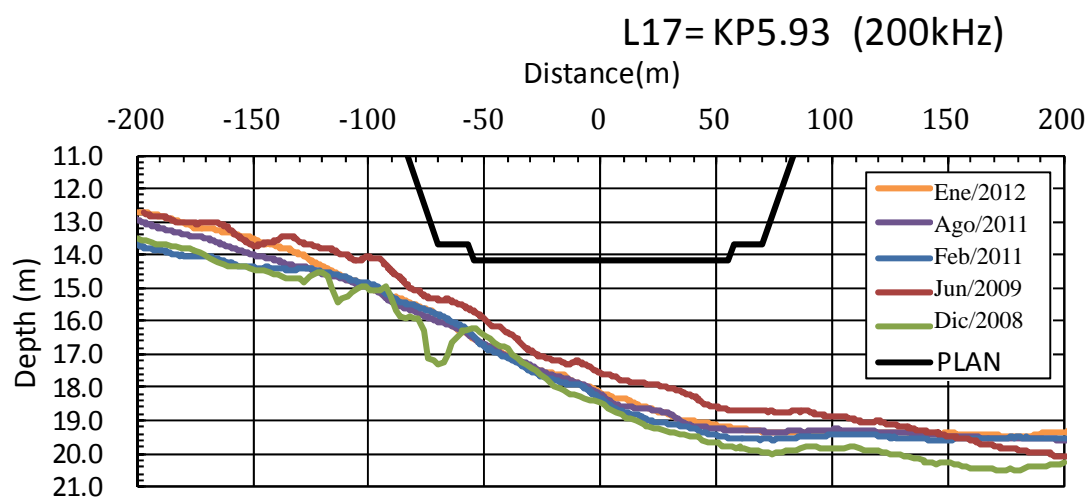


Figura 3.8 Perfil transversal de la profundidad del canal de acceso interno con el perfil de canal planeado (L17, L18 y L19)

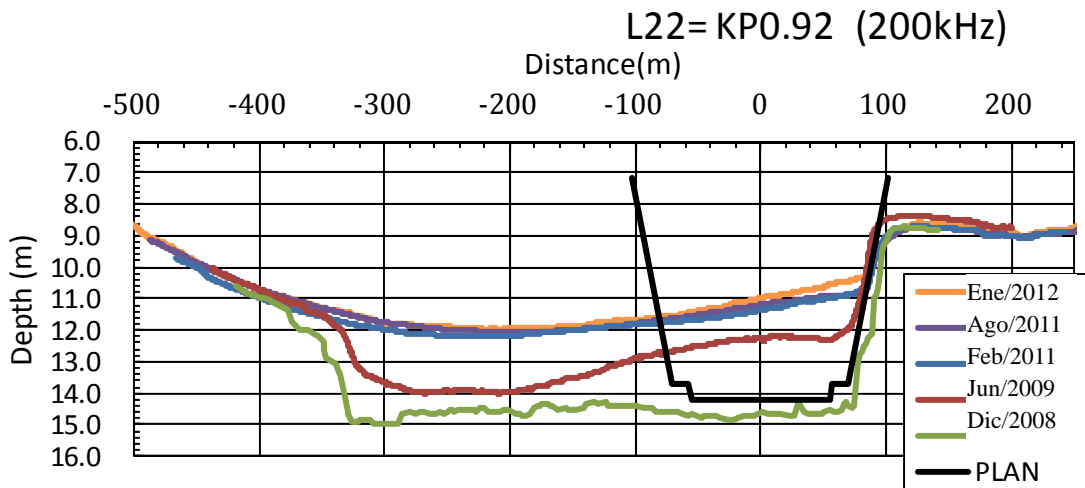
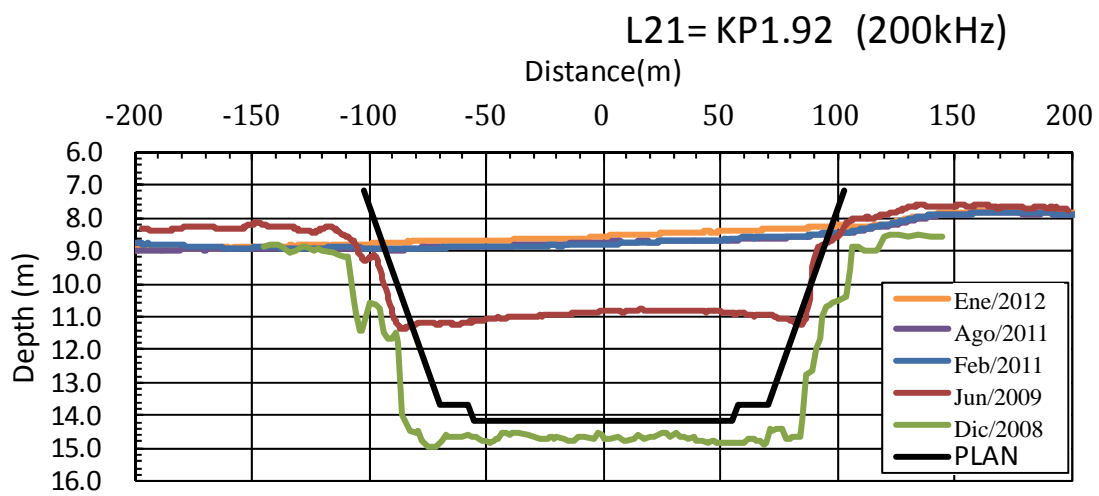
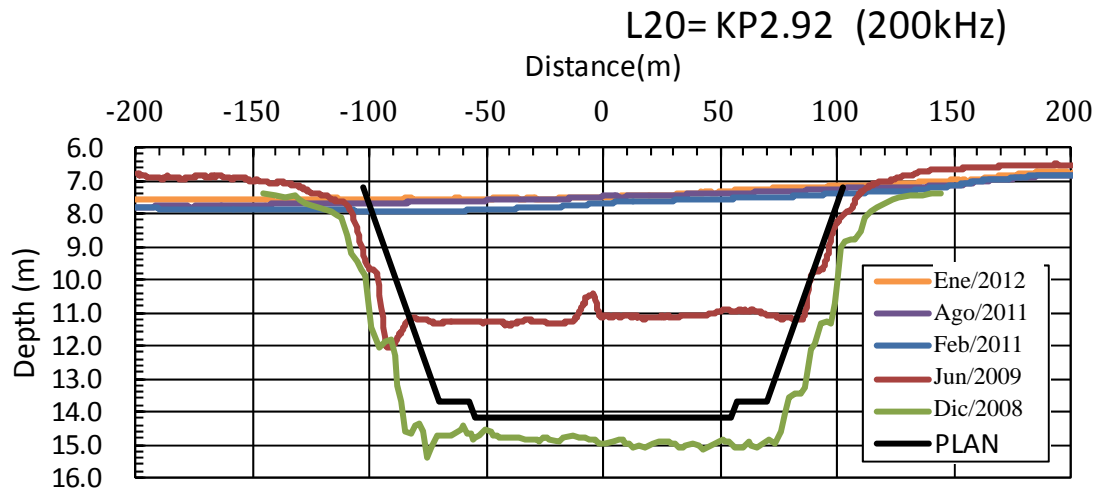


Figura 3.9 Perfil transversal de la profundidad del canal de acceso interno con el perfil de canal planeado (L20, L21 y L22)

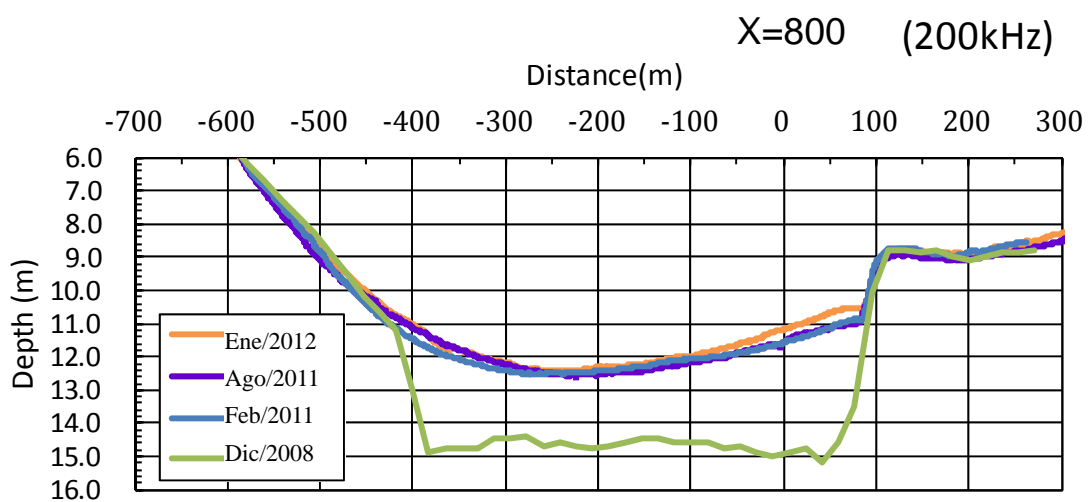
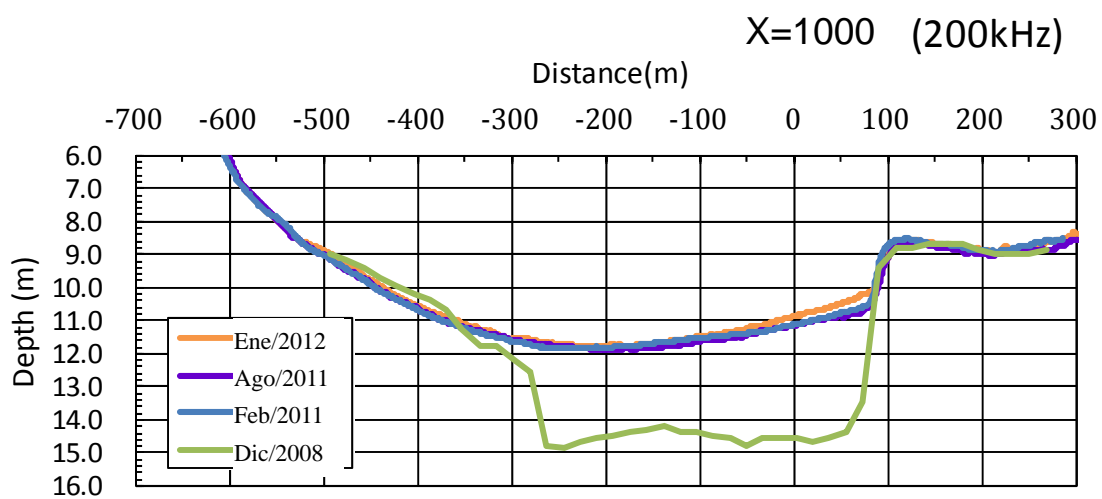
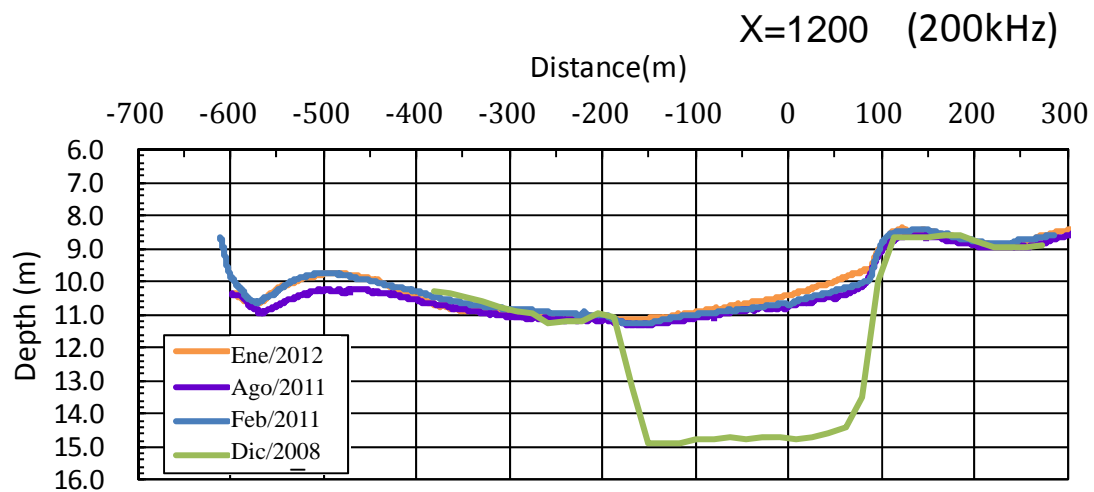


Figura 3.10 Perfil de la profundidad de la dársena de maniobras sobre las líneas perpendiculares al muelle

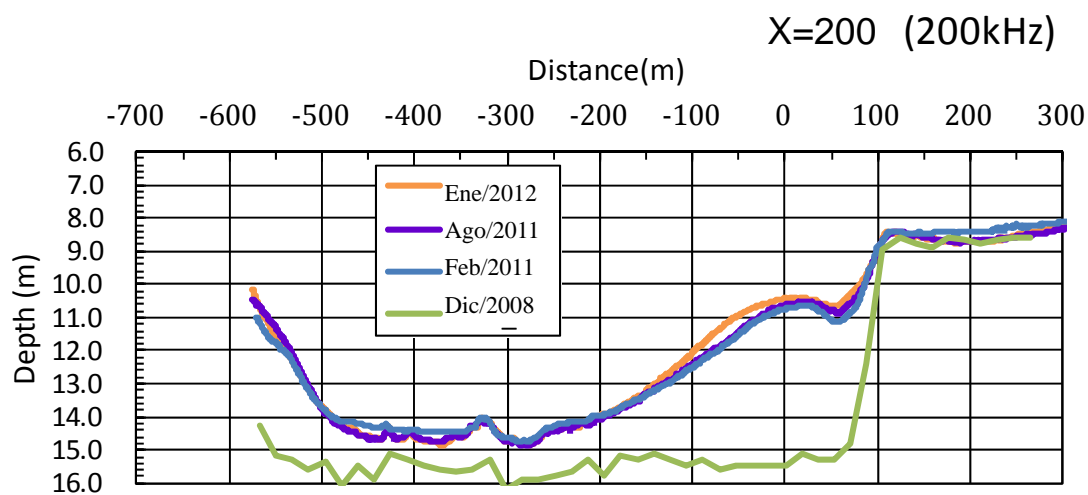
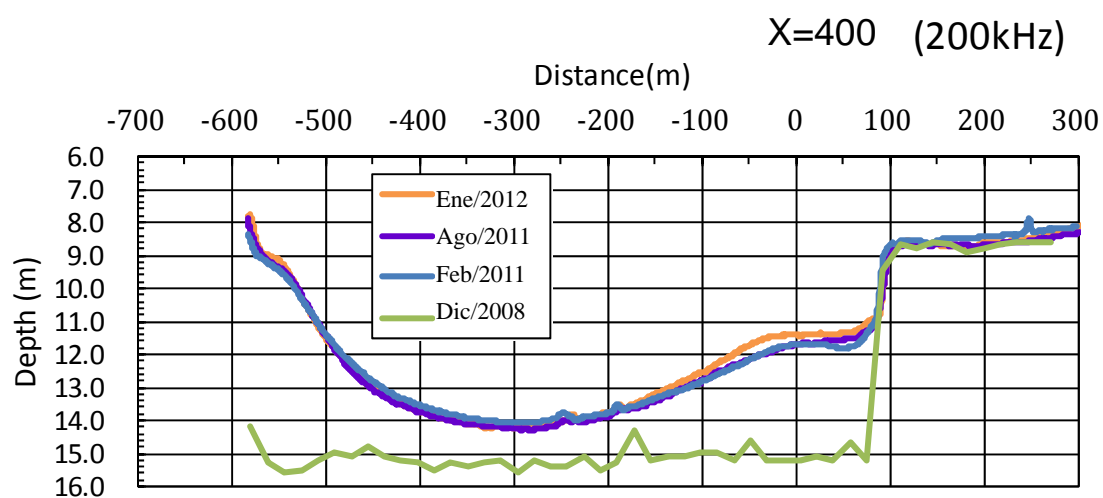
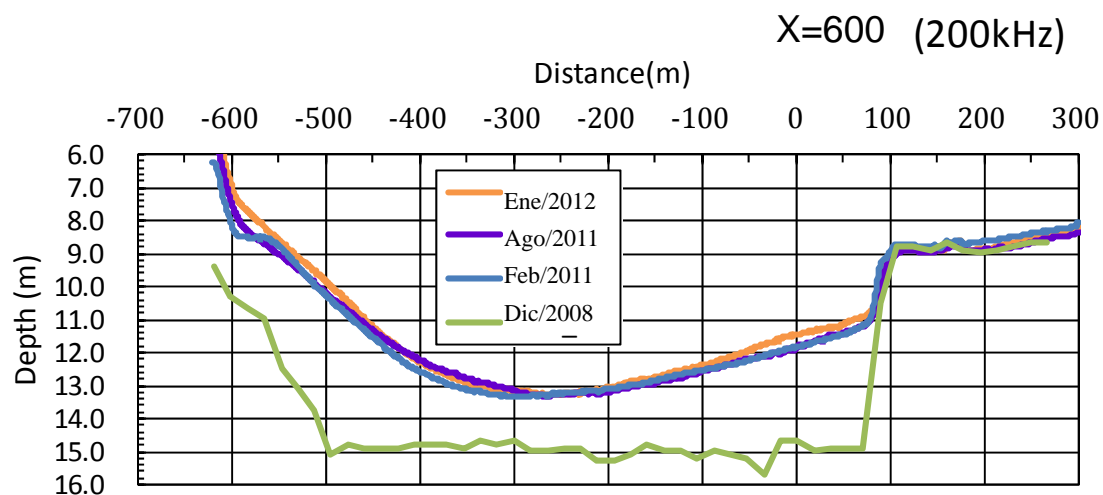


Figura 3.11 Perfil de la profundidad de la dársena de maniobras sobre las líneas perpendiculares al muelle

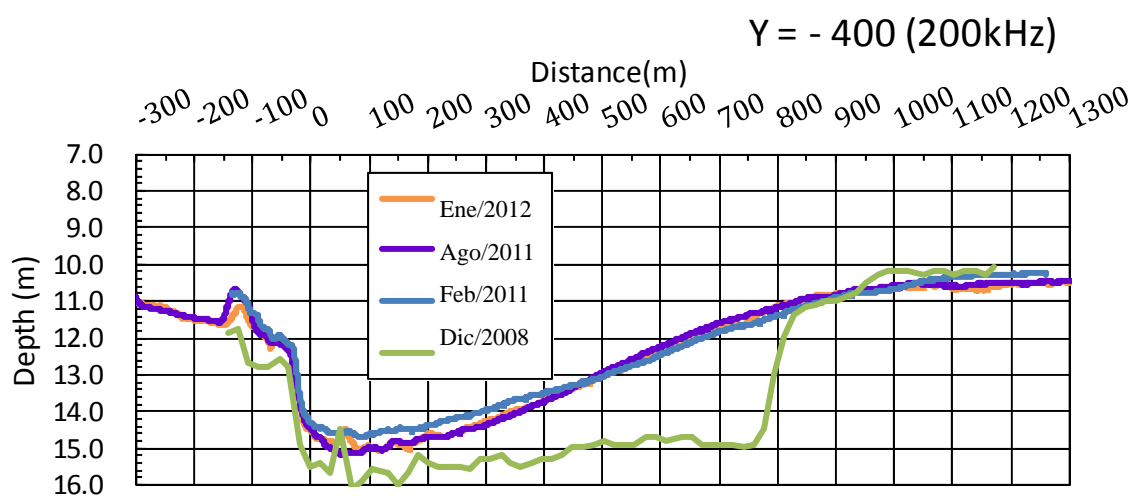
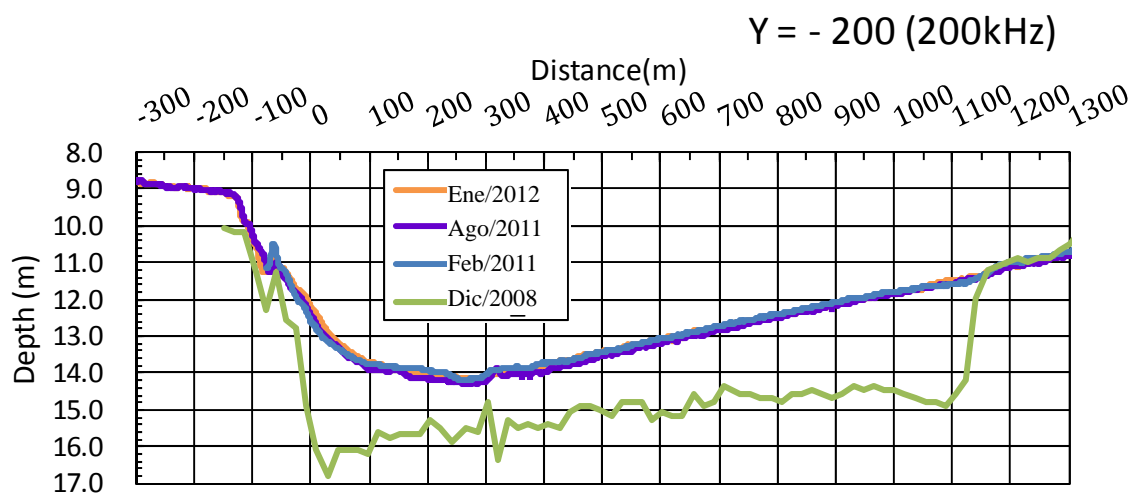
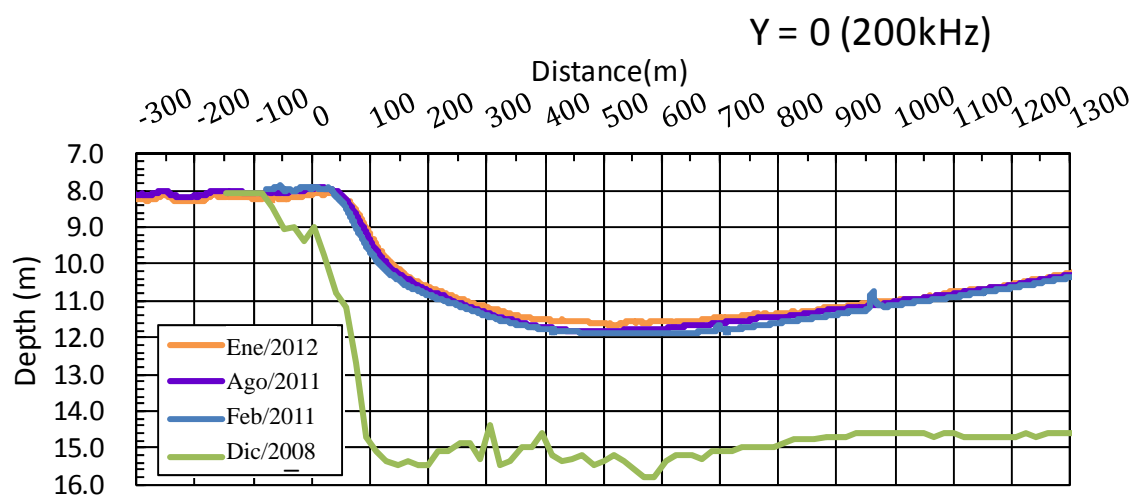


Figura 3.12 Perfil de la profundidad de la dársena de maniobras sobre las líneas paralelas al muelle

3.1.4 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. En las tablas de la Tabla 3.2 a la Tabla 3.4 se listan las profundidades medias. La parte central de la dársena está relativamente más profunda con una sedimentación menor en comparación con la sección del canal.

La Figura 3.13 presenta una comparación de la variación longitudinal de las profundidades medias de la dársena y el canal de acceso, listadas de la Tabla 3.2 a la Tabla 3.4, en comparación con los resultados de las mediciones anteriores que fueron obtenidos en agosto de 2008, diciembre de 2008 y junio de 2009. La Figura 3.14 muestra la ampliación de la Figura 3.13 correspondiente a una parte del canal interno y la dársena. 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 y la dársena.

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. La dársena tiene una profundidad media del orden de -12,2 m. Aunque las profundidades medias de las líneas de medición de $x+200$ y $x+400$ son alrededor de -12,7 m, la profundidad media justo frente al muelle es entre -9 y -11 m, lo que indica una sedimentación local.

La profundidad media de agua en la dársena obtenida entre el 1^{er} y el 3^{er} Estudios de Campo ha cambiado levemente e indica que la sedimentación en la presente situación parece haber casi terminado porque el canal ya está azolvado.

Tabla 3.2 Profundidad media del canal de acceso y la dársena en febrero de 2011

No.	KP (km)	Profundidad media del canal (m)	No.	KP (km)	Profundidad media del canal (m)	No.	KP (km)	Profundidad media (m)	
								Canal	Dársena
L1	21,91	-13,70	L11	11,89	-13,25	L21	1,92	-8,80	-
L2	20,90	-13,03	L12	10,90	-13,54	x+1200	1,20	-10,71	-
L3	19,90	-12,36	L13	9,91	-16,16	x+1000	1,00	-10,93	-11,47
L4	18,91	-11,70	L14	8,90	-22,14	L22	0,92	-11,06	-11,52
L5	17,91	-11,17	L15	7,91	-33,33	x+800	0,80	-11,34	-12,04
L6	16,91	-10,94	L16	6,92	-29,68	x+600	0,60	-11,57	-12,64
L7	15,91	-10,96	L17	5,93	-17,75	x+400	0,40	-11,69	-12,47
L8	14,91	-11,60	L18	4,93	-8,19	x+200	0,20	-10,85	-13,03
L9	13,91	-12,57	L19	3,92	-7,70	x+0	0		
L10	12,91	-12,97	L20	2,92	-7,74				

Tabla 3.3 Profundidad media del canal de acceso y la dársena en agosto de 2011

No.	KP (km)	Profundidad media del canal (m)	No.	KP (km)	Profundidad media del canal (m)	No.	KP (km)	Profundidad media (m)	
								Canal	Dársena
L1	21,91	-13,68	L11	11,89	-12,08	L21	1,92	-8,76	-
L2	20,90	-12,94	L12	10,90	-13,96	x+1200	1,20	-10,72	-
L3	19,90	-12,06	L13	9,91	-16,23	x+1000	1,00	-10,94	-11,51
L4	18,91	-11,54	L14	8,90	-22,42	L22	0,92	-11,02	-11,42
L5	17,91	-11,15	L15	7,91	-33,42	x+800	0,80	-11,23	-11,91
L6	16,91	-10,81	L16	6,92	-29,78	x+600	0,60	-11,39	-12,35
L7	15,91	-10,75	L17	5,93	-18,12	x+400	0,40	-11,63	-12,87
L8	14,91	-11,32	L18	4,93	-7,89	x+200	0,20	-10,78	-13,09
L9	13,91	-12,24	L19	3,92	-7,55	x+0	0		
L10	12,91	-12,54	L20	2,92	-7,50				

Tabla 3.4 Profundidad media del canal de acceso y la dársena en enero de 2012

No.	KP (km)	Profundidad media del canal (m)	No.	KP (km)	Profundidad media del canal (m)	No.	KP (km)	Profundidad media (m)	
								Canal	Dársena
L1	21,91	-13,77	L11	11,89	-12,38	L21	1,92	-8,55	-
L2	20,90	-13,25	L12	10,90	-13,91	x+1200	1,20	-10,50	-
L3	19,90	-12,38	L13	9,91	-15,92	x+1000	1,00	-11,02	-11,37
L4	18,91	-11,67	L14	8,90	-22,63	L22	0,92	-10,91	-11,52
L5	17,91	-10,81	L15	7,91	-33,35	x+800	0,80	-11,35	-11,90
L6	16,91	-10,38	L16	6,92	-25,08	x+600	0,60	-11,66	-12,00
L7	15,91	-10,14	L17	5,93	-18,08	x+400	0,40	-11,61	-12,79
L8	14,91	-10,92	L18	4,93	-7,67	x+200	0,20	-10,78	-13,16
L9	13,91	-11,96	L19	3,92	-7,44	x+0	0		
L10	12,91	-12,52	L20	2,92	-7,48				

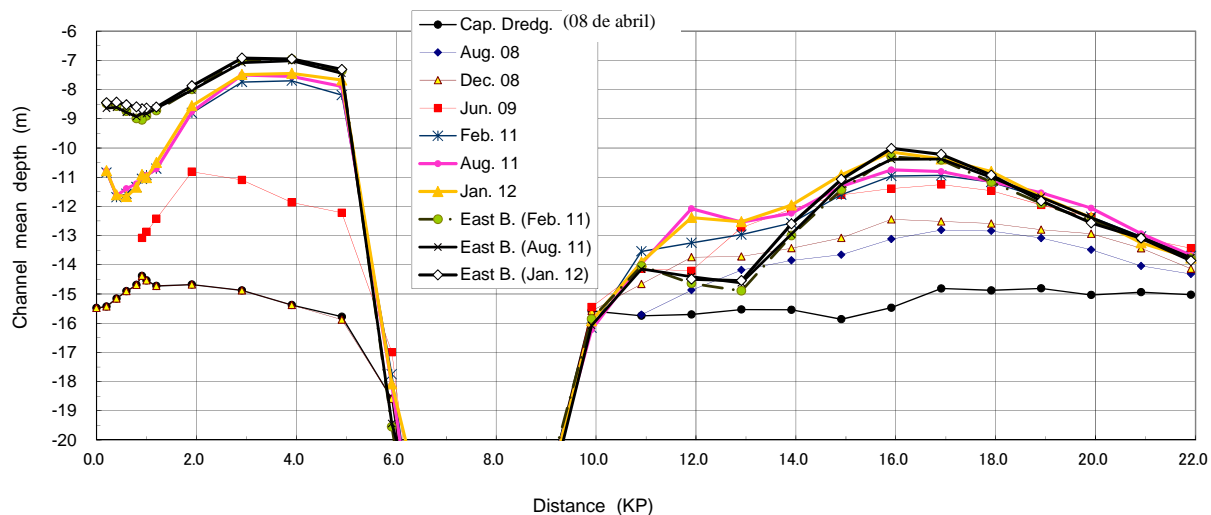


Figura 3.13 Variación longitudinal de la profundidad media del canal de acceso

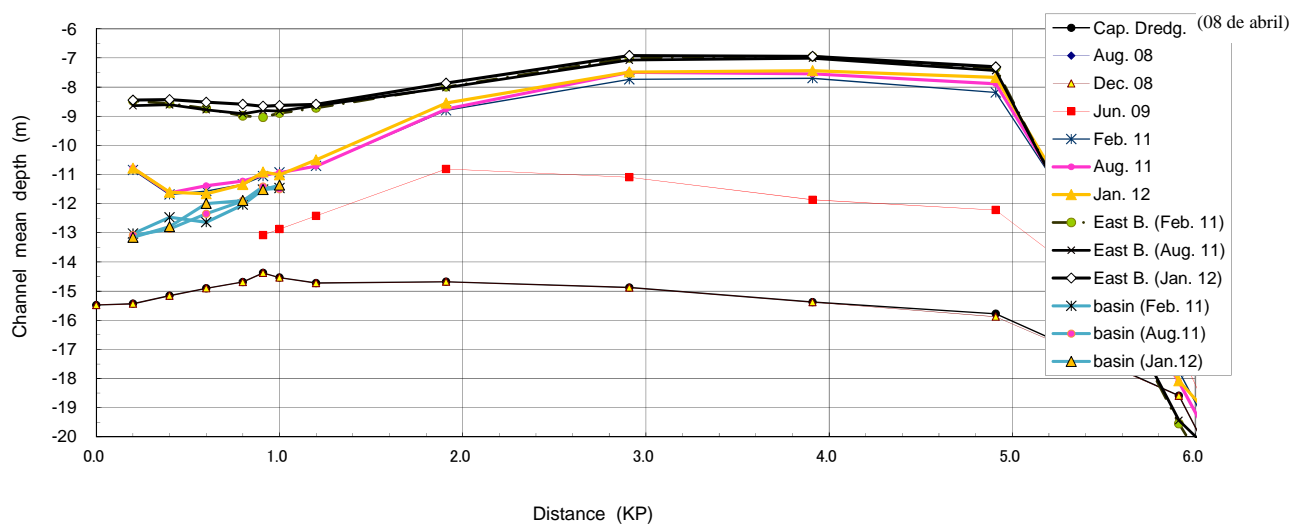


Figura 3.14 Variación longitudinal de la profundidad media del canal de acceso interno y la dársena

3.1.5 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 3.15, reproducida del Informe Final del Estudio SAPI (2009).

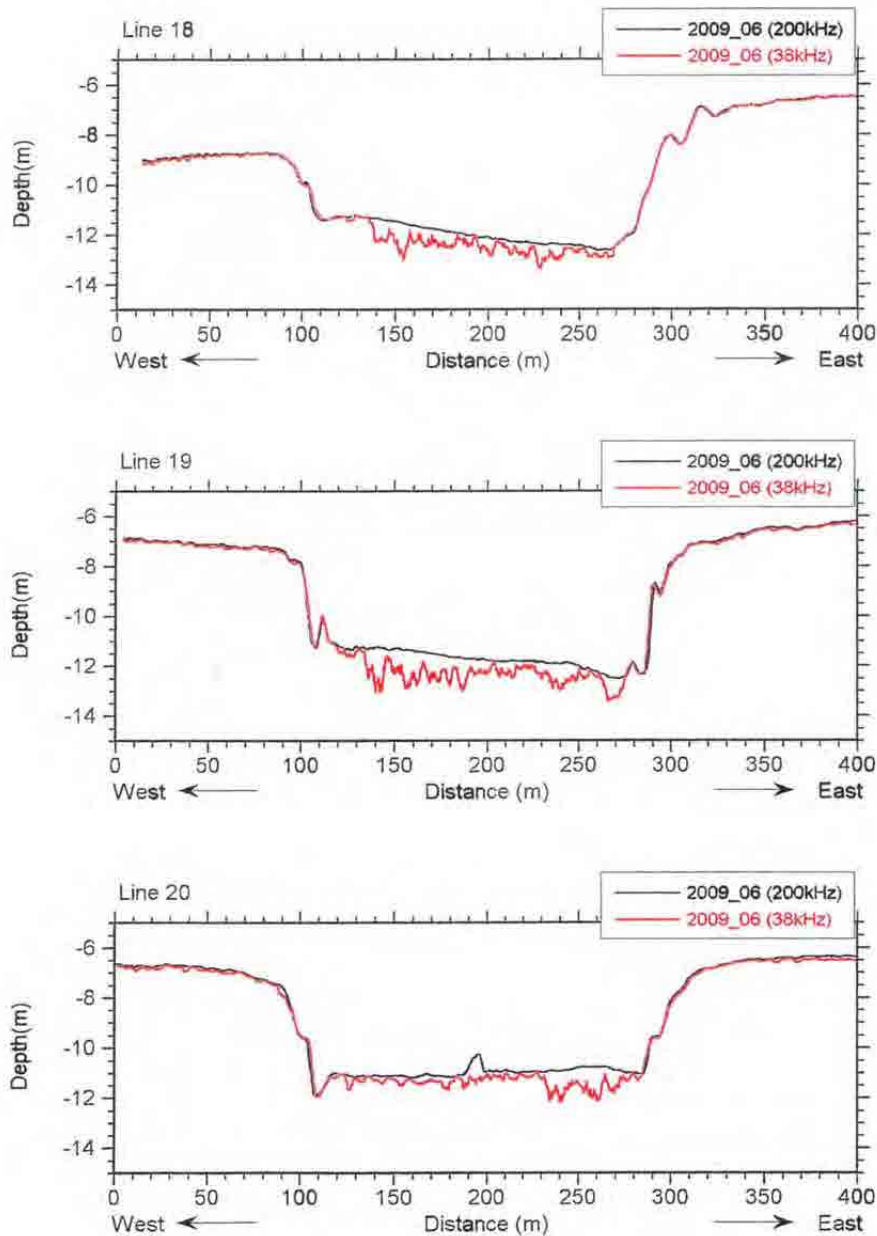


Figura 3.15 Perfiles transversales del canal medidos con señales de 38 y 200 kHz entre L18 y L20 (SAPI, 2009)

Las ondas de baja frecuencia de 38 kHz dieron una profundidad de agua mayor que la medida con las ondas de 200 kHz. La diferencia varía de un punto a otro en un rango de 0 a 1,2 m, según lo indicado en la Tabla 3.5 (según el 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.

Tabla 3.5 Rango aproximado del espesor del lodo fluido en las líneas transversales respectivas (SAPI, 2009)

Line No.	Thickness (m)	Presence	Line No.	Thickness (m)	Presence
01	0.0	none	12	0.05 – 0.1	140 m
02	0.0	none	13	0.05 – 0.1	20 m
03	0.1 – 0.2	90 m	14	0.05 – 0.2	20 m
04	0.1 – 0.3	80 m	15	0.0	none
05	0.1 – 0.3	40 m	16	0.0	none
06	0.1 – 0.4	80 m	17	0.0	none
07	0.1 – 0.8	100 m	18	0.1 – 1.0	130 m
08	0.1 – 0.4	60 m	19	0.1 – 1.2	160 m
09	0.1 – 0.3	30 m	20	0.1 – 1.0	160 m
10	0.1 – 0.2	40 m	21	0.1 – 1.2	110 m
11	0.1 – 0.2	30 m	22	0.0	none

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 en el 1^{er} Trabajo de Campo, 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 3.6. Los sitios A y B están ubicados efuera 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 3.16

Tabla 3.6 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

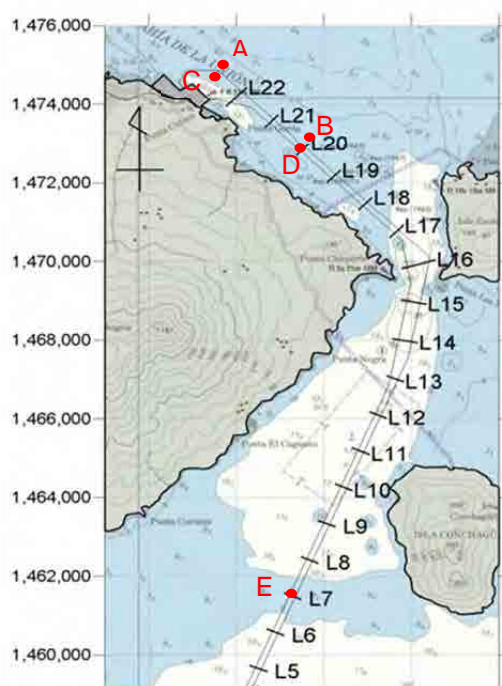


Figura 3.16 Ubicación de los sitios del muestreo

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. Los tubos tenían un diámetro interno de 50 mm. Los tubos cortos fueron insertados en el lodo en su longitud total y los tubos largos, hasta 1,2 m. La elevación de la parte superior de cada tubo corto fue monitoreada con un computador de un buzo y luego fue convertida en una profundidad relativa de agua respecto al nivel del puerto. Los tubos se sellaban con un tapón en la parte superior y otro en la inferior mientras se extraían de la capa de lodo y eran llevados a la barca de mediciones (véase la Figura 3.17). La profundidad reportada por los buzos es aproximadamente igual a la profundidad de agua medida con la onda sónica de 200 kHz. Así, se considera que la profundidad de agua medida con la ecosonda representa la profundidad de la superficie de la capa de lodo fluido.

La visibilidad del agua marina era casi nula cerca del fondo marino. Los buzos informaron que no pudieron reconocer a simple vista la superficie de la capa de lodo. Ellos se sentaron sobre la capa de lodo y la identificaron tocándola con sus manos.

Se tenía el propósito de que los tubos cortos llegaran a la superficie de la capa de lodo fluido, pero a causa de la visibilidad nula alrededor del fondo marino, parece que los buzos insertaron los tubos cortos algo más profundo que la superficie de la capa de lodo fluido. Los tubos largos y cortos fueron llevados a la oficina de trabajo y con una báscula digital fueron pesados con y sin contenido de lodo. La densidad húmeda del lodo fluido fue calculada con el peso del lodo contenido en el tubo dividiéndolo por la capacidad volumétrica del tubo.



Figura 3.17 Subiendo el tubo de muestreo en el sitio E (a) y tubo de muestreo en el sitio E (b)

Se suponía que los tubos largos se insertaban en el fondo marino hasta una longitud de 1,2 m, dejando 0,3 m de la parte superior sobre la capa de lodo. En ciertos sitios, el buzo no pudo insertar el tubo a más de unos 0,9 m, a causa de la gran resistencia del lodo duro local. Los tubos fueron cortados a bordo de la barcaza en secciones de 0,3 m de largo (véase la Figura 3.18). La sección superior contenía solamente agua marina. La sección media normalmente contenía el lodo disperso en el agua. Después de que el tubo largo era traído a bordo, empezaba el proceso de sedimentación de partículas de lodo y aparecía en pocos minutos una interfaz entre el agua y el lodo fluido. La altura de la interfaz fue medida y sus datos fueron empleados para estimar la elevación de la superficie del lodo fluido.

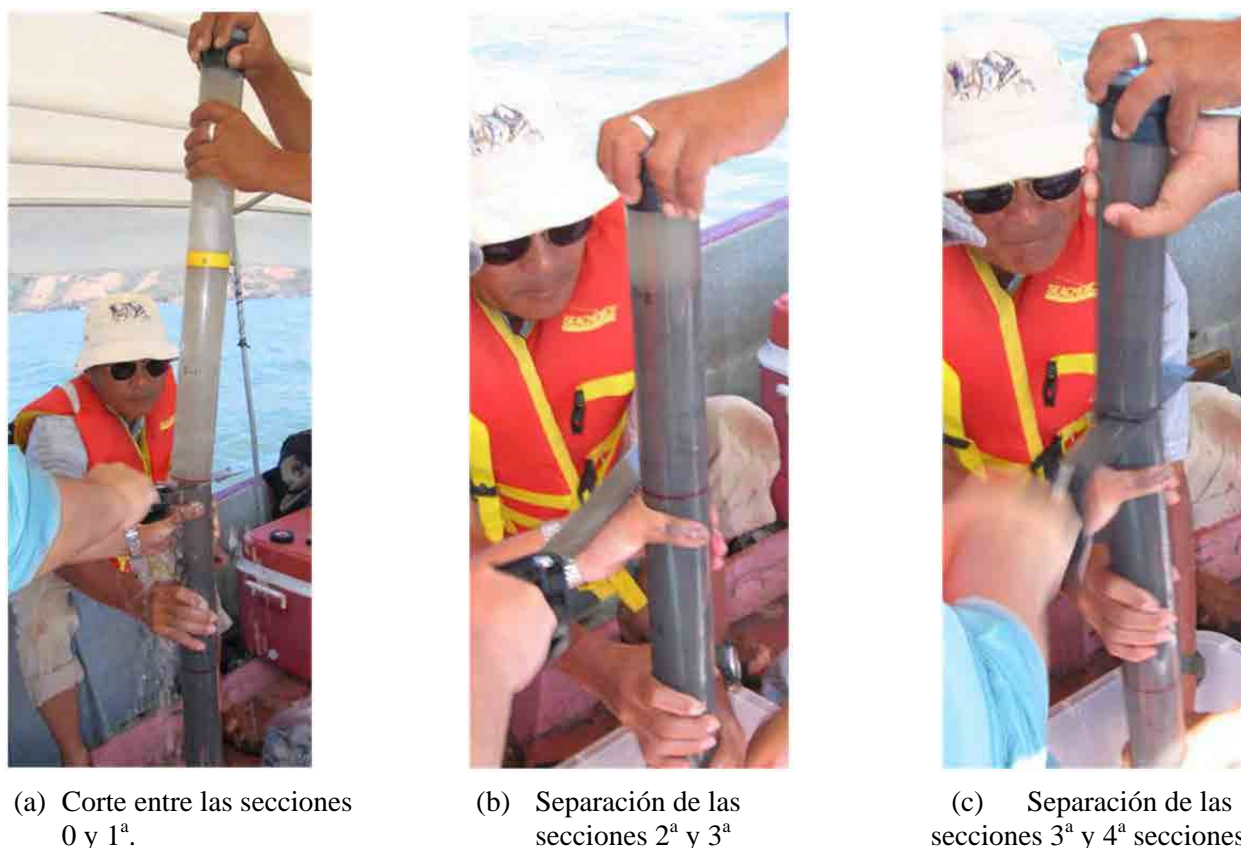


Figura 3.18 Cortando el tubo de muestreo en secciones de 0,3 m de largo

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. Se contaron 40 muestras de lodo de los tubos largos de cloruro de polivinilo. El peso medido de cada muestra de lodo fue 1 kg aprox. Las fotos de muestras de lodo colocadas en bolsas de plástico aparecen en la Figura 3.19.

Cuando la densidad húmeda de lodo es menor de $1,1 \text{ g/cm}^3$, tal como se observa en la Figura 3.19 (a), el lodo es sólo como líquido. A medida que incrementa la densidad, el lodo va obteniendo plasticidad como la de arcilla blanda. Al introducir la muestra de lodo en una bolsa desde una sección del tubo de cloruro de polivinilo, la muestra mantiene una forma cilíndrica por un tiempo. Cuando la densidad húmeda de lodo excede $1,2 \text{ g/cm}^3$, la muestra parece una masa de arcilla, tal como se presenta en la Figura 3.19 (d).

La densidad húmeda medida de la capa de lodo en relación a la profundidad media de la capa muestreada por debajo del fondo marino esta representada gráficamente en la Figura 3.20 y la Figura 3.21 para el exterior e interior del canal respectivamente. Para indicar la tendencia de la variación de la densidad húmeda, está trazada una línea de regresión lineal para cada sitio de mediciones. El lodo sobre la margen exterior del canal ha quedado intacto durante muchos años y se ha consolidado bien por su propio peso y la carga de la presión del oleaje y el esfuerzo cortante de las corrientes de marea. Un rápido incremento de la densidad húmeda al

profundizarse más la capa desde el fondo marino, presentado en la Figura 3.20, es una evidencia del estado del lodo bien consolidado. Los datos medidos de la densidad húmeda de lodo son algo dispersos posiblemente debido a la variación del muestreo, pero la tendencia de la densidad húmeda indicada con las líneas de regresión sugirió que la densidad húmeda de lodo excederá $1,4 \text{ g/cm}^3$ a un nivel de 0,7 m por 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 3.19 Fotos de muestras de lodo con su densidad

Comparada con la densidad húmeda de lodo sobre la margen exterior del canal, la densidad húmeda de lodo depositado en el interior del canal es menor y su aumento con la profundidad es lento, como se observa en la Figura 3.21. 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 3.14. 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.

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 3.14. 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.

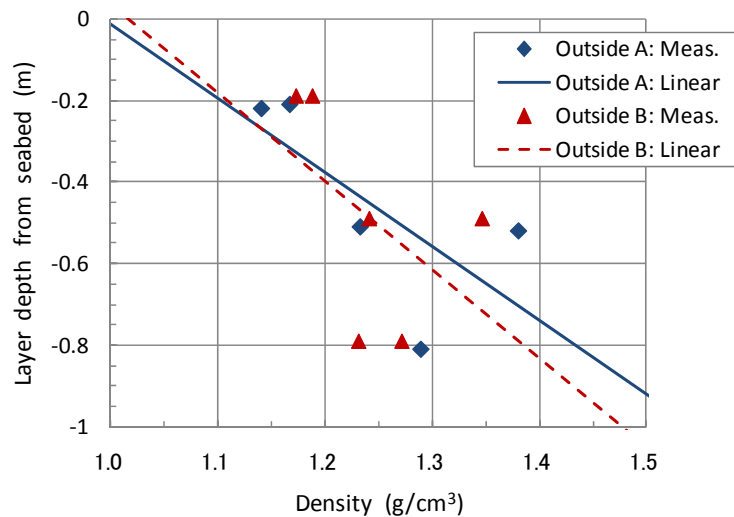


Figura 3.20 Perfil vertical de la densidad húmeda de lodo fuera del canal de acceso

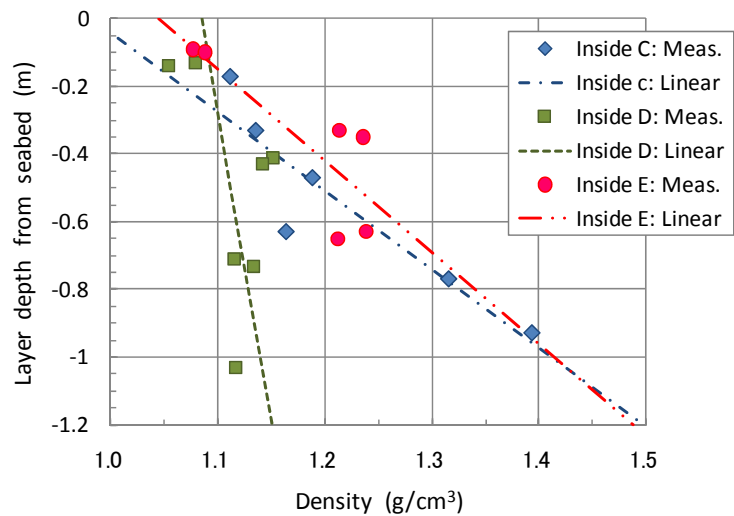


Figura 3.21 Perfil vertical de la densidad húmeda de lodo dentro del canal de acceso

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.

La densidad húmeda del lodo (ρ_t) satisface la relación teórica con el contenido de humedad como se expresa en la Ecuación. (3.1).

$$w = \frac{1 - \rho_t / \rho_s}{\rho_t / \rho_w - 1} \times 100\% \quad (3.1)$$

Donde, ρ_w y ρ_s indican la densidad de agua y la de partículas de suelo, respectivamente. La Figura 3.22 presenta una comparación entre los datos medidos y la predicción teórica, en que la densidad de agua se considera $\rho_w = 1,00 \text{ g/cm}^3$ y la densidad de suelo, $\rho_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$.

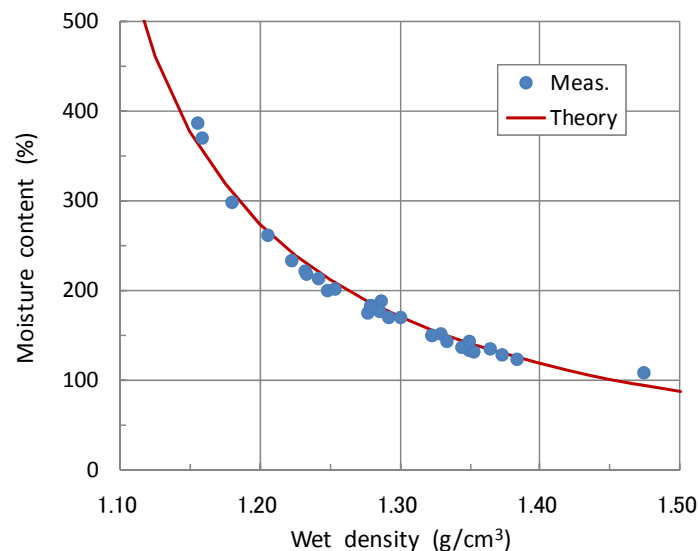


Figura 3.22 Relación entre el contenido de humedad y la densidad húmeda de muestras de lodo

Debe hacerse la observación de que la densidad húmeda examinada en un laboratorio de Tokio fue mayor que la medida en La Unión en más de $0,1 \text{ g/cm}^3$. Las muestras de lodo fueron selladas en bolsas Ziplock, que fueron colocadas en botellas de plástico selladas. No obstante, el lapso de dos meses desde el sellado en La Unión hasta la apertura en Tokio, puede que haya causado una pequeña evaporación del contenido de agua en las muestras de lodo e incrementado la densidad húmeda. Por tanto, la densidad húmeda medida inmediatamente después del muestreo del fondo marino se emplea como representativa de la densidad in-situ, presentada en la Figura 3.20 y la Figura 3.21.

La Tabla 3.7 muestra los resultados de las pruebas de las características de suelo de muestras verticalmente mezcladas. Puesto que las cinco muestras representan el lodo sobre la superficie de la capa a 1,0 m bajo el fondo marino, contienen mayor cantidad de arcilla que aquellas analizadas en el Estudio SAPI. 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 3.7 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_L (%)	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

(1) Metodología de la predicción 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 lodo fluido de baja densidad se va transformando gradualmente en un lodo muy suave y finalmente en lodo blando.

Los parámetros clave de la consolidación de lodo son su compresibilidad y permeabilidad. Estos son investigados mediante una prueba de sedimentación y una de consolidación a baja presión. En dichas pruebas se emplea un tubo de sedimentación de 0,2 m de diámetro y 2 m de altura. Una mezcla de lodo y agua con un contenido de humedad de 1.000 a 3.000 % se vierte en el tubo de sedimentación. Una vez vertida la mezcla, las partículas de lodo empiezan a sedimentarse y aparece una interfaz entre el agua y el lodo fluido. La interfaz se sedimenta con el tiempo y esta sedimentación se monitorea durante cierto periodo. Las muestras de lodo tomadas de los 5 sitios de A a E fueron sometidas a una prueba de sedimentación por 60 días. El lodo depositado en el fondo del tubo de sedimentación fue sometido a una prueba de consolidación a baja presión. A través de dichas pruebas, fueron estimados los parámetros de compresibilidad y permeabilidad. Ya que las muestras de los cinco sitios dieron valores similares de los parámetros, los valores medios de estos fueron adoptados en el análisis de consolidación.

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. La carga externa como la presión de olas no está tomada en cuenta. El cálculo numérico de la consolidación de lodo ha sido realizado por el Dr. Masaki Kobayashi de Kobayashi SoftTech Co. Ltd.

La consolidación se calcula incrementando la capa de lodo continuamente reduciendo la velocidad de sedimentación. La altura de la capa de lodo recién sedimentado se reduce con la consolidación y la velocidad de sedimentación aumenta por la continua sedimentación. La tasa de aumento se establece por el método de prueba y error. La consolidación de lodo fue analizado

en 180 pasos. Durante el primer paso, se estudia la primera capa de lodo que está hasta arriba. En el segundo paso, se agrega la segunda capa de lodo sobre la primera capa. El proceso se repite hasta completar 180 pasos y de esta manera el espesor y densidad de 180 capas se calculan. Los resultados de las 180 capas se resumen en 10 capas, representando cada capa un promedio de 18 capas de sus respectivas profundidades.

Dos series de cálculo de la consolidación de lodo han sido realizadas. Una serie está destinada a simular el proceso de sedimentación que tuvo lugar en los sitios D y E, indicados en la Tabla 3.6 y la Figura 3.16, con el propósito de 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. Los resultados del cálculo están descritos en Secciones subsecuentes.

(2) Calibración del análisis de consolidación con los datos in-situ

El sitio D indicado en la Tabla 3.6 y la Figura 3.16 está ubicado en la distancia KP 2.92 (L20). Los perfiles verticales de la densidad húmeda de lodo cerca del fondo marino se observan en la Figura 3.21. El cambio de la profundidad con el tiempo y el perfil de la densidad son los objetivos de la calibración del análisis de consolidación.

Cuando el dragado principal en el sitio D fue completado a fines de diciembre de 2008, la diferencia de profundidades entre el interior y el exterior del canal de acceso fue de 7,8 m. Según los resultados de la medición batimétrica, la velocidad de sedimentación fue $v = 0,87$ m/mes a principios de enero de 2009 y $v = 0,25$ m/mes a principios de febrero de 2011. En caso del sitio E, donde el dragado principal fue completado a fines de abril de 2008 con una diferencia de profundidad de 5,9 m, la velocidad de sedimentación fue estimada en $v = 0,66$ m/mes a principios de mayo de 2009 y en $0,08$ m/mes a principios de febrero de 2011.

Teniendo en cuenta la consolidación del lodo depositado, se adopta una velocidad de sedimentación mayor que la medida en los estudios batimétricos. Fueron realizados varios ensayos del cálculo de consolidación con distintas velocidades de sedimentación y las presentadas en la Figura 3.23 fueron seleccionadas para la prueba de calibración.

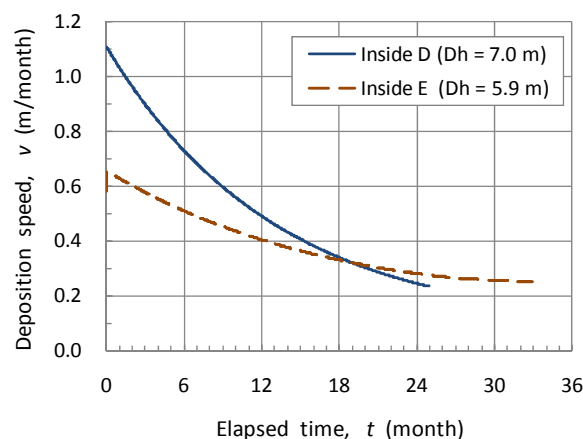


Figura 3.23 Velocidad de sedimentación adoptada en la calibración del análisis de consolidación de lodo

Se supuso que la densidad de lodo fluido arrastrado en el canal sería $\rho_s = 1,100$ g/cm³ en comparación con la del agua marina circundante de $\rho_w = 1,025$ g/cm³. El espesor de lodo depositado estimado fue empleado para calcular la variación de la profundidad media del canal

con el transcurso del tiempo. La Figura 3.24 (a) presenta la profundidad media del canal predicha en comparación con los resultados de las mediciones batimétricas en el sitio D. La profundidad calculada fue mayor que la profundidad actual, lo que indica que la supuesta sedimentación de lodo fluido en el sitio D no fue suficiente para simular el cambio batimétrico actual. Sin embargo, éste fue el mejor caso de entre varias simulaciones de prueba. Aunque hay una diferencia como de 1 m en promedio entre el valor calculado y el de los datos batimétricos, la tendencia del cambio de profundidad calculado coincide con los datos batimétricos.

La evolución del perfil de la densidad húmeda de lodo en el sitio D se muestra en la Figura 3.24 (b). La ordenada es la altura de la capa de lodo sobre el fondo marino. La altura sedimentada correspondiente a una densidad húmeda de $1,100 \text{ g/cm}^3$ representa el espesor total de lodo en las fechas respectivas. La densidad húmeda de lodo indicada en esta figura es la densidad en cada nivel de la altura sedimentada. Por ejemplo, la densidad húmeda de lodo a una altura de 2,0 m sobre el fondo del canal fue $1,13 \text{ g/cm}^3$ en julio de 2009, y luego aumentó a $1,21 \text{ g/cm}^3$ en enero de 2010, $1,24 \text{ g/cm}^3$ en julio de 2010, y $1,26 \text{ g/cm}^3$ en enero de 2011. Con el paso del tiempo, el perfil de la densidad húmeda de lodo se desplaza hacia arriba con pequeños cambios, indicando que el perfil de la densidad húmeda medida desde la superficie de la capa de lodo queda igual y la parte inferior de la capa de lodo obtiene gradualmente una densidad húmeda más alta.

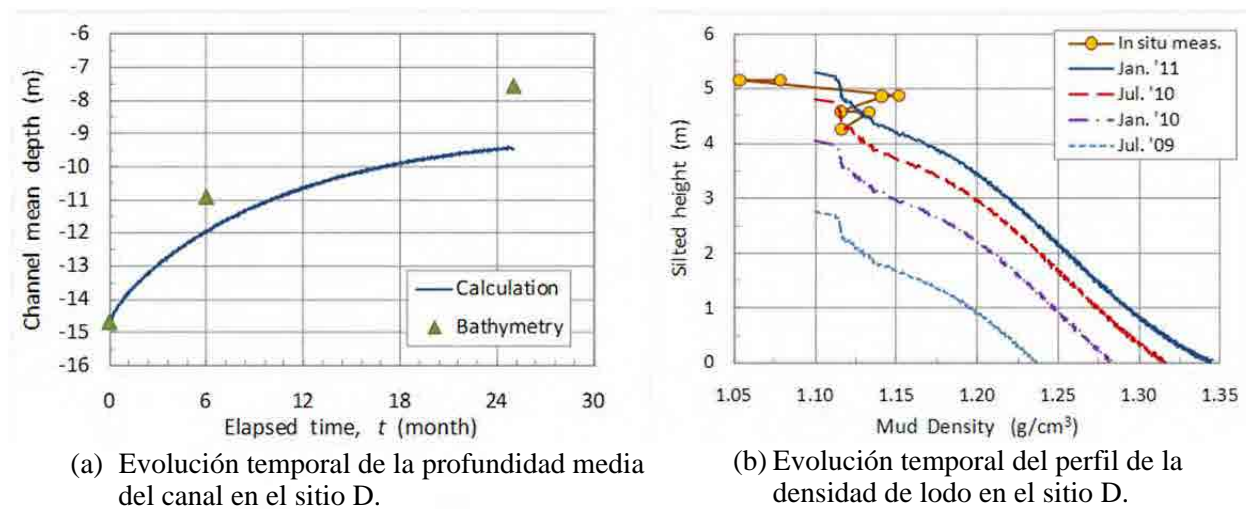


Figura 3.24 Evolución temporal de (a) profundidad media del canal y (b) perfil de densidad húmeda de lodo en el sitio D

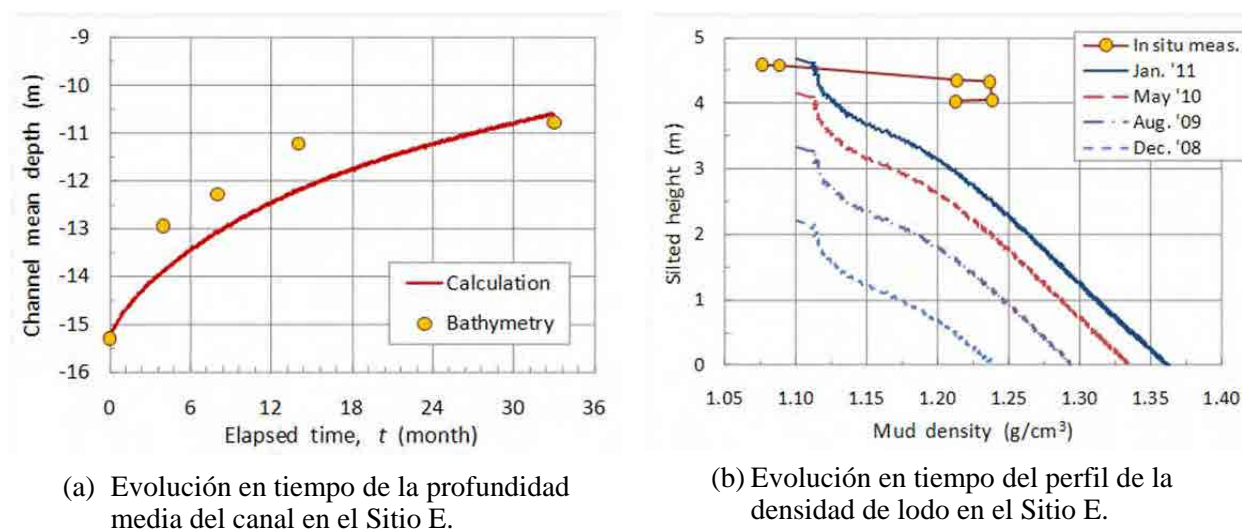


Figura 3.25 Evolución temporal de (a) profundidad media del canal y (b) perfil de densidad húmeda de lodo en el sitio E

Una comparación de la consolidación calculada y los datos in-situ en el sitio E aparece en la

Figura 3.25 (a) para la profundidad media del canal y en la

Figura 3.25 (b) para el perfil de densidad húmeda de lodo. El aumento calculado de la profundidad del canal en la

Figura 3.25 (a) fue más lento que el de los datos in-situ hasta 18 meses después del inicio de la sedimentación, pero el cálculo estimó la profundidad final igual que la resultante de las mediciones batimétricas.

La evolución del perfil de la densidad húmeda de lodo en el sitio E indicada en la

Figura 3.25 (b) es similar a la del sitio D indicada en la Figura 3.24 (b), pero la densidad húmeda de lodo en el fondo del canal en el sitio E es ligeramente mayor que la del sitio D, a causa de un largo periodo de sedimentación de 33 meses en comparación con el de 25 meses en el sitio D. La alta densidad húmeda de lodo por encima de $1,2 \text{ g/cm}^3$ cerca del fondo marino, medida in-situ, no pudo ser simulada con el análisis de consolidación de lodo. Se piensa que la discrepancia fue causada por una carga adicional de la presión subacuática por el oleaje persistente a lo largo del canal de acceso exterior.

Aunque los resultados mostrados en la Figura 3.24 y la

Figura 3.25 exponen alguna diferencia entre el cálculo con el análisis de consolidación y los datos in-situ, se puede decir que el análisis de consolidación aclara el proceso de sedimentación con la evolución del incremento de la densidad húmeda de lodo.

(3) Predicción de sedimentación de lodo y cambio de densidad después del dragado de mantenimiento

Con la confirmación de la capacidad de simular el proceso de sedimentación de lodo, presentada en el punto (2), se realizaron las predicciones del proceso de sedimentación de lodo y la evolución de la densidad húmeda de lodo después del dragado de mantenimiento. Se supuso que la densidad húmeda de lodo fluido arrastrado en el canal sería $1,100 \text{ g/cm}^3$ en comparación con

la densidad de agua marina de $1,025 \text{ g/cm}^3$. Teniendo en cuenta varias profundidades de dragado, la diferencia de profundidad entre el canal dragado y la margen exterior se establece en los cuatro niveles de $\Delta h = 3,0, 4,5, 6,0$, y $7,5 \text{ m}$. La Figura 3.26 muestra la velocidad de sedimentación adoptada en el análisis de consolidación.

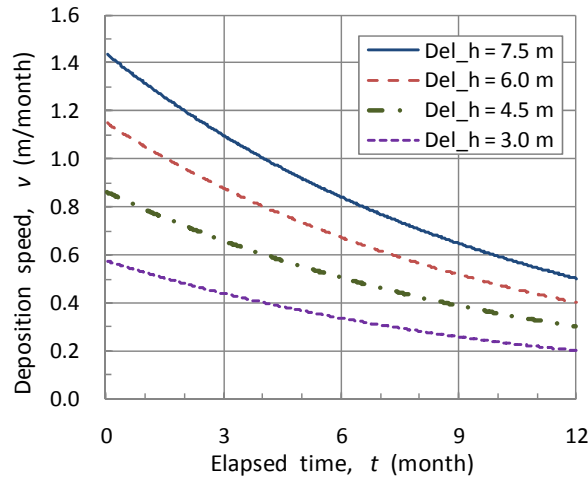
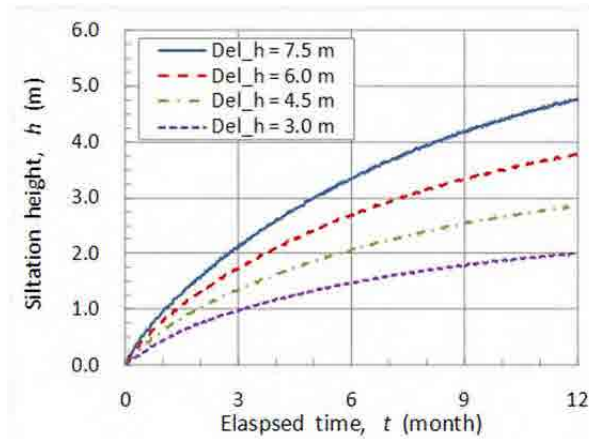


Figura 3.26 Velocidad de sedimentación adoptada en la predicción de la sedimentación de lodo después del dragado de mantenimiento

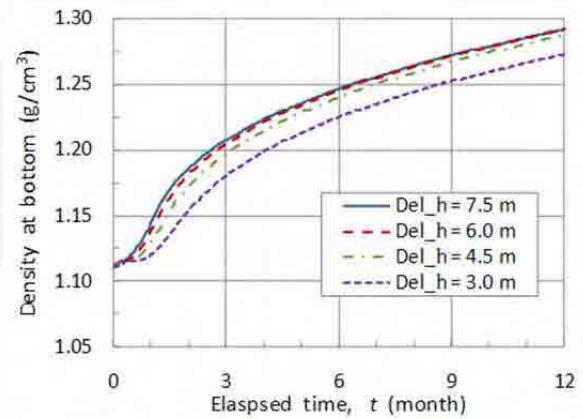
La evolución temporal de la altura de sedimentación predicha aparece en la Figura 3.27 (a). la altura de sedimentación calculada con la Ecuación (5.2) es $h = 2,2, 3,3, 4,4$, y $5,5 \text{ m}$ a los 12 meses del dragado para la diferencia inicial de profundidad de $\Delta h_0 = 3,0, 4,5, 6,0$, y $7,5 \text{ m}$, respectivamente. La altura de sedimentación predicha es ligeramente más baja que la estimada, pero la diferencia puede ser considerada como permisible para una inspección de la evolución temporal de la densidad húmeda de lodo.

La evolución temporal de la densidad húmeda de lodo en el fondo del canal aparece en la Figura 3.27 (b). El aumento de la densidad húmeda de lodo del fondo es más rápido en los primeros tres meses y el efecto de la diferencia inicial de profundidad es poca. El aumento de la densidad húmeda de lodo con el tiempo en función de la altura de sedimentación se muestra en la Figura 3.28. Ésta es una combinación de los datos representados gráficamente en la Figura 3.27 (a) y (b). Las cuatro curvas en la Figura 3.28 corresponden a los cuatro niveles de la diferencia inicial de profundidad, y los cuatro símbolos indican los datos de la densidad y la altura en el lapso de 3, 4, 6 y 12 meses después del dragado de mantenimiento. La Figura 3.27 (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.

La evolución temporal del perfil de la densidad húmeda de lodo se muestra en la Figura 3.29 y la Figura 3.30 para la diferencia inicial de profundidad de $\Delta h_0 = 3,0, 4,5, 6,0$ y $7,5 \text{ m}$, respectivamente. El patrón de la evolución del perfil de densidad es casi igual independientemente de la diferencia inicial de profundidad.



(a) Evolución temporal de la altura de sedimentación después del dragado de mantenimiento.



(b) Evolución temporal de la densidad húmeda de lodo del fondo después del dragado de mantenimiento.

Figura 3.27 Evolución temporal de (a) altura de sedimentación y (b) densidad húmeda de lodo del fondo después del dragado de mantenimiento

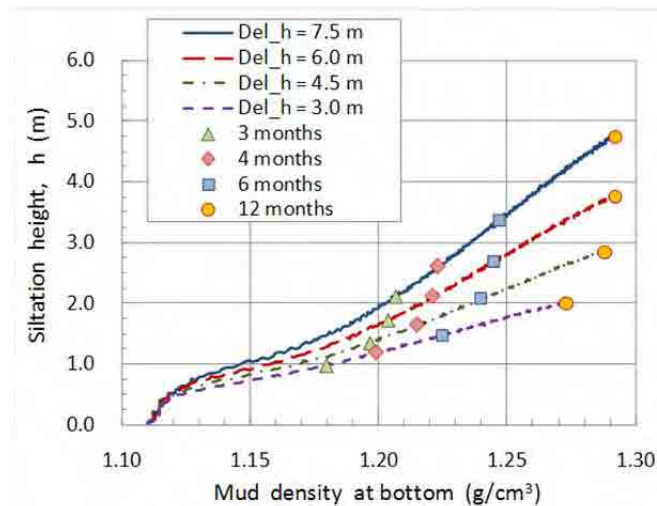
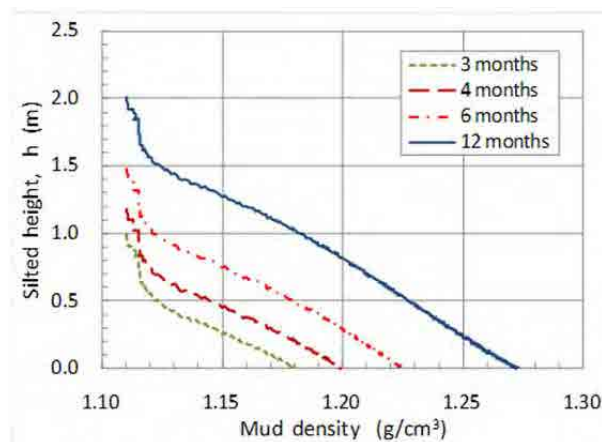
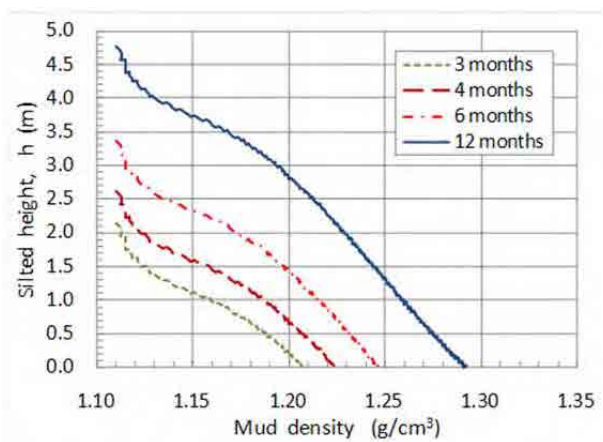


Figura 3.28 Evolución temporal de la densidad húmeda de lodo del fondo versus la altura de sedimentación después del dragado de mantenimiento



(a) Evolución temporal del perfil de la densidad húmeda de lodo con $\Delta h_0 = 3,0$



(b) Evolución temporal del perfil de la densidad húmeda de lodo con $\Delta h_0 = 4,5$

Figura 3.29 Evolución temporal del perfil de la densidad húmeda de lodo.

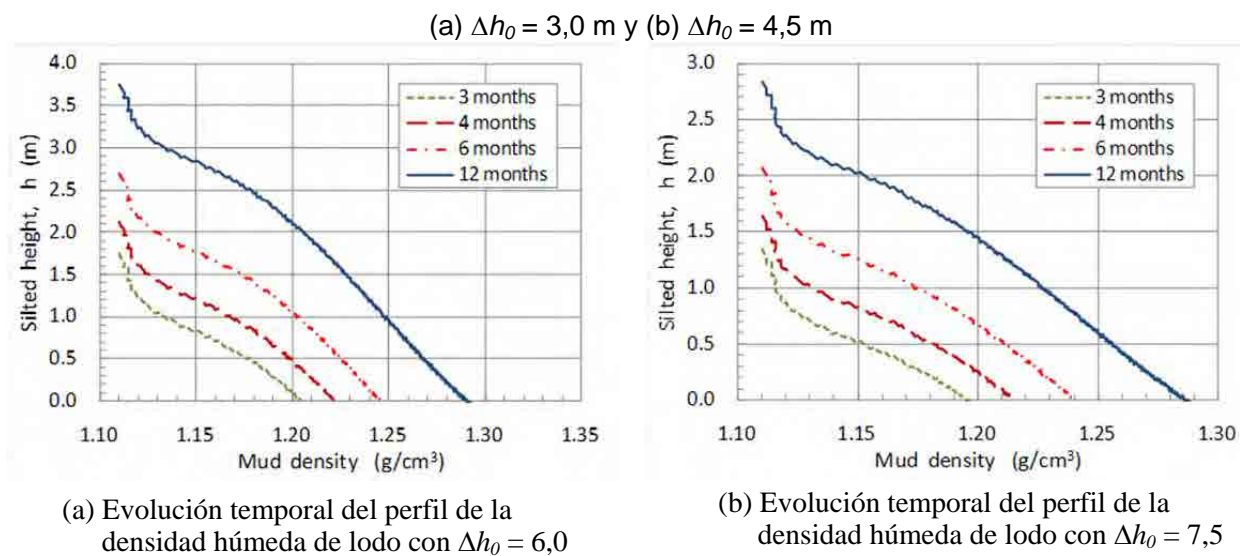


Figura 3.30 Evolución temporal del perfil de la densidad húmeda de lodo.

(a) $\Delta h_0 = 6,0$ m y (b) $\Delta h_0 = 7,5$ m

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 la densidad húmeda límite para definir el fondo náutico.

En el exterior del canal, la densidad húmeda de lodo excede el valor límite a una profundidad de 0,4 m debajo del fondo marino en los sitios A y B, tal como se observan en la Figura 3.20. Dentro del canal de acceso interno, se excede la densidad húmeda límite a las profundidades de 0,5 m y más de 1,0 m en los sitios C y D respectivamente, tal como se muestra en la Figura 3.21. Dentro del canal de acceso externo en el sitio E, la profundidad para la densidad húmeda límite es 0,4 m.

Comparando con los datos de la densidad in-situ, el análisis de consolidación predice un incremento lento de la densidad húmeda de lodo con la profundidad sobre el fondo marino. El resultado de la comparación presentado en la

Figura 3.25 (b) es un ejemplo. Una razón es la ausencia de carga adicional como el esfuerzo cortante por las mareas y la presión subacuática por la acción del oleaje.

Para la evaluación del espesor de la capa de lodo con una densidad húmeda por debajo de $\rho_s = 1.200 \text{ kg/m}^3$, 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 $h = 1,0$ 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 el presente 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 unos 0,5 m en el canal externo y cerca de un 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 diferenciando las áreas de la dársena y de los canales interno y externo. En la Tabla 4.1 están listados los periodos de dragado. Los datos fueron seleccionados para su análisis a partir de estos datos batimétricos, teniendo en cuenta el periodo de dragado y los tiempos de mediciones batimétricas.

Los datos batimétricos obtenidos recientemente, en julio de 2013, fueron parcialmente incluidos en los análisis.

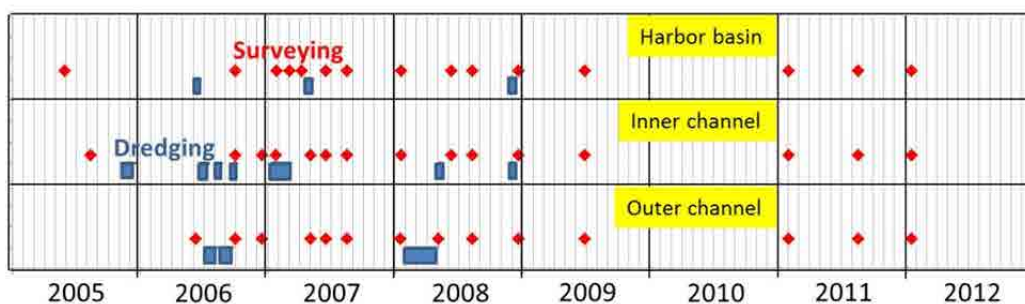


Figura 4.1 Periodos de dragado y tiempos de mediciones batimétricas

Tabla 4.1 Periodos de implementación de dragado

Ubicación del dragado	Periodo de dragado
Dársena	Del 16 al 22 de junio de 2006, del 25 de abril al 11 de mayo de 2007 y del 25 de noviembre al 10 de diciembre de 2008
Canal interno	Del 17 de noviembre al 21 de diciembre de 2005, del 22 de junio al 17 de julio de 2006, del 13 al 22 de agosto de 2006, del 25 de septiembre al 6 de octubre de 2006, del 12 de enero al 10 de marzo de 2007, del 5 al 15 de mayo de 2008 y del 25 de noviembre al 10 de diciembre de 2008
Canal externo	Del 17 de julio al 12 de agosto de 2006, del 23 de agosto al 24 de septiembre de 2006 y del 30 de enero al 4 de mayo de 2008

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. Tanto las mediciones batimétricas como el dragado se repitieron irregularmente y el dragado. Observando estas figuras, se puede entender fácilmente que la sedimentación se da después del dragado.

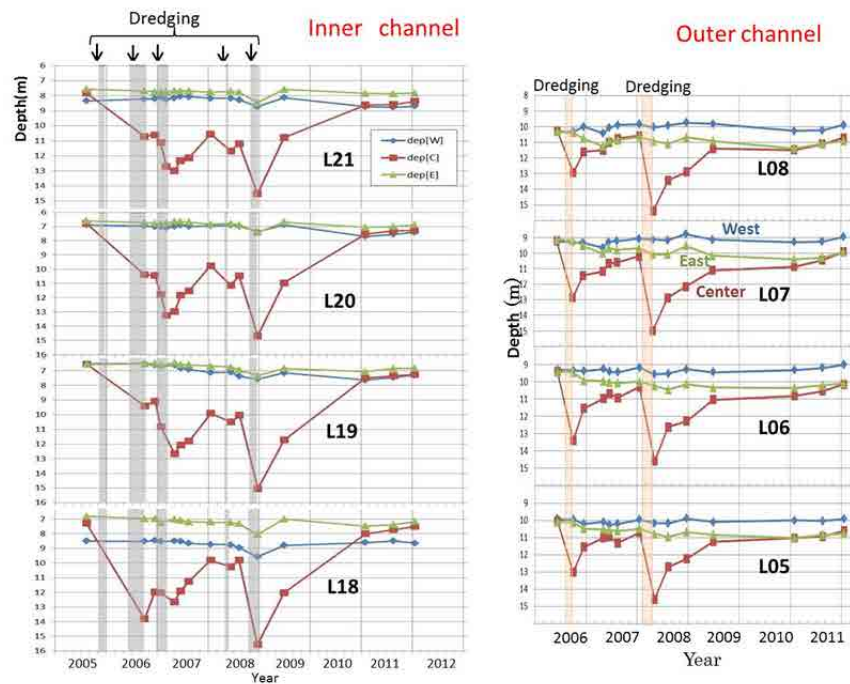


Figura 4.2 Cambio de profundidad de agua en los canales interno y externo

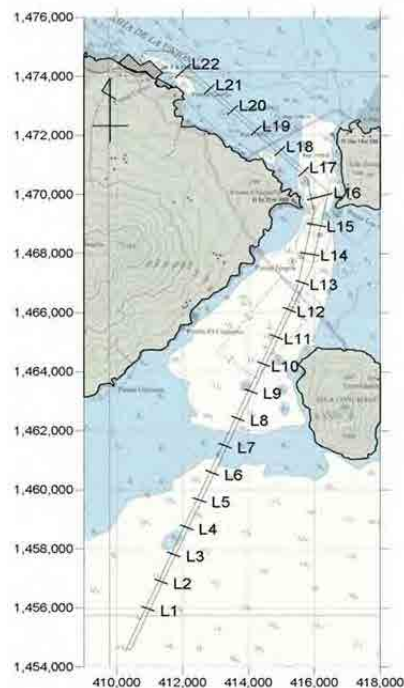


Figura 4.3 Líneas de mediciones batimétricas en el canal de acceso

Como un primer intento, se consideró un modelo empírico de predicción de sedimentación basado en los datos batimétricos obtenidos después del último dragado. Su formulación hace uso de los datos sólo después de haber completado el dragado principal. Para el canal de acceso externo se emplearon siete juegos de datos de las mediciones batimétricas: de abril de 2008, agosto de 2008, diciembre de 2008, junio de 2009, febrero de 2011, agosto de 2011 y enero de 2012; para el canal de acceso interno se utilizaron cinco juegos de datos de las mediciones batimétricas: de diciembre de 2008, junio de 2009, febrero de 2011, agosto de 2011 y enero de 2012.

La Figura 4.4 muestra la relación entre la velocidad de sedimentación del canal de acceso y la diferencia de profundidad media h (m) entre las profundidades dentro y fuera del canal. La definición de profundidades de agua se muestra en la Figura 4.5. La velocidad de sedimentación v en las unidades de m/mes se calcula como el incremento de la profundidad media del canal durante dos mediciones batimétricas sucesivas dividido entre el periodo comprendido entre las dos mediciones. La diferencia de profundidad media h está dada en metros. La profundidad de agua fuera del canal se define como el promedio de las profundidades en las márgenes occidental y oriental. La profundidad de agua dentro del canal se considera como el valor promedio entre dos mediciones batimétricas. La leyenda como por ejemplo: "Externo: Dt = 4" indica los datos del canal de acceso externo dentro del lapso de 4 meses después del dragado principal, es decir, los datos de las mediciones batimétricas de agosto de 2008. El canal externo incluye los datos de L01 a L12, mientras que el canal interno incluye los datos de L18 a L21.

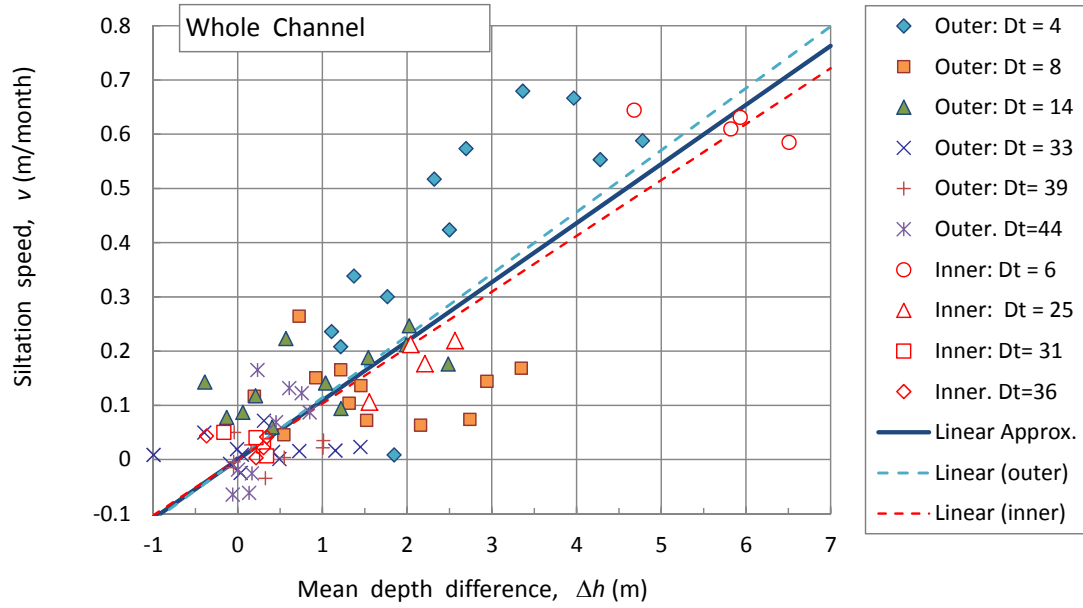


Figura 4.4 Velocidad de sedimentación en función de la diferencia de profundidad dentro y fuera del canal de acceso

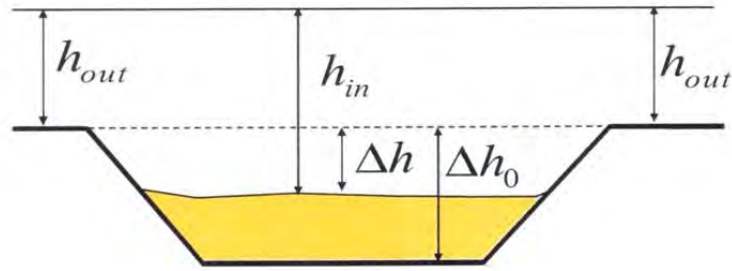


Figura 4.5 Definición de las profundidades de agua

A pesar de que la dispersión de los datos es grande, una recta de la regresión lineal de las profundidades al interior y exterior del canal de acceso es tentativamente la siguiente:

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

en donde el coeficiente de determinación es $R^2 = 0.6503$.

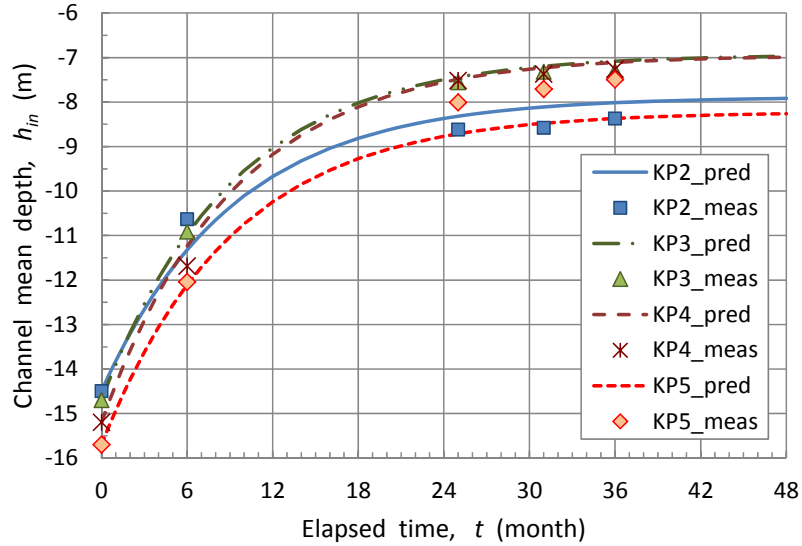
Las fórmulas empíricas de la Ec. (4.1) se integran fácilmente a partir de la derivación de una fórmula de predicción de la diferencia de profundidad Δh como se muestra a continuación:

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

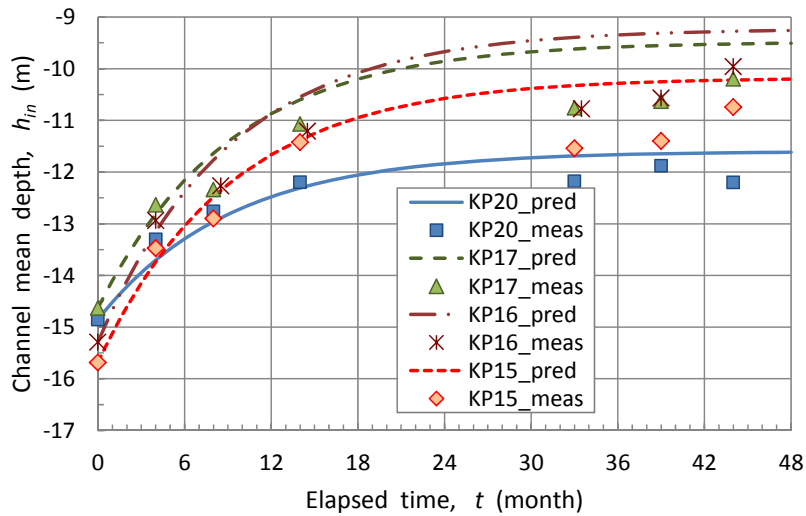
en donde a a se le asigna el valor de 0,109 para el canal de acceso. Este valor se determina considerando todos los datos disponibles.

La aplicación de la Ec. (4.2) permite predecir el cambio de profundidad media del canal de acceso. En la Figura 4.6 se comparan las profundidades medias predichas y medidas en

secciones seleccionadas en los canales interno y externo. La aplicación de la fórmula de predicción conlleva a una mejor concordancia con los datos de profundidades medidas. En el caso del canal externo en la Figura 4.6 (b), las predicciones para las secciones KP16 (L07) y KP17 (L06) sobreestiman los resultados medidos.



(a) Cambio de profundidad predicha y medida del canal interno



(b) Cambio de profundidad predicha y medida del canal externo

Figura 4.6 Comparación de la profundidad del canal predicha y medida en líneas seleccionadas de mediciones batimétricas

4.3 Análisis de los Procesos de Sedimentación en el Canal

En el Capítulo 4.2, como un primer paso para predecir la sedimentación, se formula el modelo empírico (Ec. (4.2)), el cual es la función exponencial (en lo sucesivo denominado "modelo exponencial original"). Con el fin de mejorar este modelo, CEPA ha intentado conducir el redragado usando un rastrillo in situ. Sin embargo, no se han obtenido los datos necesarios para mejorar el modelo exponencial original, como se ha explicado (refiérase al Anexo C.3).

Por lo que no hay nada más que hacer al respecto. Los datos batimétricos existentes se han analizado para entender los procesos de sedimentación y también para buscar la posibilidad de mejorar el modelo.

4.3.1 Sedimentación en el Canal Interno

La Figura 4.7 muestra los cambios de tirante de agua en las líneas de referencia de la L21 a la L18; en dicha figura la línea marrón representa el tirante de agua en el canal interno, la línea azul y la línea verde, son los tirantes en las márgenes occidental y oriental del canal interno, respectivamente. Los periodos de dragado se indican con las franjas grises. Dentro de estos datos batimétricos, los del Periodo A y del Periodo B fueron seleccionados para el análisis debido a que la obras de dragado se suspendieron en estos dos periodos.

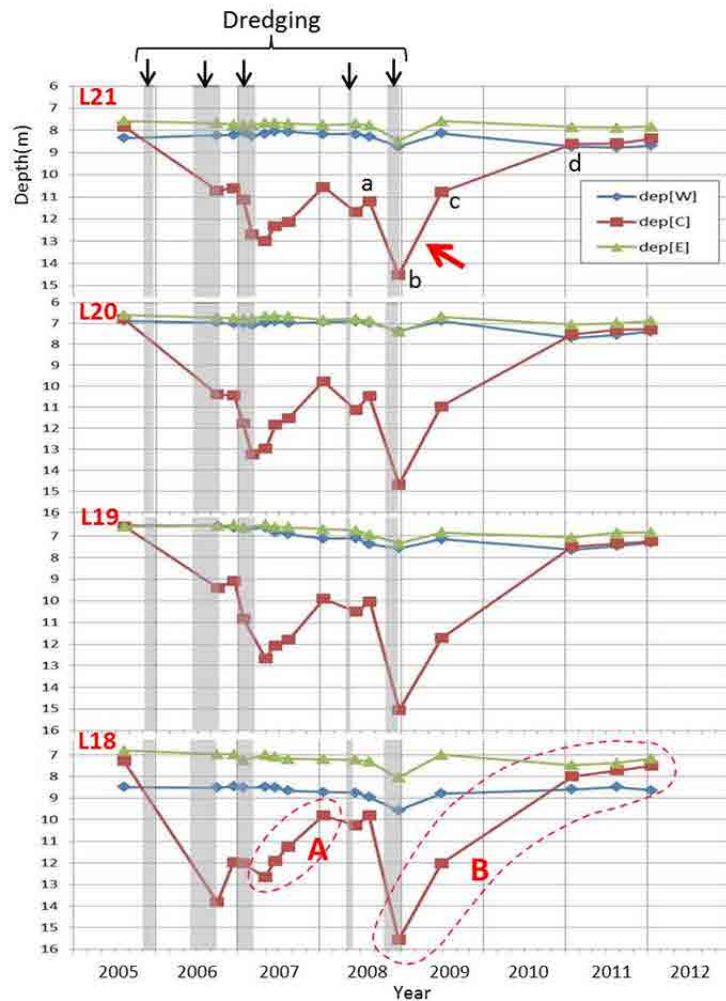


Figura 4.7 Cambios del tirante de agua en las líneas de referencia de la L21 a la L18 en el canal interno

En la Figura 4.7, prestando atención al Periodo A, el tirante de agua cambia linealmente en todas las líneas de referencia. Es decir, la velocidad de sedimentación es constante. Por otro lado, el tirante de agua en el Periodo B se hizo menos profundo a velocidades relativamente altas, inmediatamente después del dragado; y la velocidad disminuyó conforme el tirante de agua se redujo. En resumen, el tirante de agua cambió exponencialmente. La tendencia del cambio exponencial del tirante de agua en el Periodo B se identifica en cada línea de referencia en la Figura 4.7.

A continuación se examina la razón por la cual el tirante de agua cambia exponencialmente en el Periodo B. La velocidad de sedimentación fue más rápida inmediatamente después del dragado, lo cual se denota con una flecha de color rojo para los datos de la línea de referencia L21, como ejemplo, en la Figura 4.7. Con el fin de verificar la situación en detalle, se han superpuesto tres secciones transversales en la Figura 4.8 para la línea de referencia L21. Éstas son la sección antes del dragado de agosto de 2008 (denotada con "a" en la Figura 4.7), 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" (agosto de 2008) y "c" (junio de 2009) son muy similares entre sí. Sin embargo, la sección transversal "b" (diciembre de 2008) 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; ésta se muestra

con círculos de líneas discontinuas de color rojo en la Figura 4.8. 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.

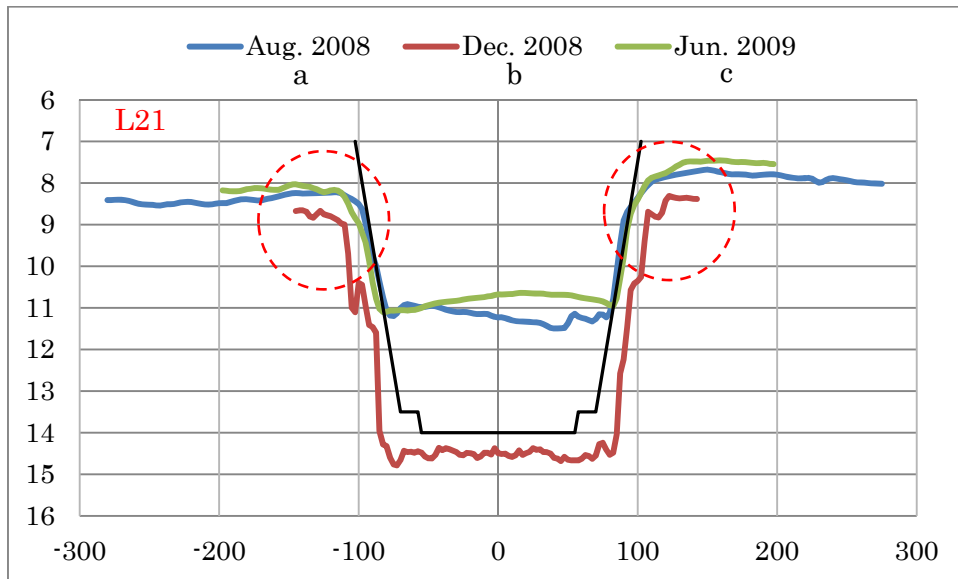


Figura 4.8 Superposición de secciones transversales a lo largo de L21

La Figura 4.9 muestra una superposición similar de las secciones transversales a lo largo de las restantes líneas de referencia de la L20 a la L18. Las extrañas elevaciones de las partes superiores de los taludes, señaladas en la Figura 4.8, se identifican en cada línea de referencia.

Volviendo a observar la Figura 4.7 se entiende que los tirantes de agua en las márgenes occidental y oriental se mantuvieron estables durante 6 años, de 2005 a 2011, excepto un caso, en diciembre de 2008, del cual los valores de los datos son menores. Por lo tanto, se concluye que hubo algunos errores sistemáticos tales como una inadecuada corrección del nivel de la marea o un error en el nivel de referencia.

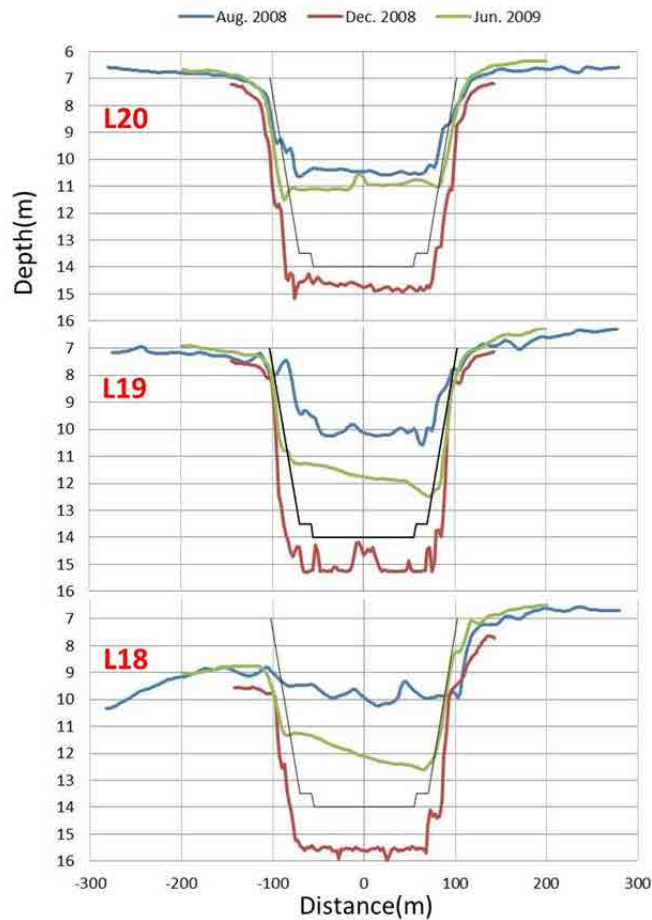


Figura 4.9 Superposición de secciones transversales a lo largo de las líneas de referencia de la L20 a la L18

En la Figura 4.10, los valores de los datos de la sección transversal inmediatamente después del dragado ("b" en la Figura 4.7) a lo largo de la línea de referencia L21 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.

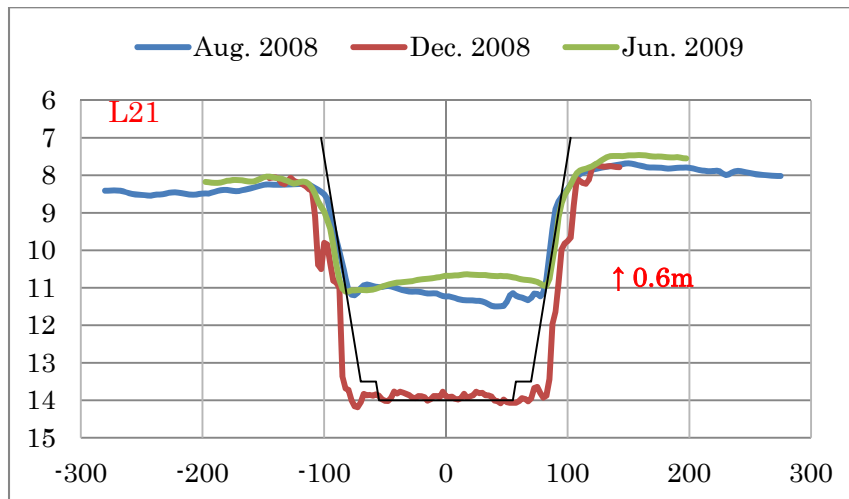


Figura 4.10 Superposición de las secciones transversales en L21 después de la corrección (Los valores de los datos de la sección transversal de diciembre de 2008 se han incrementado 0.6 m)

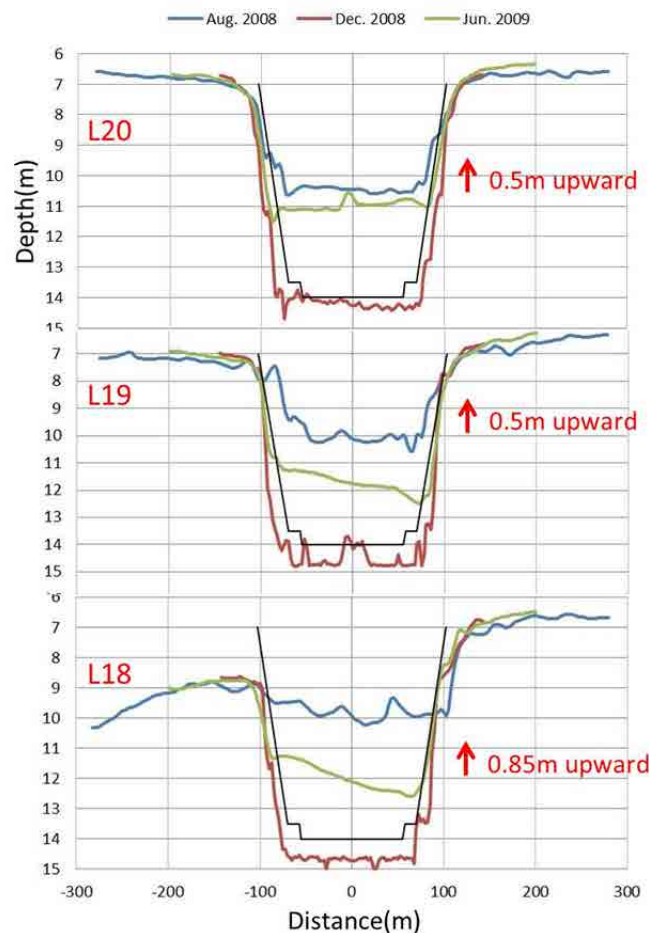


Figura 4.11 Superposición de las secciones transversales a lo largo de las líneas de referencia de la L20 a la L18, después de incrementar los valores de los datos de diciembre de 2008

En la Figura 4.11, las secciones transversales a lo largo de las líneas de referencia de la L20 a la L18 están superpuestas de la misma manera, incrementando los datos batimétricos obtenidos en diciembre de 2008. Los valores con los que se incrementaron los datos para cada línea de referencia se muestran en la Figura 4.11. Como resultado, la coincidencia entre las secciones transversales, en general, también ha mejorado. La corrección por el nivel de la marea puede ser

que no sea apropiada para los datos batimétricos obtenidos en diciembre de 2008.

A continuación, se examina el tirante de agua medio medido en febrero de 2011, el cual se denota "d" en la Figura 4.7. El tirante de agua dentro del canal interno coincide aproximadamente con el de fuera de éste. Por lo tanto, hay dos posible interpretación respecto a los datos de "d".

- a. El canal se azolvó en febrero de 2011.
- b. El canal ya estaba azolvado en febrero de 2011.

En este último caso, es necesario determinar la fecha cuando el canal se azolvó, la cual pudo haber sido algún día entre "c" y "d" en la Figura 4.7. Sin embargo, es casi imposible determinar la fecha de la completa sedimentación debido a que no hay más datos ni información en la actualidad. Es muy conveniente retomar y continuar con las mediciones de sedimentación.

En la Figura 4.12, los datos han sido corregidos a manera de mejorarlos; los valores de los tirantes de agua en diciembre de 2008 ("b") se han incrementado y la fecha de completa sedimentación se ha atrasado de febrero de 2011 ("d") a algún día entre ("c") y ("d") en la Figura 4.12. Los valores de incremento están en función de los resultados examinados de la Figura 4.10 y de la Figura 4.11; mientras que no existe ninguna evidencia que justifique el atraso en el tiempo indicado en la Figura 4.12. El propósito de esta figura es demostrar la posibilidad de que el cambio del tirante de agua es constante, o que la velocidad de sedimentación es constante también en el Periodo B. Si ese es el caso, las características de sedimentación en los periodos A y B no se contradicen entre sí.

La hipótesis de que la velocidad de sedimentación sea constante independientemente del tirante de agua en el canal, tiene muy importantes significados. En resumen, aún en el caso en el que la profundidad del canal que se tenga como objetivo mantener, aumente, sólo el volumen de dragado inicial aumentaría, pero el volumen de dragado de mantenimiento no lo haría. Con el fin de confirmar la validez de esta hipótesis, es fundamentalmente importante retomar y continuar las mediciones en el canal.

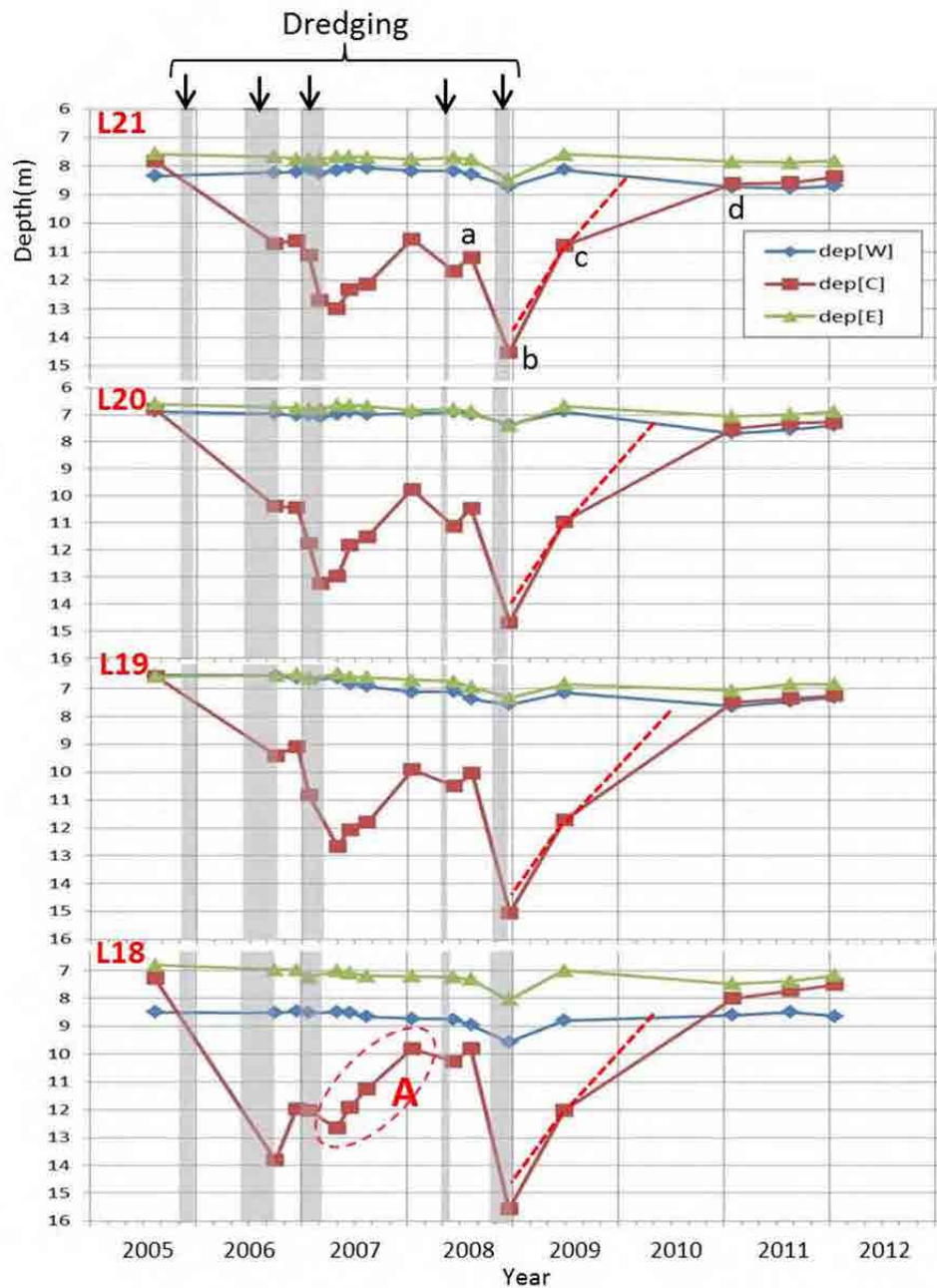


Figura 4.12 Correcciones de los datos de tirante de agua en el canal interno

4.3.2 Sedimentación en el Canal Externo

La Figura 4.13 muestra la ubicación de las líneas de referencia en el canal externo.

La Figura 4.14 muestra los cambios de los tirantes de agua en las líneas de referencia de la L08 a la L05; en esta figura la línea marrón representa el tirante de agua medio en el canal externo, la línea azul y la línea verde, representan los tirantes en las márgenes occidental y oriental del canal externo, respectivamente. Los periodos de dragado están indicados con franjas color naranja.

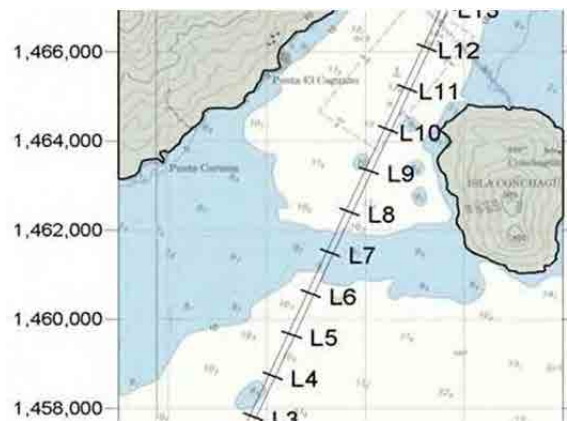


Figura 4.13 Ubicación de las líneas de referencia en el canal externo

Ya que todos los cambios de tirante de agua en las líneas de referencia de la L08 a la L05 tienen casi las mismas características, la de L07 será explicada como un ejemplo representativo. 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.

La profundidad de completa sedimentación en el canal externo predicho aplicando el modelo exponencial original en el canal externo es casi 1 metro menos profundo que la profundidad real. Por lo tanto, la causa de la discrepancia entre la profundidad calculada y la real es examinada.

Como se observa en la Figura 4.14, en junio de 2006, antes del dragado, tres tipos de tirantes son iguales: el tirante de agua medio en el canal externo y los tirantes de agua en las márgenes occidental y oriental fuera del canal. 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.

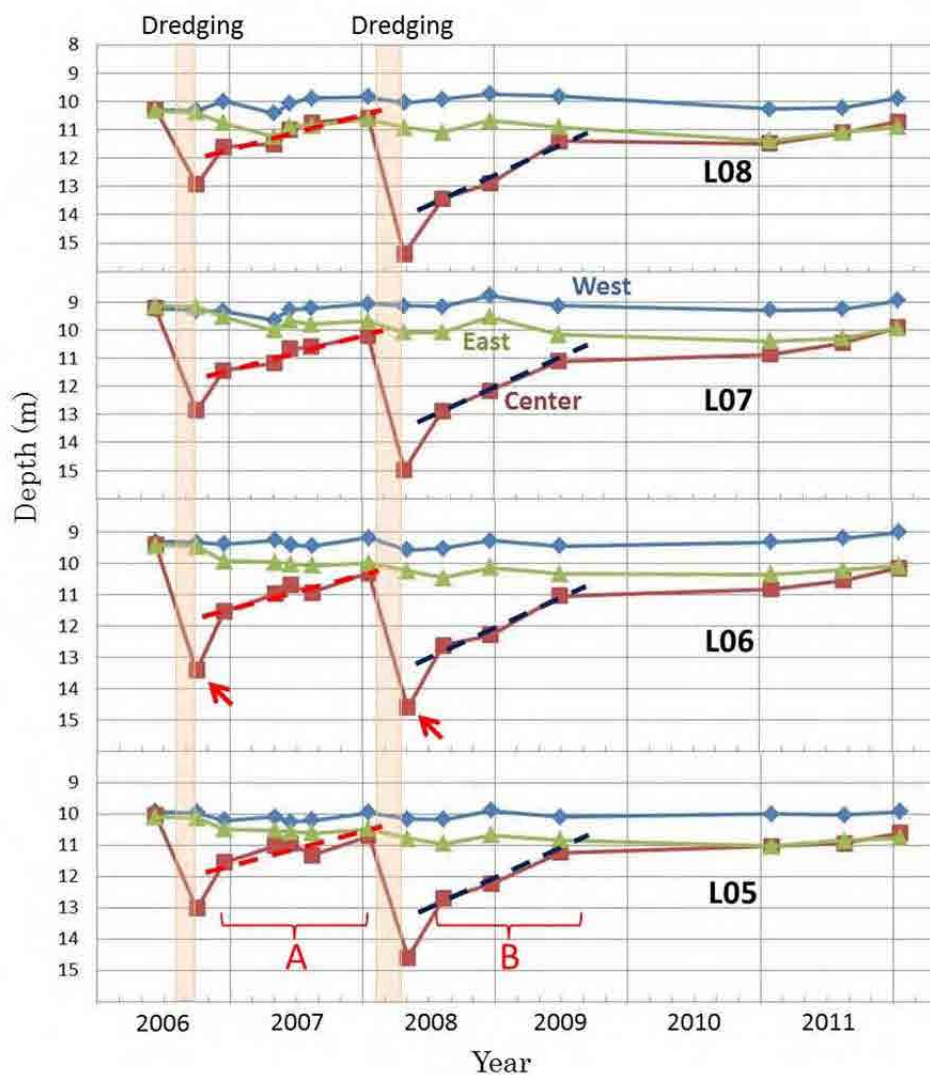


Figura 4.14 Cambios del tirante de agua en las líneas de referencia de la L08 a la L05 en el canal externo

A continuación, la característica de la sección transversal en completa sedimentación es examinada para las líneas de referencia de la L08 a la L05 en el canal externo. Los periodos de dragado en el canal externo y las fechas de los datos batimétricos que se han considerado se muestran en la Figura 4.15. Los tres tipos de datos batimétricos que se han utilizado son:

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

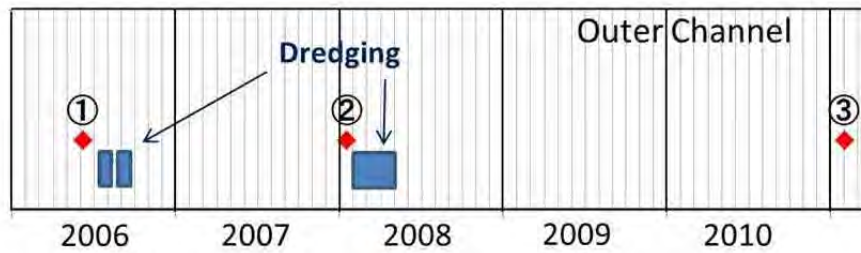


Figura 4.15 Períodos de dragado en el canal externo y los datos batimétricos considerados

La Figura 4.16 muestra la superposición de las tres secciones transversales a lo largo de las líneas de referencia de la L08 a la L05. La línea negra indica una sección planeada del canal, para la cual se llevaron a cabo los dragados de 2006 y 2008. Parece que la completa sedimentación se produjo dos veces en todas las líneas de referencia, y sus características son cualitativamente las mismas. Por lo tanto, la característica de sedimentación a lo largo de la línea de referencia L07 será explicada como un ejemplo representativo.

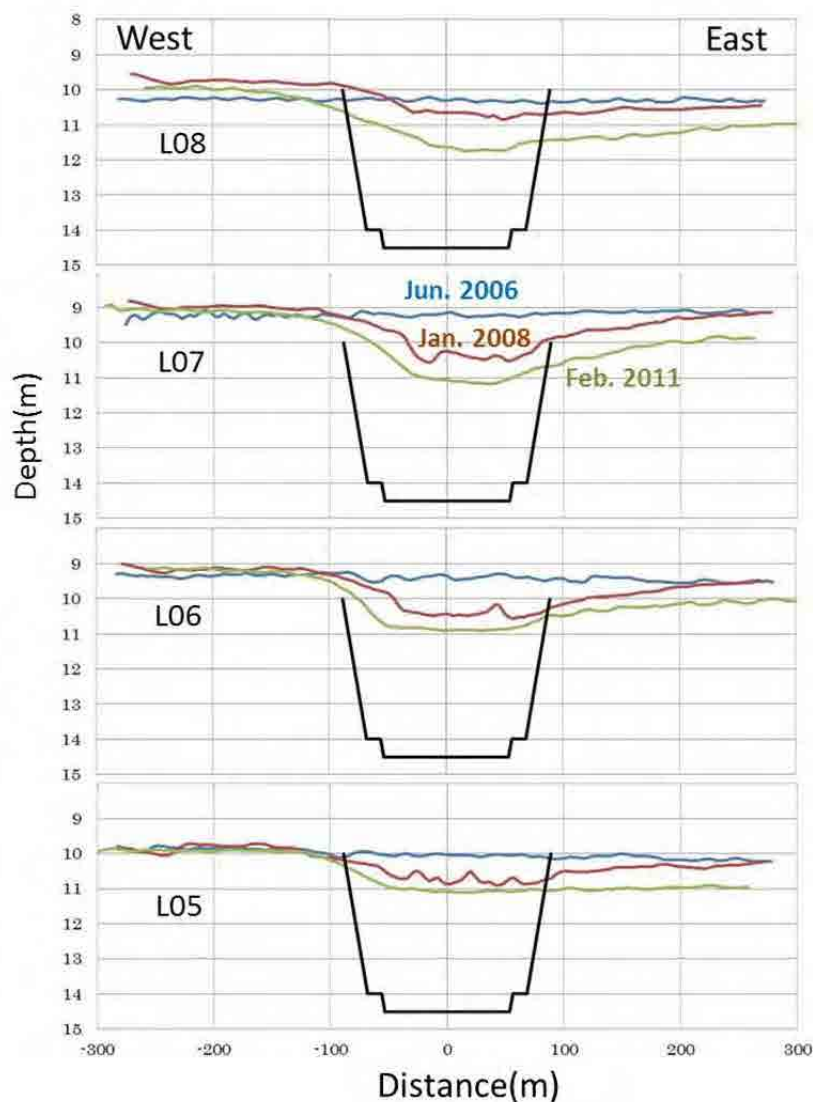


Figura 4.16 Situación de completa sedimentación a lo largo de L08 a L05 en el canal externo

A lo largo de la línea de referencia L07, 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, aproximadamente 1 año y 4 meses después del dragado, el canal externo estaba casi completamente azolvado. El volumen de sedimentación era mayor en la zona occidental que en la zona oriental del canal. Los sedimentos se depositaron asimétricamente dentro del canal. Fuera del canal, el cambio en la batimetría del fondo marino también fue asimétrica. El fondo marino no cambió, se mantuvo estable, en la zona Oeste desde el punto de -100 metros; mientras que en la zona Este, el fondo marino fue erosionado por enero de 2008 y después aún más por febrero de 2011. Estas características también son identificadas en las secciones transversales a lo largo de las restantes líneas de referencia. 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. Esta condición debe ser considerada en el modelo exponencial original.

Por otra parte, ya que la sedimentación tiene lugar desde el Oeste, lo que hace que el canal se estreche, puede ser que se requiera un dragado extra en la dirección Oeste para ampliar el ancho del canal en un dragado futuro.

Pasemos al siguiente tema de sedimentación rápida. Como ya se ha explicado, inmediatamente después del dragado, el tirante de agua en el canal externo rápidamente se hace menos profundo. Sin embargo, en el periodo siguiente, es decir, en el Periodo A y Periodo B de la Figura 4.14, los tirantes de agua se hacen gradualmente menos profundos a una velocidad constante, como la que se indica aproximadamente por las líneas rectas discontinuas. Las líneas rectas aproximadas tienen la misma pendiente para cada línea de referencia en el Periodo A, y la línea aproximada en el Periodo B tiene otra pendiente, la cual es la misma para cada línea de referencia en el Periodo B.

Tomando en cuenta esta situación, se puede desarrollar un nuevo modelo de predicción de la velocidad de sedimentación, llamado modelo de predicción lineal de velocidad constante de sedimentación. Sin embargo, existe un gran obstáculo que no acepta la introducción del nuevo modelo. Si las líneas aproximadas del Periodo A y Periodo B son extrapoladas hacia el pasado, justamente al completar el dragado, existen grandes diferencias entre las líneas extrapoladas y los tirantes de agua medidos, los cuales se indican con flechas rojas en la Figura 4.14. Los tirantes de agua medidos son más profundos. Por lo tanto, existe el peligro de que el modelo lineal subestime la velocidad de sedimentación inmediatamente después del dragado.

4.3.3 Consideraciones Físicas para la Sedimentación Rápida Inmediatamente después del Dragado

Antes de entrar en la discusión sobre el proceso de sedimentación rápida, la sedimentación lenta a velocidad constante es examinada. Con base en la característica de la sedimentación observada en la Figura 4.16, el proceso de sedimentación puede ser conceptualmente explicado de la siguiente manera.

La Figura 4.17 muestra la batimetría del fondo marino antes de la excavación del canal. Se supone que el fondo marino es plano y que el sedimento es transportado de izquierda a derecha. En el segmento de control B, si el volumen de entrada del sedimento transportado en el segmento de control B es igual al volumen de salida de éste, el fondo marino no cambia. En resumen, se trata de un equilibrio dinámico. La misma situación se establece en los segmentos de control A y C.

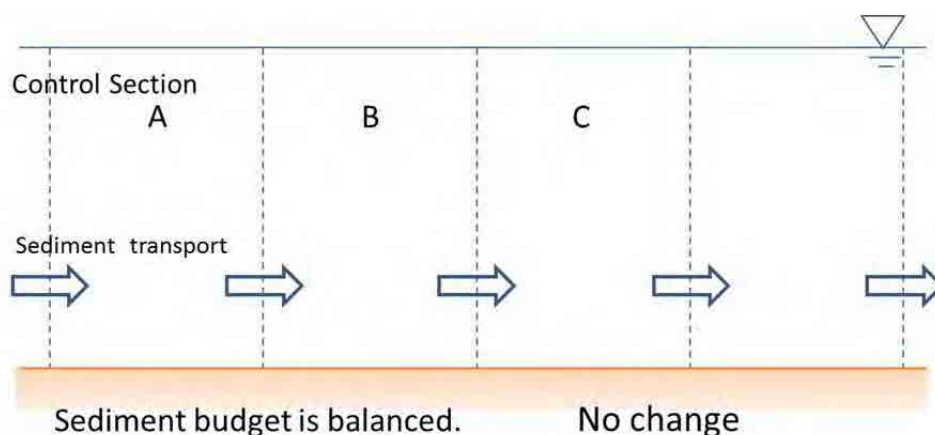


Figura 4.17 Diagrama conceptual de la condición de equilibrio dinámico antes del dragado
Consideremos la condición en la que el canal está construido en el segmento de control B,

mostrado en la Figura 4.18. Los volúmenes de ingreso y salida de sedimento en el segmento de control A son los mismos que antes. El equilibrio dinámico se sigue manteniendo aún en el segmento de control A y el fondo marino no varía. El sedimento transportado dentro del segmento de control B se deposita en el canal, por lo que el volumen de salida de sedimento disminuye. Como resultado, el volumen de sedimento transportado dentro del segmento C se reduce. El volumen de sedimento transportado saliendo del segmento de control C es el mismo que antes. El equilibrio del volumen de ingreso y salida de sedimento se pierde y el fondo marino se erosiona en el segmento de control C.

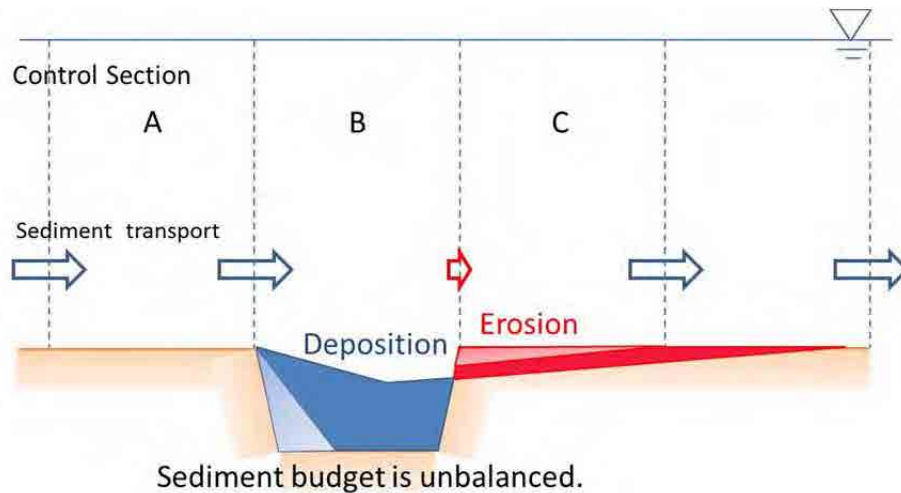


Figura 4.18 Diagrama conceptual de sedimentación en el canal externo

La Figura 4.19 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 los trabajos de dragado se suspendieron. Con los cambios en las secciones transversales, se puede observar el proceso de acumulación de sedimento en la margen occidental y la evolución de la erosión en la margen oriental. Un nuevo conocimiento se puede obtener a partir de la Figura 4.19: 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.

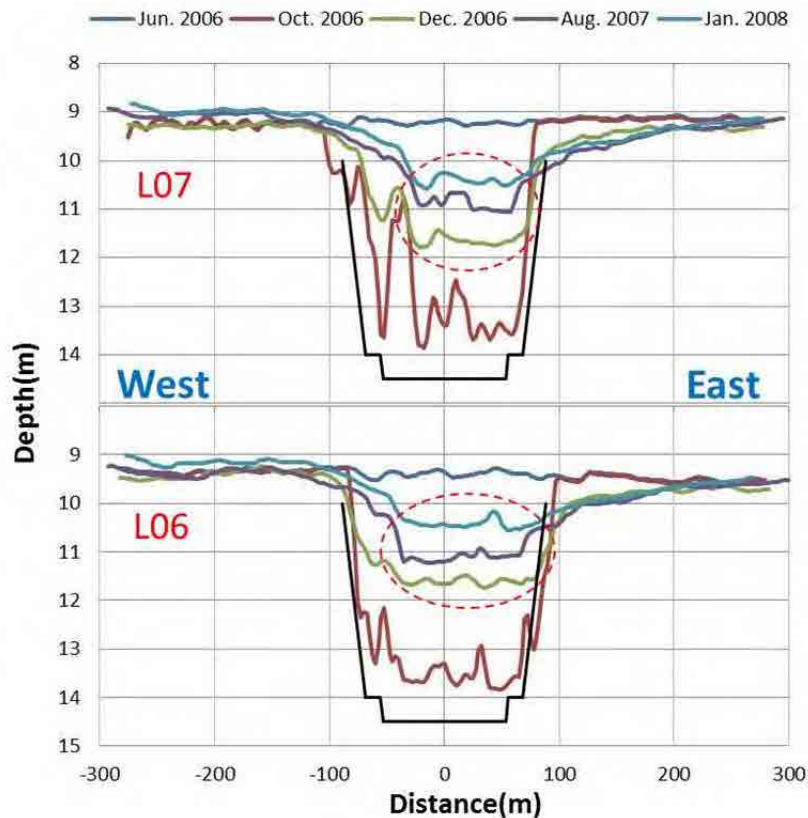


Figura 4.19 Superposición de secciones transversales a lo largo de L07 y L06

Teniendo en cuenta estas situaciones, se deduce que las características del sedimento depositado durante la segunda sedimentación lenta en el canal externo es como se muestra en la Figura 4.20. En resumen, en el talud occidental, el material grueso, que tiene velocidad más alta de caída, se acumula, mientras que el sedimento de alta fluidez como el lodo líquido, se deposita en el lado Este del canal.

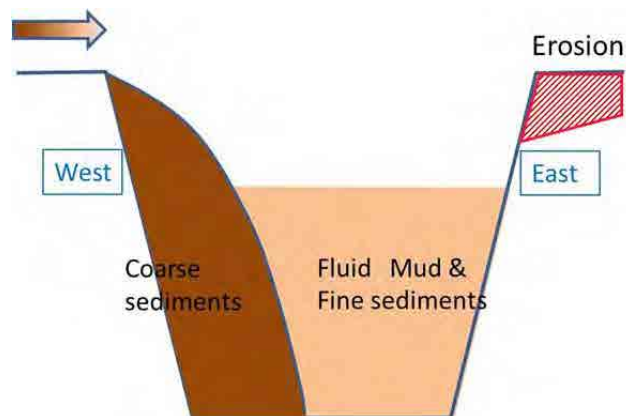


Figura 4.20 Distribución espacial de sedimento

Por último, la sedimentación rápida es examinada. Veamos la Figura 4.14 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 4.21 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 4.22 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 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.

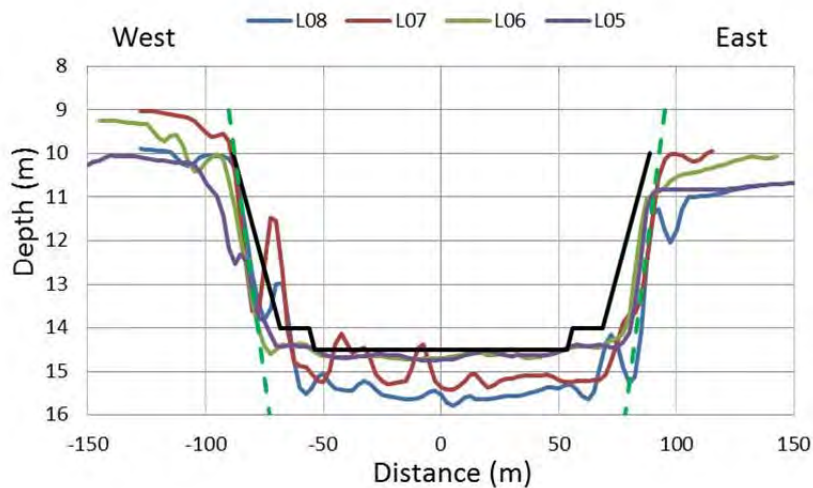


Figura 4.21 Superposición de secciones transversales justamente después del segundo dragado (Medidas el 28 de abril y 5 de mayo de 2008)

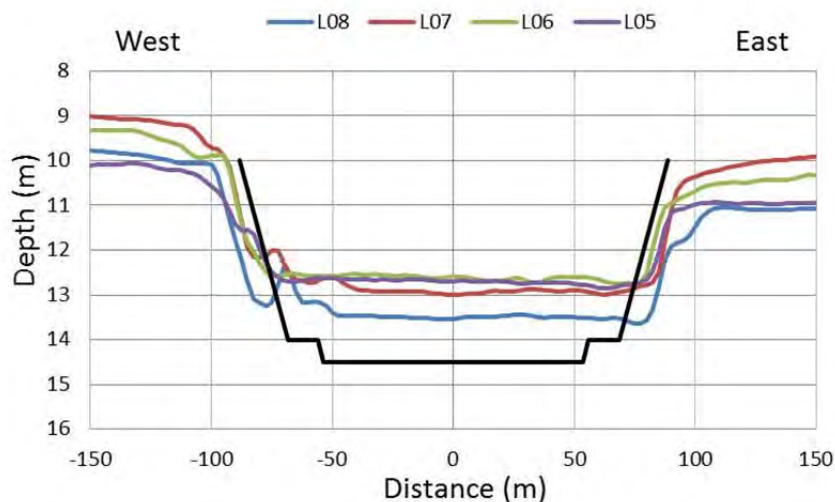


Figura 4.22 Superposición de secciones transversales del 11 de agosto de 2008, cerca de 3 meses y medio después del dragado

El proceso de sedimentación en el canal externo puede ser dividido en dos etapas sucesivas, es decir, la sedimentación rápida pocos meses después del dragado y la sedimentación lenta en el periodo siguiente. En la primera etapa, la acumulación de sedimento de alta fluidez fue horizontal a todo lo ancho del canal; mientras que en la segunda etapa de sedimentación lenta, como se explica en la Figura 4.18 y la Figura 4.20, 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 4.23. 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.

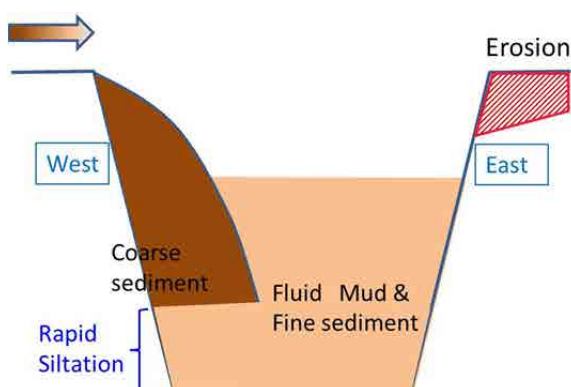


Figura 4.23 Distribución espacial de sedimento

Como se explica en la Figura 4.14, 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.

4.4 Modelos de Predicción de Sedimentación para el Canal

4.4.1 Modificaciones al Modelo Exponencial Original

En la sección 4.2, el modelo de predicción para el cambio de tirante de agua en el canal ha sido formulado empíricamente. Sin embargo, una examinación minuciosa del proceso de sedimentación basada en los datos batimétricos nos indica dos puntos preocupantes: 1) En el canal interno, los datos batimétricos obtenidos en diciembre de 2008, inmediatamente después del segundo dragado, están defasados extrañamente, siendo más profundos. 2) En el canal externo, el tirante de agua en el canal no llegó a ser menos profundo que el de la margen oriental. Teniendo en cuenta estos puntos preocupantes, el modelo exponencial original fue modificado.

(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 4.24, 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 4.25, 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 representados 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.

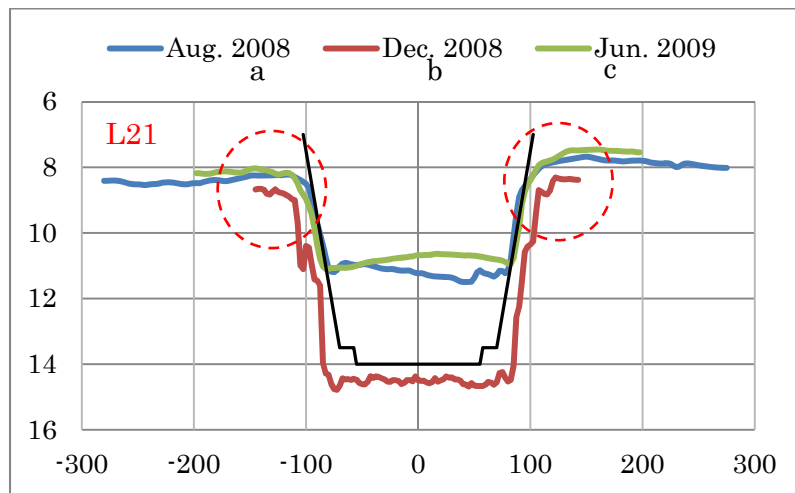


Figura 4.24 Diferencias en la sección transversal de L21 (canal interno)
(Reproducida de la Figura 4.8)

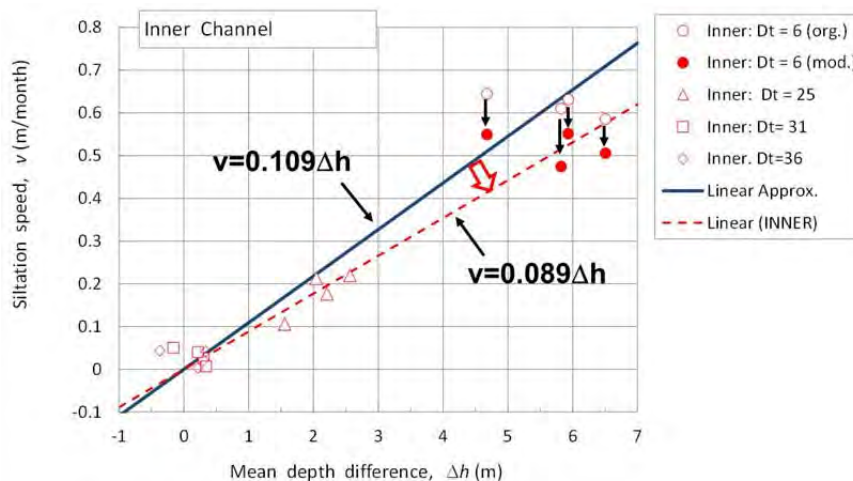


Figura 4.25 Velocidad de sedimentación en función de la diferencia de profundidad en el canal interno después de la corrección de datos

Tal como se ve en la Figura 4.25, 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 4.26 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.

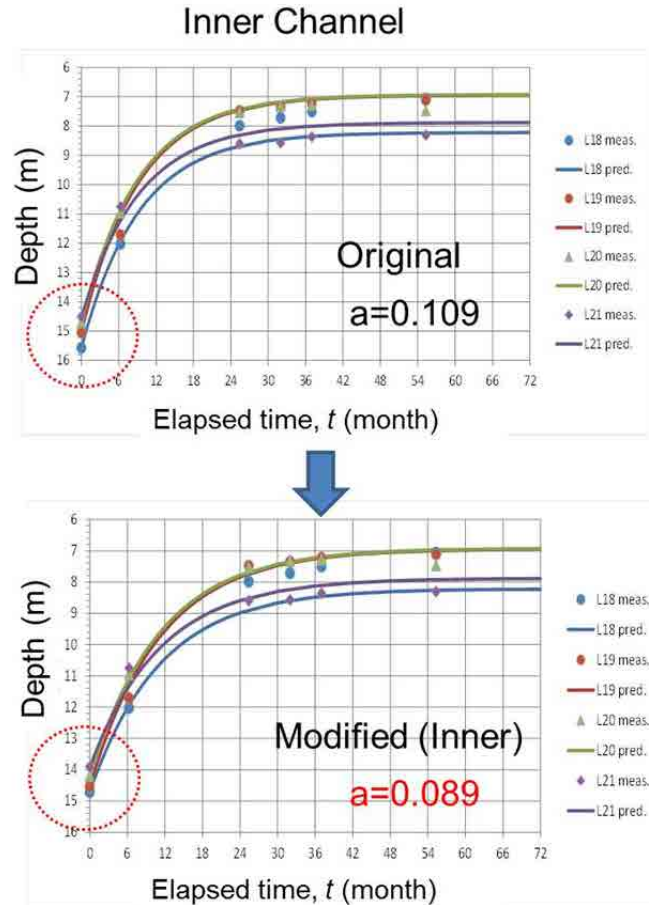


Figura 4.26 Comparación del modelo exponencial original y el modificado con el tirante de agua real (para el canal interno)

(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 4.27. La profundidad de agua fuera del canal, h_{ou} , 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 4.27. El tirante de agua en la margen oriental, h_e , se denomina

"profundidad final" en adelante. El coeficiente se fija sin cambios, siendo $a=0,109$.

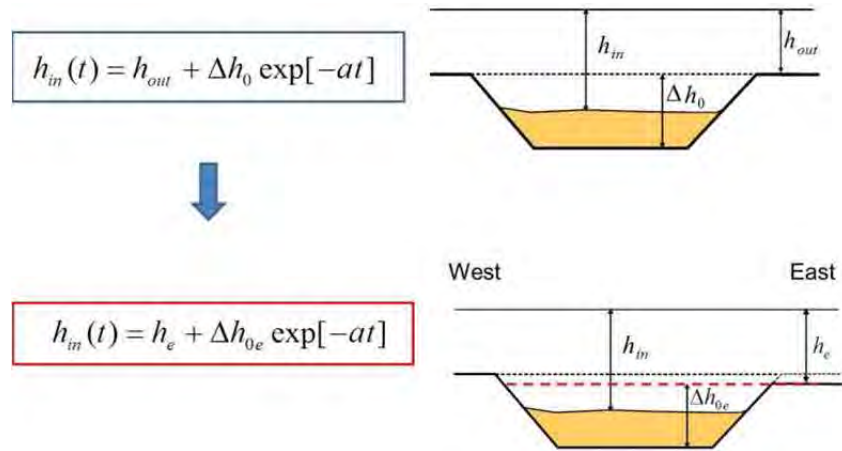


Figura 4.27 Modificación del modelo exponencial introduciendo el concepto de profundidad final (para el canal externo)

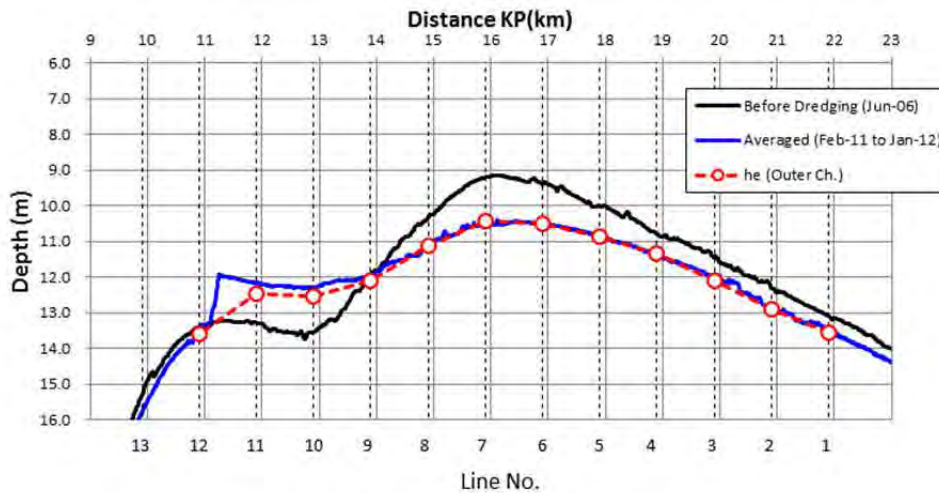


Figura 4.28 Perfil longitudinal de la profundidad final h_e en el canal externo

La Figura 4.28 muestra el perfil longitudinal de la profundidad final, h_e , la cual se usa en el cálculo. La línea negra representa el perfil longitudinal del fondo marino antes del primer dragado, en junio de 2006, y la línea azul representa el perfil longitudinal del canal externo en completa sedimentación, el cual corresponde al perfil medio de tres juegos de datos: de febrero y agosto de 2011 y de enero de 2012. La profundidad final de cada línea de referencia se determina de tal manera que coincida con el perfil medio.

La Figura 4.29 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.

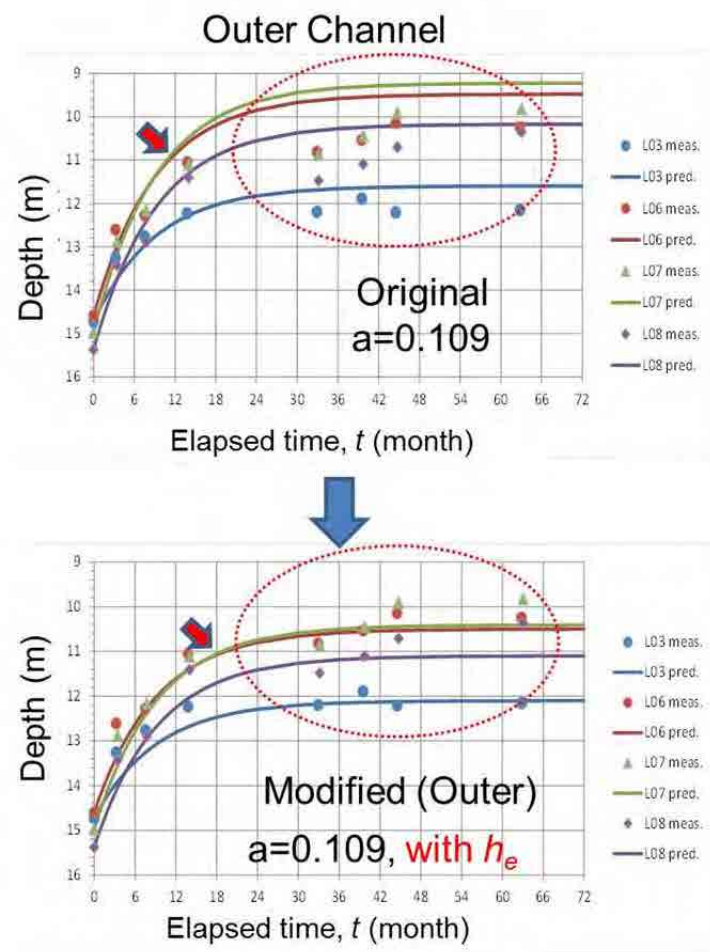


Figura 4.29 Comparación del modelo exponencial original y el modificado con el tirante de agua real (canal externo)

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. Esta hipótesis debe ser verificada con los datos. Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con más datos adecuados. 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 4.30.

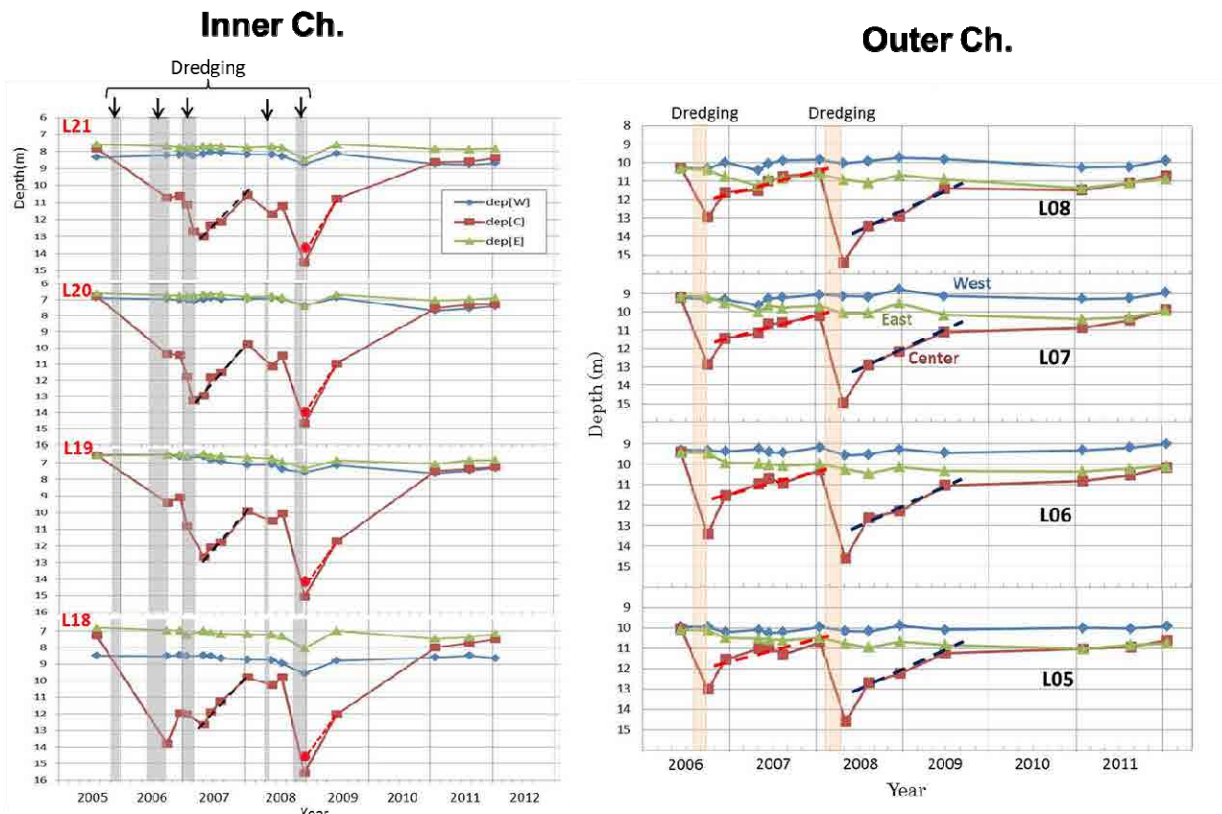


Figura 4.30 Variaciones temporales del tirante de agua en los canales interior y exterior

En la Figura 4.31, la velocidad de sedimentación media en cada línea de referencia se representa gráficamente. 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), y v es la velocidad de sedimentación igual a 0,14 m/mes para el canal externo y a 0,39 m/mes para el canal interno. La Ec. (4.5) implica que la profundidad de agua cambia linealmente con el tiempo y no se hace menor que la profundidad fuera del canal h_{out} o profundidad final h_e . En lo sucesivo nos referimos a la aplicación de esta ecuación como "modelo lineal".

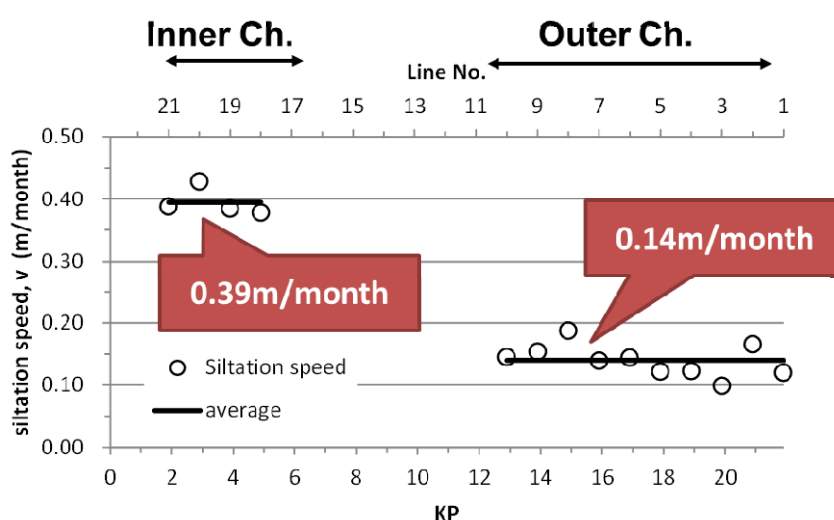


Figura 4.31 Velocidad de sedimentación representativa para los canales interior y exterior

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 en la Figura 4.32.

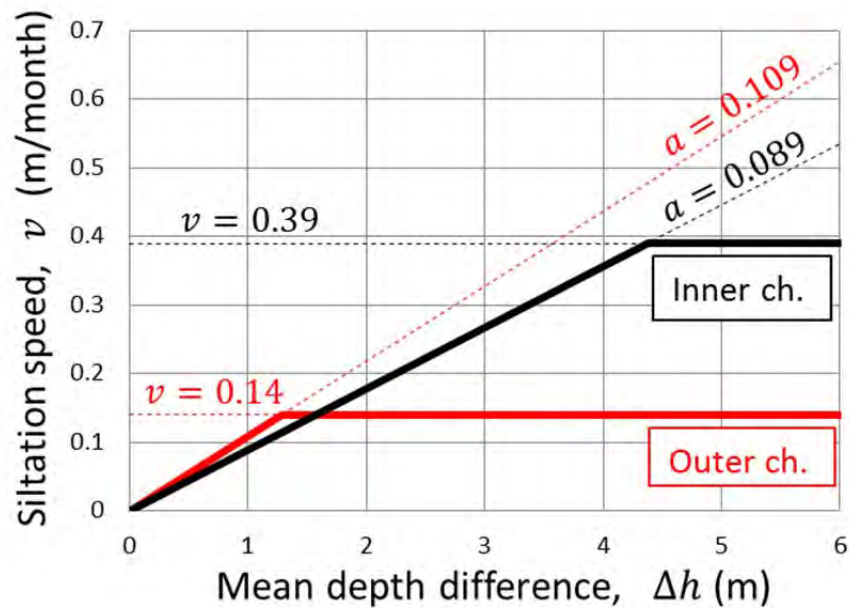


Figura 4.32 Conexión del modelo lineal al modelo exponencial modificado

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 parte del canal de la dársena del puerto (en lo sucesivo denominada "canal del puerto"), definida como el tramo entre $x = 0$ y $x = 1.200$ y cuyo ancho es de 140 m, Figura 4.33.

La Figura 4.34 muestra la superposición de las secciones transversales a lo largo de la línea de referencia $x = 200$ m, la cual es perpendicular al muelle. La Figura 4.35 muestra los perfiles del fondo marino a lo largo de la línea $y = -400$ m, la cual es paralela al muelle. Los datos de las mediciones batimétricas disponibles son las que corresponden a diciembre de 2008, febrero y agosto de 2011 y enero de 2012. Como se puede observar en estas figuras, el tirante de agua en la dársena y el canal del puerto es mayor de 15 m después del dragado de diciembre de 2008, 26 meses después del dragado. Durante el periodo de casi un año, entre febrero de 2011 y enero de 2012, las mediciones batimétricas se repitieron tres veces. Los tres perfiles del fondo marino obtenidos de estas mediciones casi coinciden entre sí; lo que significa que el tirante de agua ya ha alcanzado de hecho una condición de equilibrio y ya no hay más sedimentación. el tirante de agua de equilibrio, o profundidad final, en la dársena es mayor que el de la margen fuera de la dársena.

Sólo a lo largo de la línea de referencia L22, cuya ubicación se muestra en la Figura 4.33, se obtuvieron los datos batimétricos, en junio de 2009, mostrados en la Figura 4.36. El volumen de sedimentación después de seis meses del dragado era casi la mitad del volumen final. La velocidad de sedimentación inmediatamente después del dragado fue probablemente también rápida en la dársena.

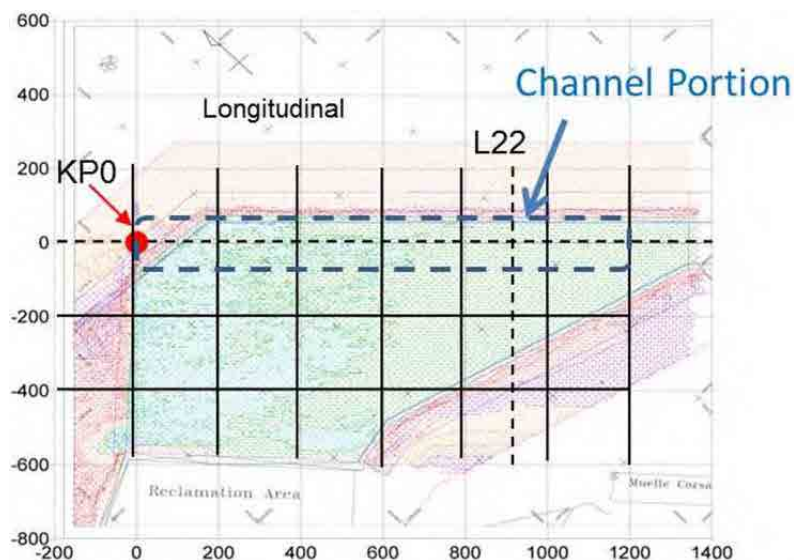


Figura 4.33 Sistema de coordenadas de la dársena del puerto

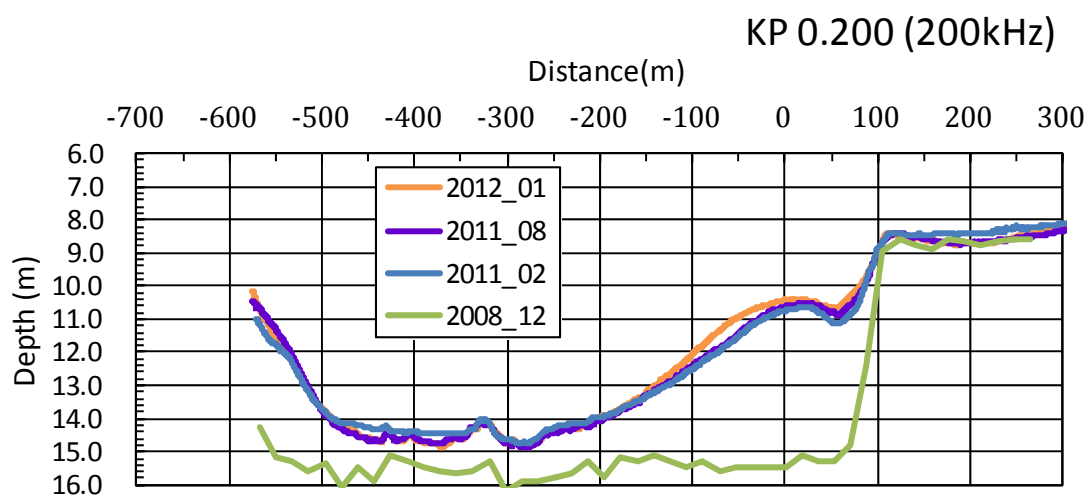


Figura 4.34 Secciones transversales a lo largo de la línea x=200 m, perpendicular al muelle

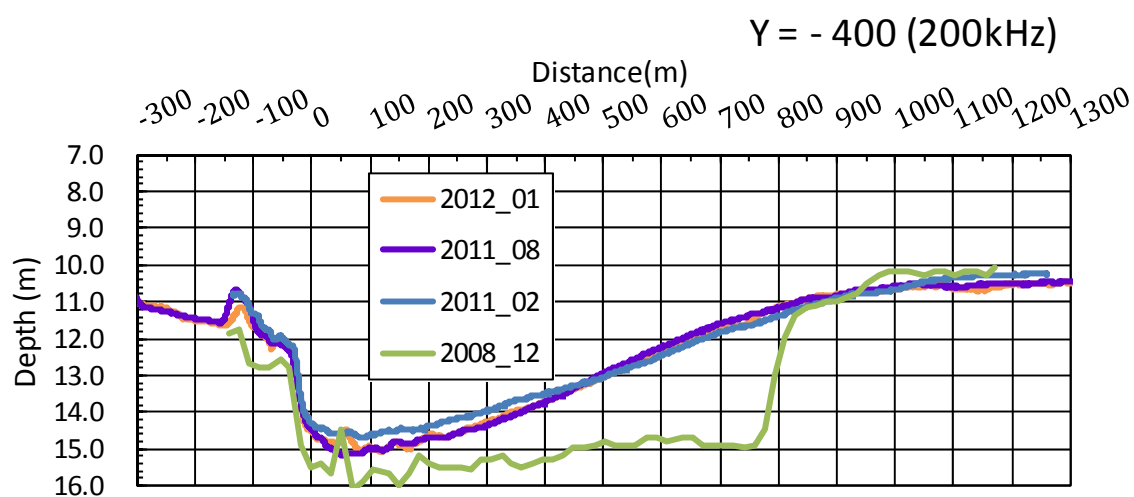


Figura 4.35 Perfiles del fondo marino a lo largo de la línea y = -400m, paralela al muelle

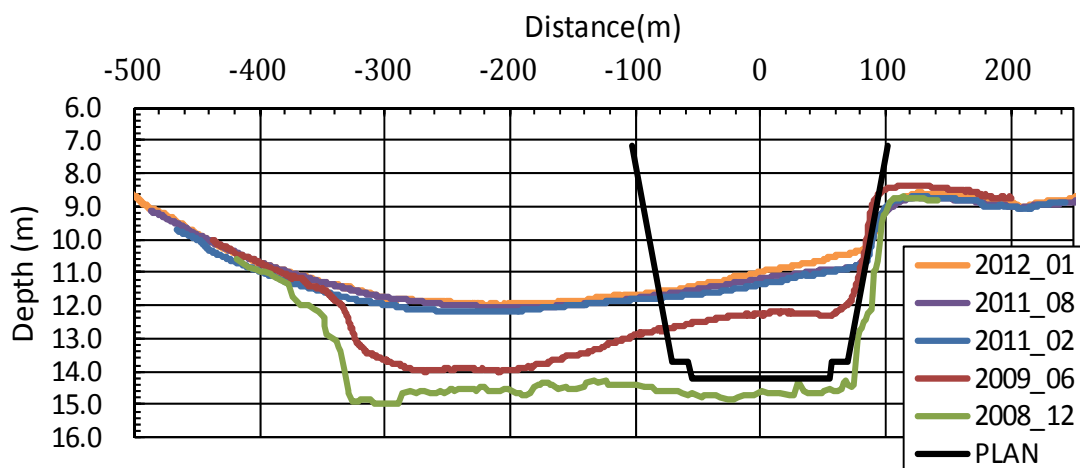


Figura 4.36 Secciones transversales a lo largo de la línea 22, perpendicular al muelle

Desafortunadamente, ya que no se cuenta con más datos batimétricos, no podemos ir más lejos con nuestras elucidaciones sobre el proceso. Por lo que, el modelo de predicción tipo exponencial, Ec. (4.6), para el canal externo en donde se considera el concepto de profundidad final, se aplica para la dársena

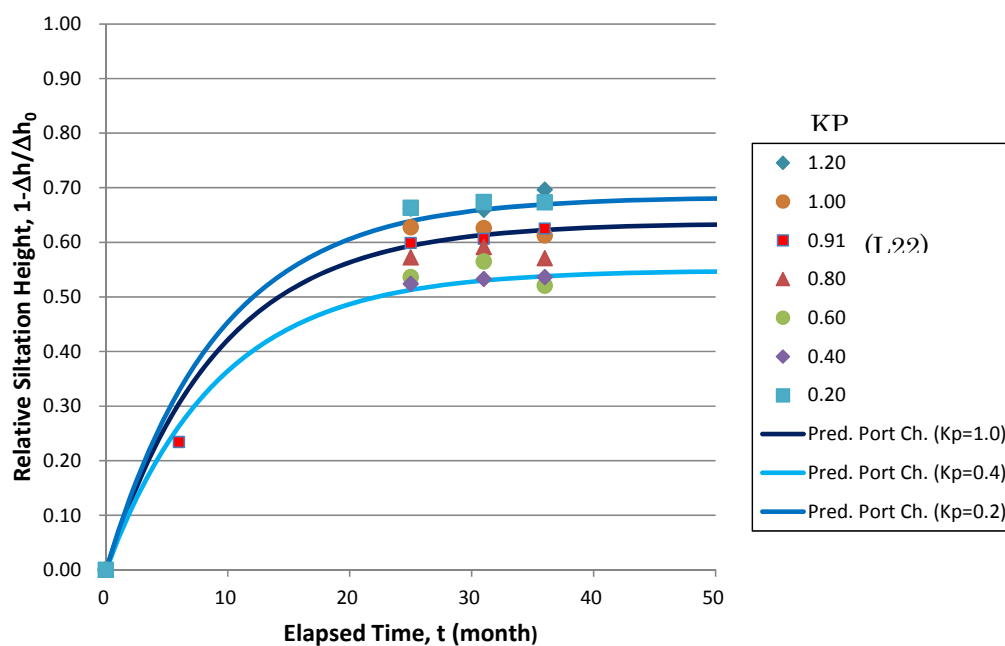
$$\Delta h = \Delta h_e + (\Delta h_0 - \Delta h_e) \exp[-at] \quad (4.6)$$

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; sus parámetros se muestran en la Tabla 4.2.

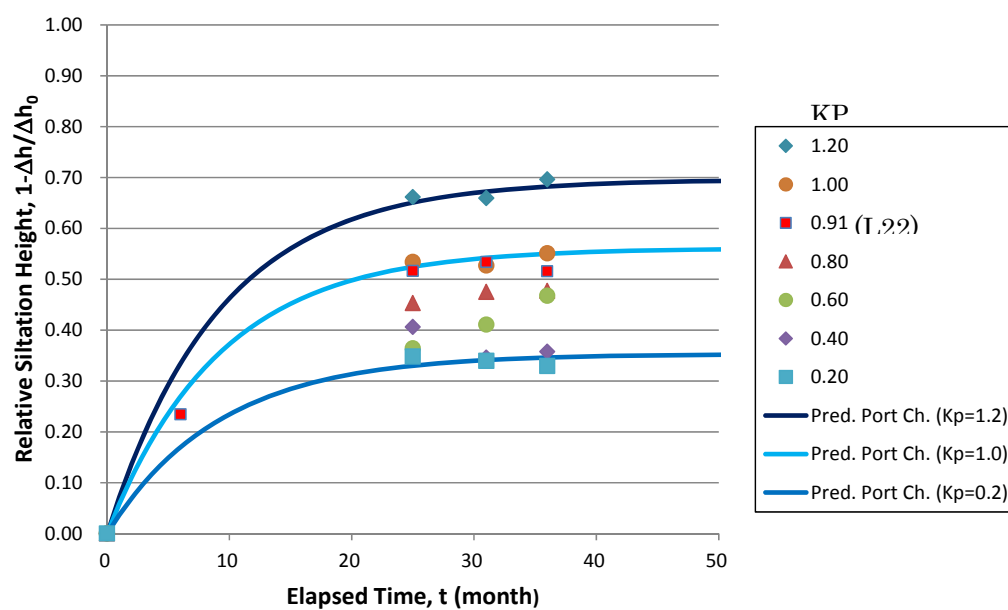
Tabla 4.2 Parámetros de la diferencia de profundidad final para el canal del puerto y la dársena

Ubicación	x1200	x1000	L22	x800	x600	x400	x200
	KP1.2	KP1.0	KP0.9	KP0.8	KP0.6	KP0.4	KP0.2
Canal del puerto	1.70	1.88	1.88	2.17	2.53	2.75	1.94
Dársena	--	2.35	2.35	2.79	3.29	3.78	4.15

La Figura 4.37 muestra la comparación entre la altura de sedimentación relativa predicha y medida para el canal del puerto y la dársena. En la Figura 4.37, se aplicó la Ec. (4.6) para la predicción sustituyendo el valor de la Tabla 4.2 para Δh_e y además se supuso $a = 0,109$. Se comprueba que la Ec. (4.6) predice satisfactoriamente los cambios de profundidad observados en el canal del puerto y la dársena, en donde la altura de sedimentación en la zona cambia de lugar a lugar.



(a) en el canal del puerto



(b) en la dársena del puerto

Figura 4.37 Comparación entre la altura de sedimentación relativa predicha y medida

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

El dragado de mantenimiento se hará para que el puerto y el canal mantengan la profundidad requerida hasta el siguiente ciclo de 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. La Figura 5.1 presenta la variación de la profundidad longitudinal a lo largo de la línea central del canal de acceso según lo estudiado al final de julio de 2013.

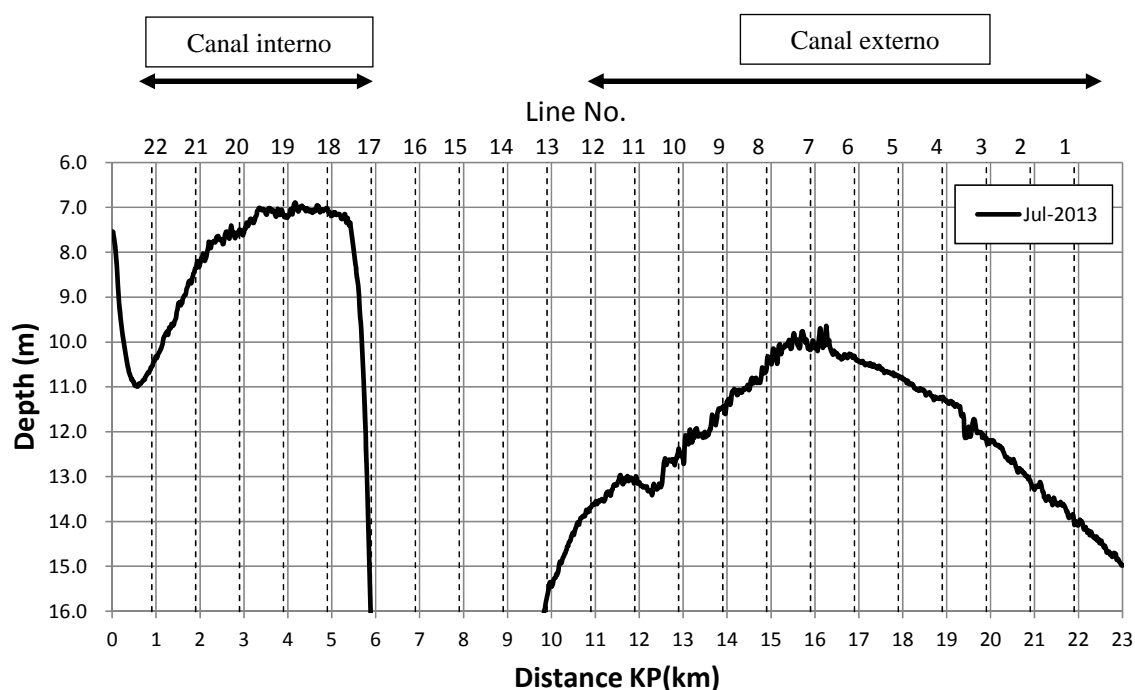


Figura 5.1 Perfil longitudinal sobre la línea central del canal de acceso, medido en julio de 2013

La dársena y los canales interno y externo necesitan ser re-dragados antes de iniciar cualquier dragado de mantenimiento. El volumen total de re-dragado para 6 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 5.2.

El volumen de re-dragado depende de la profundidad del canal al inicio de re-dragado. En el presente Informe, el volumen de re-dragado se calcula según los resultados de las últimas mediciones realizadas en julio de 2013.

Cabe destacar que el volumen de re-dragado mostrado en la Tabla 5.1 no incluye el volumen de sobre-dragado. En realidad, durante la realización del re-dragado, la sedimentación ocurre también al mismo tiempo. Por tanto, al volumen de re-dragado, hay que agregar el volumen de dragado de mantenimiento para calcular el volumen total de dragado (= volumen de re-dragado +

volumen de dragado de mantenimiento). El volumen de dragado de mantenimiento será descrito en la siguiente Sección.

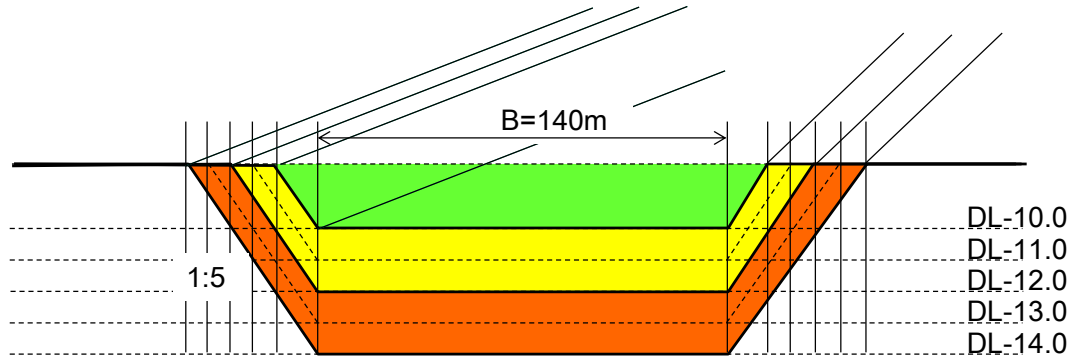


Figura 5.2 Forma del Canal para el cálculo del volumen de Re-Dragado

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

Tabla 5.2 TDS (Tonelada de Sólido Seco) estimado de re-dragado (unidad: 1.000 t)

Profundidad (m)	Canal Externo	Canal Interno	Dársena	Total
D.L.-9,0	0	401	0	401
D.L.-10,0	11	688	26	726
D.L.-11,0	181	993	154	1.329
D.L.-12,0	521	1.317	358	2.195
D.L.-13,0	1.024	1.658	660	3.342
D.L.-14,0	1.741	2.016	980	4.738

El volumen de dragado de la Tabla 5.1 puede convertirse en TDS (Tonelada de Sólido Seco) mediante la siguiente fórmula:

$$TDS = \frac{2,65 \times V \times (\rho_s - 1,025)}{2,65 - 1,025} \quad (5.1)$$

Donde, V implica el volumen de dragado y ρ_s se refiere a la densidad in-situ de lodo. La cantidad en TDS puede utilizarse cuando un contrato de re-dragado sea concertado basándose en la cantidad de TDS informado de empresas de dragado. El resultado de la conversión de V a TDS bajo un supuesto de $\rho_s = 1.300 \text{ g/cm}^3$ se lista en la

Tabla 5.2 como ejemplo.

5.2 Volumen de Dragado de Mantenimiento

5.2.1 Profundidad navegable

Según la Figura 5.1, la parte menos profunda del canal externo está alrededor de KP16.0 (L07) con una profundidad de -9,5 m, mientras que en el canal interno la parte menos profunda está alrededor de KP4.50 (L18-L19) con una profundidad de -7,0 m. Según lo discutido en el Capítulo 3, el fondo del canal en el punto KP2.90 está cubierto con una capa de lodo con una densidad inferior a la límite de 1.200 kg/m^3 . Los resultados de las mediciones indican que la capa de lodo blando se extiende a más de 1,0 m de profundidad. Sería demasiado pronto para evaluar el espesor de la capa de lodo blando, pero podría establecerse tentativamente en 1,0 m. Bajo este supuesto, la profundidad navegable puede ser considerada como la profundidad de -8,0 m en la situación actual.

La Figura 5.3 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/m^3 . En el cálculo de volumen de dragado presentado en la siguiente Sección, 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, de acuerdo con los resultados descritos en el Capítulo 3. No obstante, en caso de adaptarse el no dragado, el lodo fluido en el canal será consolidado y el espesor de la capa de lodo fluido será reducido. También se necesita un frecuente dragado de mantenimiento para mantener navegable la capa de lodo blando.

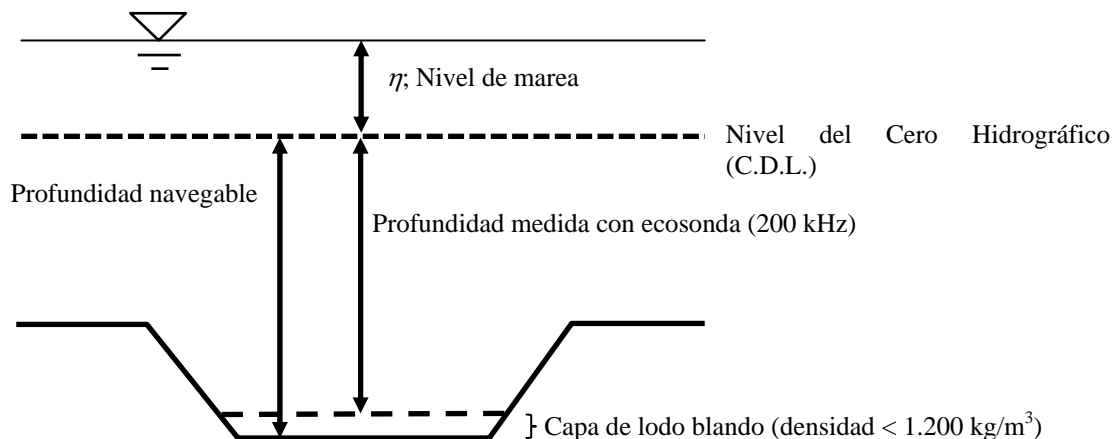


Figura 5.3 Definición de profundidad navegable y profundidad medida

5.2.2 Método de estimación del volumen de dragado de mantenimiento

Luego de completado el trabajo de re-dragado logrando una profundidad objetivo designada, el proceso de sedimentación tendrá lugar. En este Informe se presenta el análisis de la velocidad de sedimentación y el desarrollo de dos modelos de predicción basados en los resultados de las últimas mediciones batimétricas, tal como se describe en el Capítulo 4. A continuación, los dos modelos de predicción: modelo exponencial modificado y modelo lineal, se aplican al cálculo de volumen del dragado de mantenimiento.

Tabla 5.3 Modelos de previsión de sedimentación para estimar volumen de dragado de mantenimiento

Modelo de predicción	Observaciones
1. Modelo exponencial modificado	$V = a\Delta h$ <ul style="list-style-type: none"> ● $a=0,089$ (Canal interno) ● $a=0,109$ (Canal externo) con profundidad final (h_e)
2. Modelo lineal	$V = \min(a\Delta h, V_{\max})$ <ul style="list-style-type: none"> ● $V_{\max}=0,39$ 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 r y T el ciclo del dragado de mantenimiento en meses, la profundidad requerida de dragado D_X , que incluye el sobre-dragado, se calcula como se describe a continuación.

1) Modelo exponencial modificado

$$D_X = \Delta h_{tar} \exp[aT] \quad \text{para el canal interno} \quad (5.2)$$

$$D_X = \Delta h_e + (\Delta h_{tar} - \Delta h_e) \exp[aT] \quad \text{para el canal externo, canal del puerto y dársena} \quad (5.3)$$

2) Modelo lineal

$$D_X = v_{linear} T \quad (5.4)$$

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.

Para explicar el uso de la Ecuación (5.2), 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, como ejemplo, 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. El proceso de dragado y la elevación del fondo del canal se presenta en la Figura 5.4.

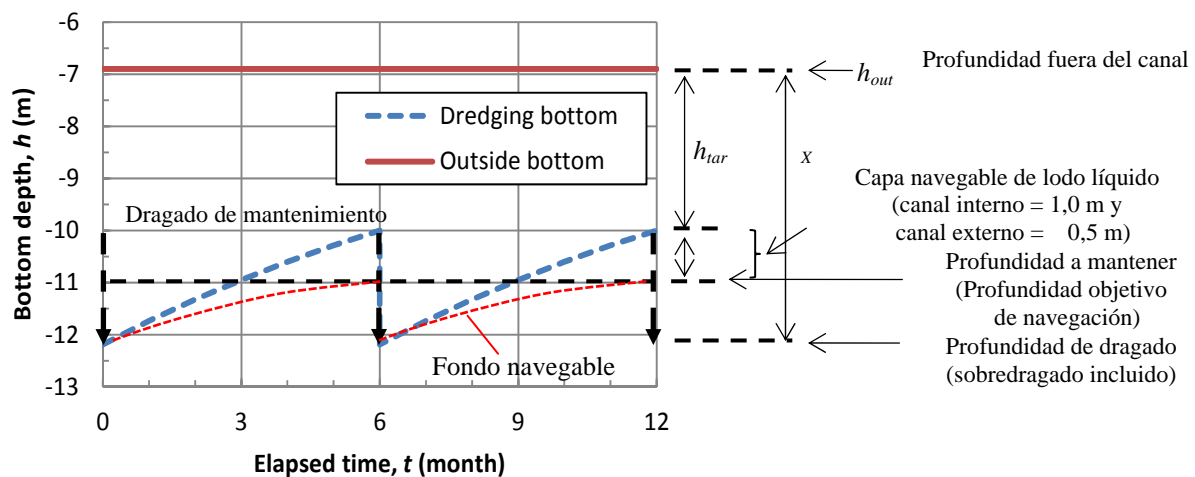


Figura 5.4 Esquema de la subida del fondo del canal entre los dragados de mantenimiento

5.2.3 Volumen de dragado de mantenimiento en función de la profundidad

El volumen de dragado de mantenimiento se calcula para 6 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, 6 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 5.4 y la Tabla 5.5. En el cálculo, fue tomado en cuenta el espesor de lodo fluido con una densidad húmeda inferior a 1.200 kg/m³. El espesor de 1,0 m fue supuesto para el canal interno y 0,5 m para el canal externo y la dársena, como nivel de tolerancia de la sedimentación.

La Figura 5.5 y la Figura 5.6 muestran los volúmenes de dragado anual para cada profundidad objetivo respecto al ciclo de dragado. Los volúmenes de dragado anual son graficados con una escala vertical fija en la Figura 5.5, y también graficados con distintas escalas verticales en la Figura 5.6. A partir de dichos diagramas, se confirma que el volumen de dragado anual aumenta con la profundidad objetivo. Asimismo, el volumen de dragado de mantenimiento estimado según el modelo exponencial modificado tiende a aumentar con el incremento del ciclo de dragado. El volumen de dragado de mantenimiento estimado con el modelo lineal presenta casi el mismo valor que el estimado con el modelo exponencial modificado para las profundidades objetivo DL-9 m, DL-10 m, DL-11m y DL-12 m. En caso de DL-13 m y DL-14 m, el volumen de dragado de mantenimiento estimado con el modelo lineal es menor que el calculado con el modelo exponencial modificado.

La Figura 5.7 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. La curva azul en el diagrama está trazada para conectar los valores mínimos de cada profundidad objetivo, estimados con el modelo exponencial modificado, y la curva naranja está elaborada de la misma manera para el modelo lineal.

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 5.4 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 ($10^3 \text{ m}^3/\text{ciclo}$)			Total ($10^3 \text{ m}^3/\text{ciclo}$)	Total ($10^3 \text{ m}^3/\text{año}$)
		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

Tabla 5.5 Volumen de dragado de mantenimiento calculado con el modelo lineal

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	1.103	0	1.103	1.103
-11.00	3,00	5	358	3	365	1.461
	4,00	7	495	4	505	1.516
	6,00	11	797	6	815	1.630
	12,00	33	1.776	19	1.827	1.827
-12.00	3,00	161	516	53	729	2.918
	4,00	220	699	74	994	2.981
	6,00	346	1.071	125	1.542	3.083
	12,00	752	2.078	355	3.186	3.186
-13.00	3,00	296	610	182	1.088	4.352
	4,00	397	807	256	1.460	4.379
	6,00	597	1.185	428	2.209	4.418
	12,00	1.203	2.170	1.190	4.563	4.563
-14.00	3,00	422	628	419	1.469	5.875
	4,00	562	825	589	1.976	5.928
	6,00	842	1.201	982	3.025	6.050
	12,00	1.675	2.183	2.691	6.548	6.548

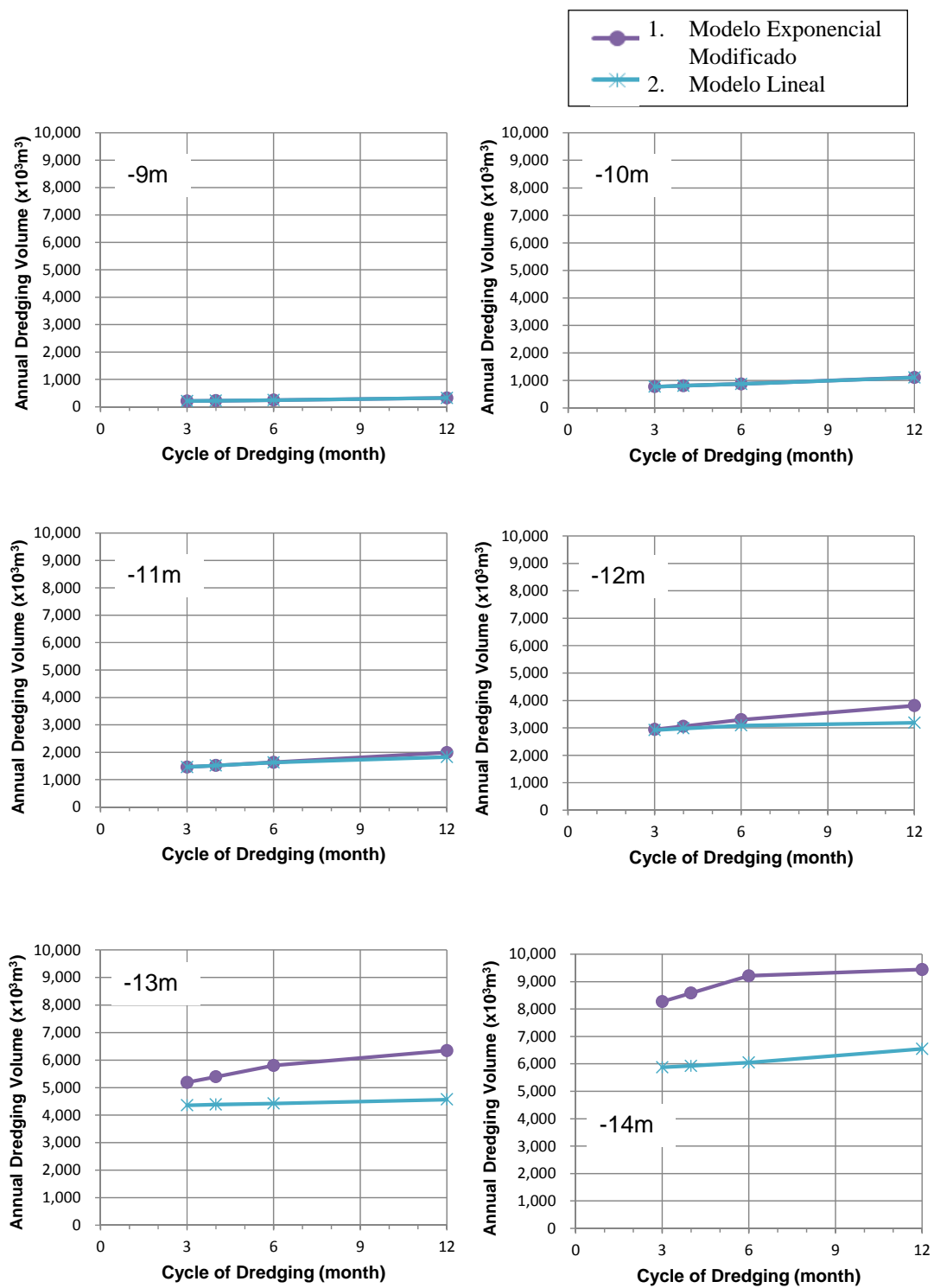


Figura 5.5 Volumen de dragado de mantenimiento (trazado con la escala vertical fija)

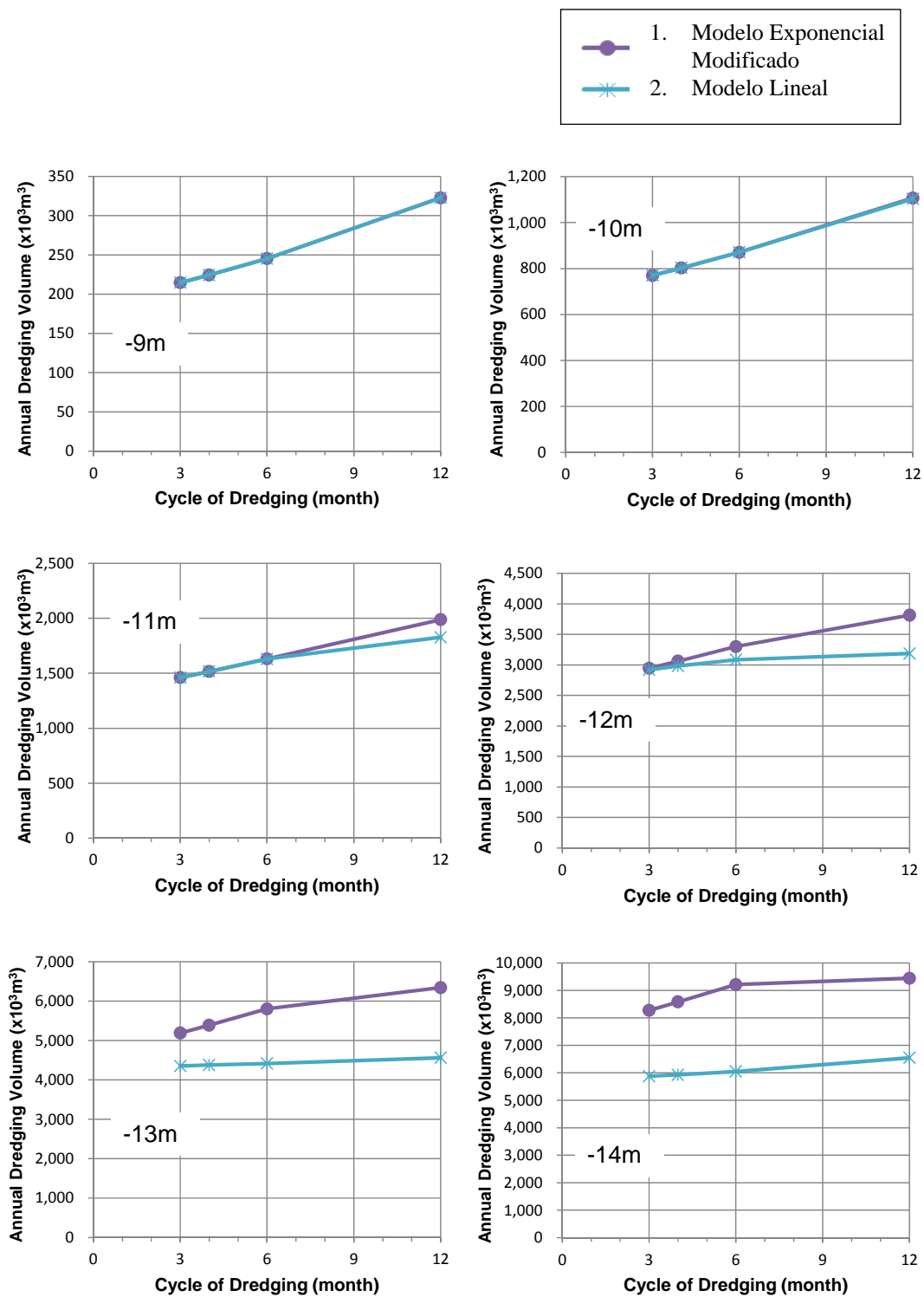


Figura 5.6 Volumen de dragado de mantenimiento
(trazado sobre distintas escalas verticales)

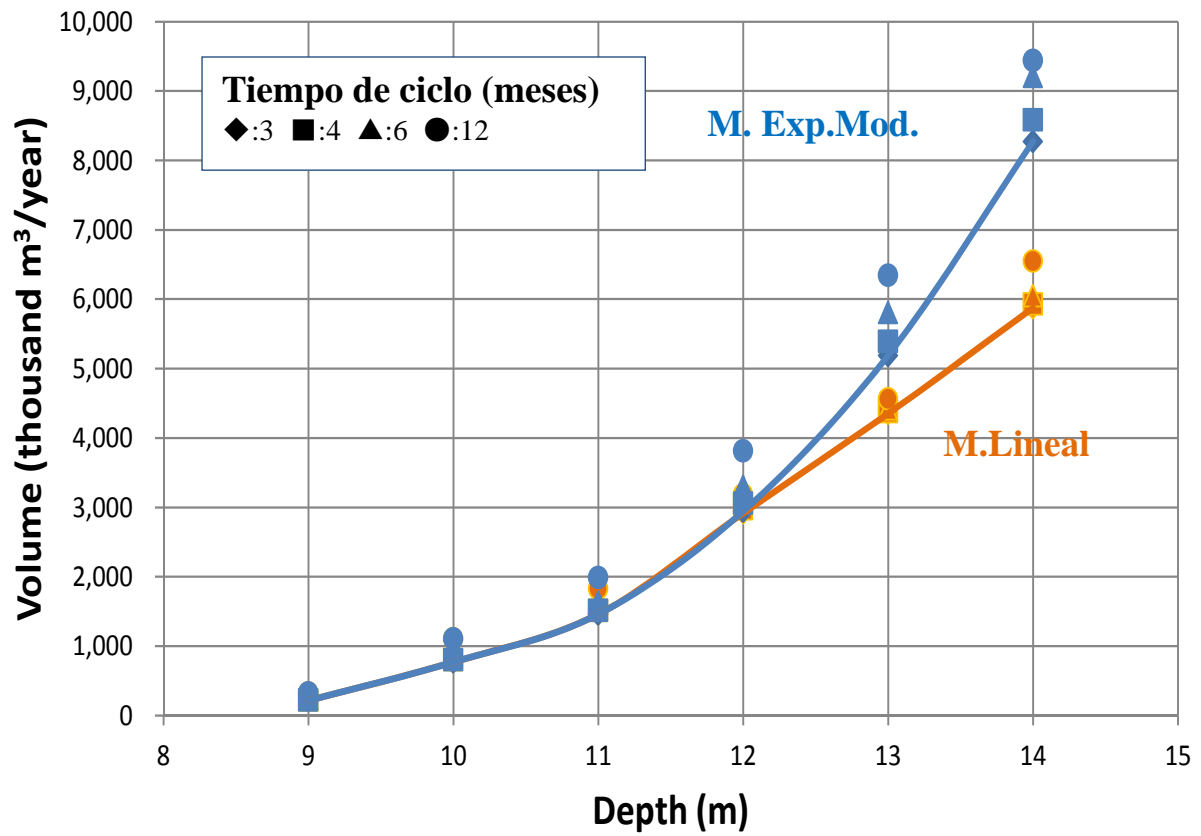


Figura 5.7 Volumen de dragado de mantenimiento en función de la profundidad

5.2.4 Volumen de dragado de mantenimiento y profundidad de post-dragado por segmento

Para calcular el costo de dragado con precisión, es necesario obtener volumen de mantenimiento por segmento. En este estudio, se han establecidos 12 segmentos con un intervalo de 1 km en el canal externo, 4 segmentos con un intervalo de 1 km en el canal interno y 13 segmentos con un intervalo de 0,2 km en el canal del puerto y la dársena. Los segmentos establecidos corresponden al número de cada línea de referencia.

Los resultados del cálculo de la altura y el volumen de dragado por segmento se resumen en la Tabla 5.6. En esta tabla, los resultados calculados con el modelo exponencial modificado se encuentran listados para una profundidad objetivo de 14 m, por ejemplo. Todos los resultados del cálculo para las profundidades objetivo de 9, 10, 11, 12, 13 y 14 m se presentan en el Anexo C.

La altura de dragado en la Tabla 5.6 es la altura requerida a dragar en el siguiente ciclo de dragado e incluye el espesor de la capa de lodo fluido definida en 1,0 m para el canal interno o en 0,5 m para el canal externo y la dársena. La altura de post-dragado por debajo de la profundidad objetivo también se presenta en esta tabla. La definición de las alturas de dragado y post-dragado por debajo de la profundidad objetivo se ilustra en la Figura 5.9. La altura de post-dragado se calcula restando de la altura de dragado el espesor del lodo fluido.

La Figura 5.9 y la Figura 5.10 presentan la profundidad de post-dragado estimada con el modelo exponencial modificado y el modelo lineal, respectivamente. La profundidad de post-dragado se calcula sumando la profundidad objetivo y la altura de post-dragado debajo de la profundidad objetivo. Con estas figuras se confirma que cuanto más corto el ciclo de dragado, menor será la profundidad de post-dragado.

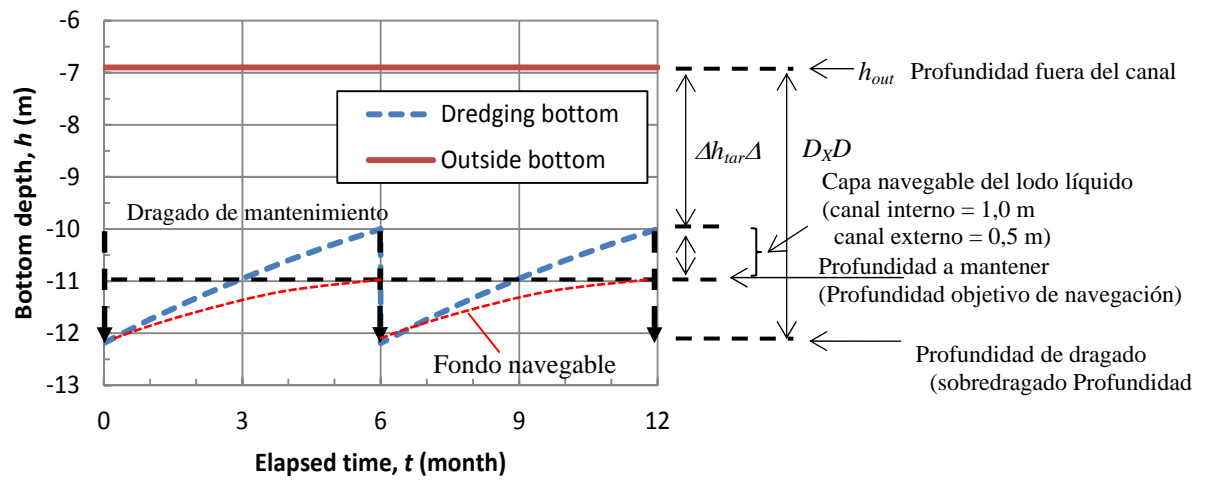


Figura 5.8 Esquema de la definición de las alturas de dragado y post-dragado por debajo de la profundidad objetivo

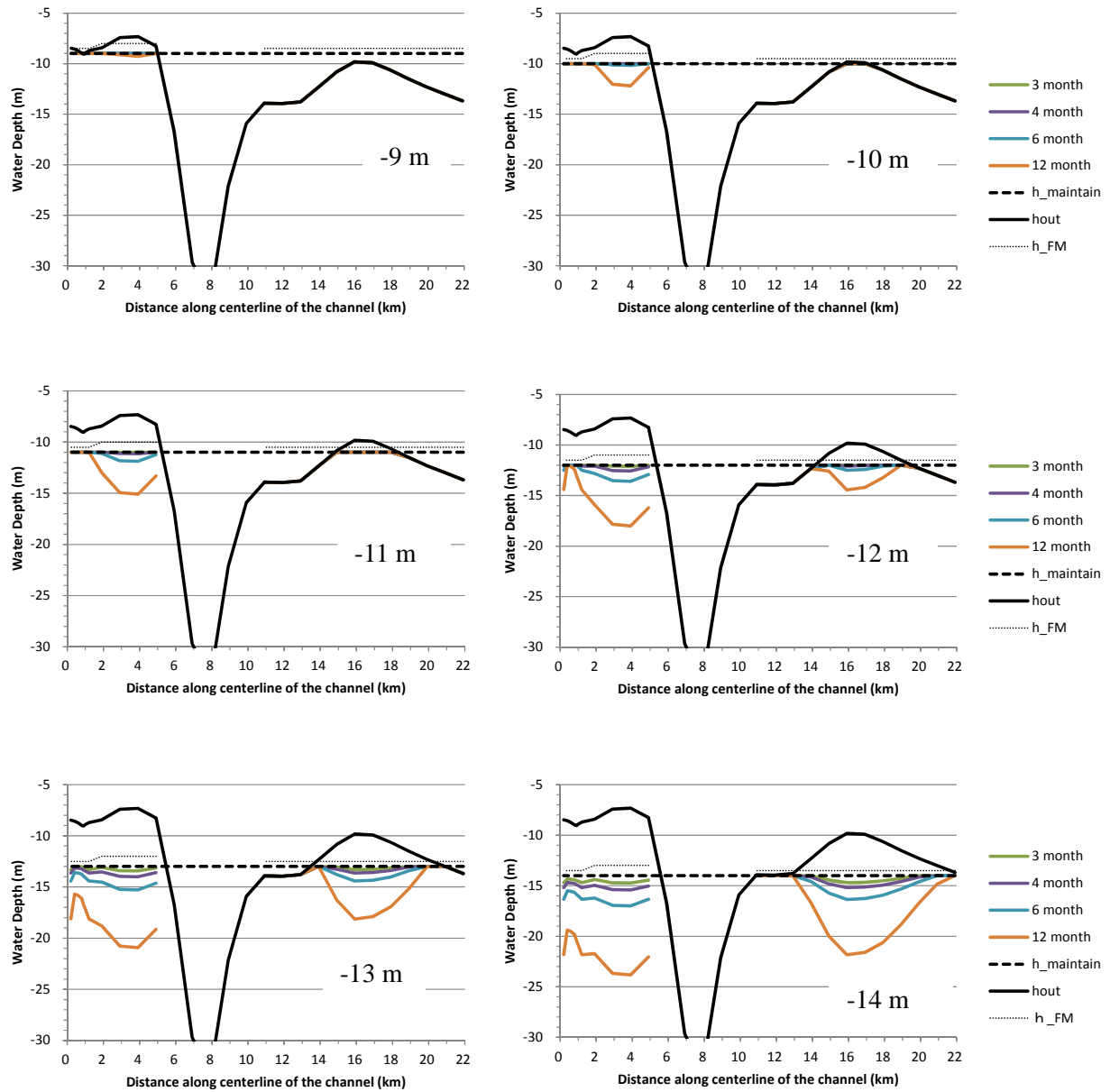


Figura 5.9 Profundidad estimada de post-dragado con el modelo exponencial modificado

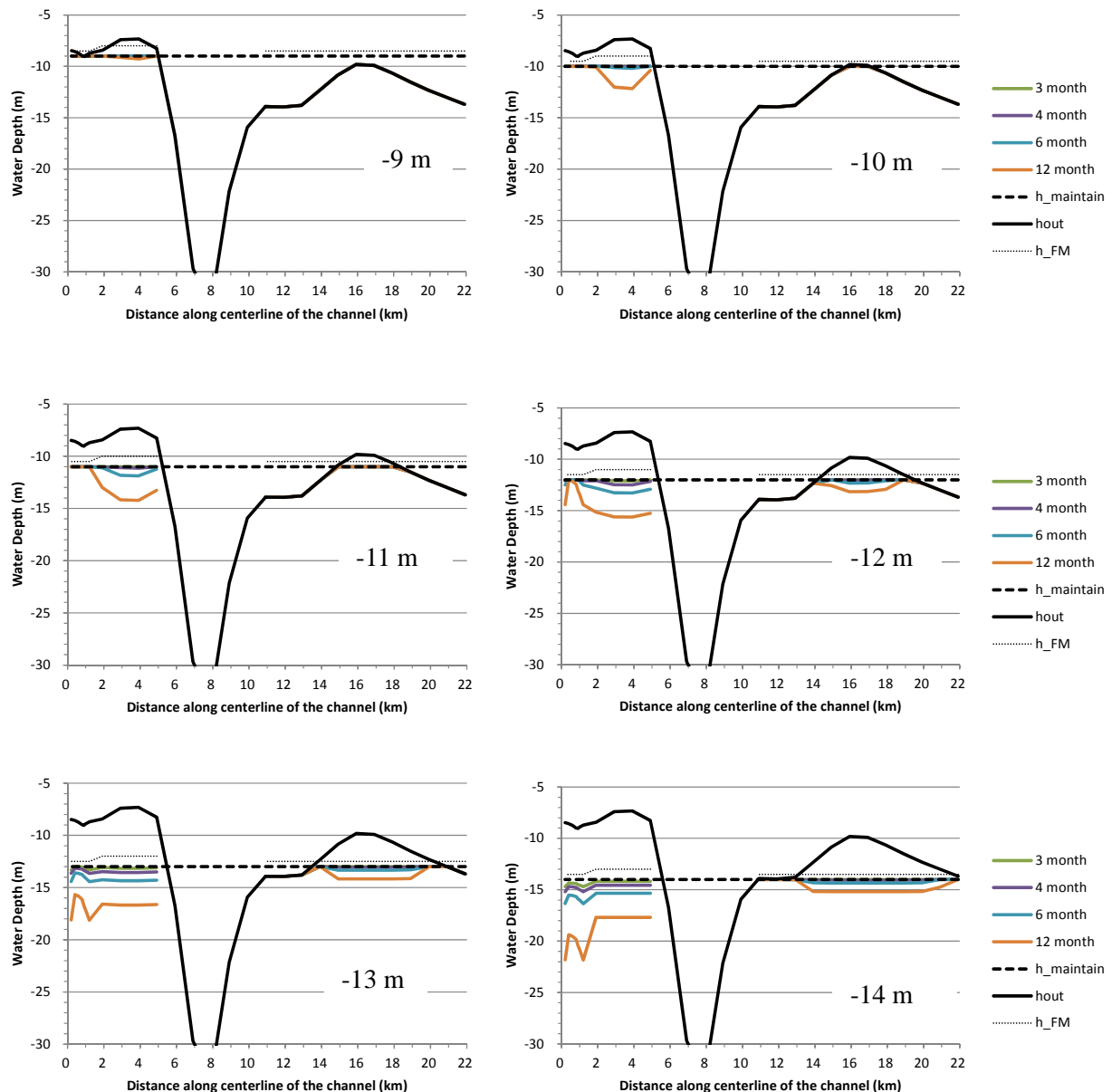


Figura 5.10 Profundidad estimada de post-dragado con el modelo lineal

Cabe destacar que la profundidad de post-dragado no corresponde directamente al volumen anual de dragado de mantenimiento. Por ejemplo, en caso de un ciclo de 3 meses, el dragado debe repetirse 4 veces al año; o sea que el volumen anual de dragado de mantenimiento es el producto de la profundidad de post-dragado y la cuenta de repetición, como se presenta conceptualmente en la Figura 5.11. Aunque la profundidad de post-dragado se reduzca con un ciclo más corto, el volumen anual de dragado no disminuye mucho. Sin embargo, ya que el volumen anual disminuye ligeramente con un ciclo decreciente, se considera favorable seleccionar un ciclo más corto de dragado.

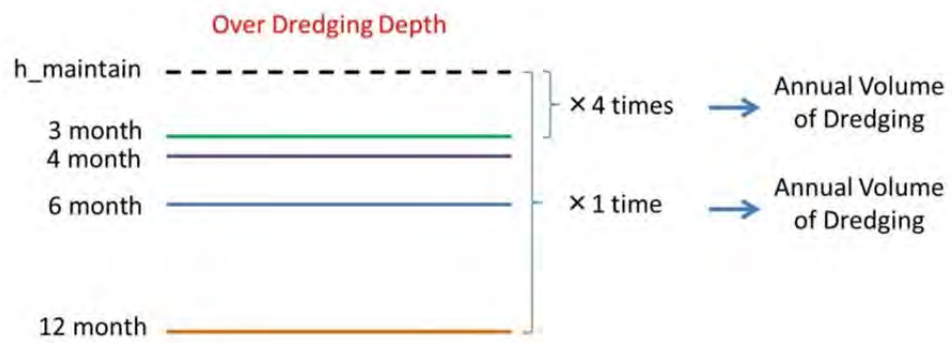


Figura 5.11 Relación entre la profundidad de post-dragado y volumen de dragado anual

Tabla 5.6 Altura y volumen de dragado de mantenimiento (post-dragado) estimado con el modelo exponencial modificado para una profundidad objetivo de 14 m

Modelo exponencial modificado

Profundidad objetivo = 14 m		Altura de dragado (m) (Altura del post dragado debajo de la profundidad meta, m)				Volumen de dragado ($\times 10^3$ m ³ /km/ciclo)			
Ubicación		Ciclo de dragado				Ciclo de dragado			
No. Línea.	KP	3 meses	4 meses	6 meses	12 meses	3 meses	4 meses	6 meses	12 meses
Canal externo									
L1	21,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
L2	20,91	0,19 (0,00)	0,27 (0,00)	0,46 (0,00)	1,35 (0,85)	26	37	62	176
L3	19,91	0,46 (0,00)	0,65 (0,15)	1,10 (0,60)	3,21 (2,71)	62	87	144	388
L4	18,91	0,77 (0,27)	1,09 (0,59)	1,83 (1,33)	5,36 (4,86)	102	143	234	591
L5	17,91	1,02 (0,52)	1,44 (0,99)	2,44 (1,94)	7,13 (6,63)	135	187	305	513
L6	16,91	1,16 (0,66)	1,64 (1,14)	2,77 (1,27)	8,09 (7,59)	152	211	341	581
L7	15,91	1,19 (0,69)	1,69 (1,19)	2,85 (2,35)	8,34 (7,84)	157	217	350	598
L8	14,91	0,93 (0,43)	1,31 (0,81)	2,22 (1,72)	6,48 (5,98)	123	171	279	678
L9	13,91	0,45 (0,00)	0,64 (0,14)	1,07 (0,57)	3,14 (2,64)	61	85	141	381
L10	12,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
L11	11,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
L12	10,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Canal interno									
L18	4,91	1,45 (0,45)	2,02 (1,02)	3,34 (2,34)	9,04 (8,04)	192	228	225	186
L19	3,91	1,74 (0,74)	2,43 (1,43)	4,00 (3,00)	10,83 (9,83)	263	310	306	254
L20	2,91	1,71 (0,71)	2,39 (1,39)	3,94 (2,94)	10,67 (9,67)	412	480	474	399
L21	1,91	1,40 (0,40)	1,95 (0,95)	3,22 (2,22)	8,72 (7,72)	657	783	772	635
Canal del puerto y dársena									
X1200(P)	1,20	1,19 (0,69)	1,69 (1,19)	2,85 (2,35)	8,33 (7,83)	49	69	114	298
x1000(P)	1,00	1,05 (0,55)	1,49 (0,99)	2,51 (2,01)	7,34 (6,84)	14	20	34	89
L22(P)	0,91	1,00 (0,50)	1,41 (0,91)	2,38 (1,88)	6,97 (6,47)	14	19	32	85
x0800(P)	0,80	0,91 (0,41)	1,28 (0,78)	2,16 (1,66)	6,33 (5,83)	25	35	58	157
x600(P)	0,60	0,86 (0,36)	1,22 (0,72)	2,06 (1,56)	6,03 (5,53)	24	33	56	151
x0400(P)	0,40	0,84 (0,34)	1,19 (0,69)	2,01 (1,51)	5,89 (5,39)	23	33	54	148
x0200(P)	0,20	1,19 (0,69)	1,68 (1,18)	2,84 (2,34)	8,31 (7,81)	49	69	113	297
x1000(B)	1,00	0,87 (0,37)	1,23 (0,73)	2,08 (1,58)	6,08 (5,58)	15	21	34	88
L22(B)	0,91	0,82 (0,32)	1,15 (0,65)	1,95 (1,45)	5,70 (5,20)	19	26	44	117
x0800(B)	0,80	0,67 (0,17)	0,94 (0,44)	1,59 (1,09)	4,65 (4,15)	40	56	93	257
x600(B)	0,60	0,57 (0,07)	0,80 (0,30)	1,36 (0,86)	3,97 (3,47)	50	70	117	332
x0400(B)	0,40	0,45 (0,00)	0,63 (0,13)	1,06 (0,56)	3,11 (2,61)	46	65	109	314
x0200(B)	0,20	0,34 (0,00)	0,48 (0,00)	0,80 (0,30)	2,35 (1,85)	52	74	125	359

*) (P): Canal del puerto, (B):Dársena

5.3 Análisis de Métodos de Dragado y Capacidad de Draga

5.3.1 Tipos de draga

Esta sección presenta un resumen de los principales tipos de draga. Para mayor información sobre tipos de draga, refiérase a C5 Tipos de draga en el ANEXO C.

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

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. Una foto y un esquema conceptual de una típica draga de Succión con cabezal cortador se presentan en la Foto 5.1 y la Figura 5.12.



Foto 5.1 Draga de succión con cabezal cortador

(Fuente: “Draga de succión con cabezal cortador Beaver” International Marine Consultancy)

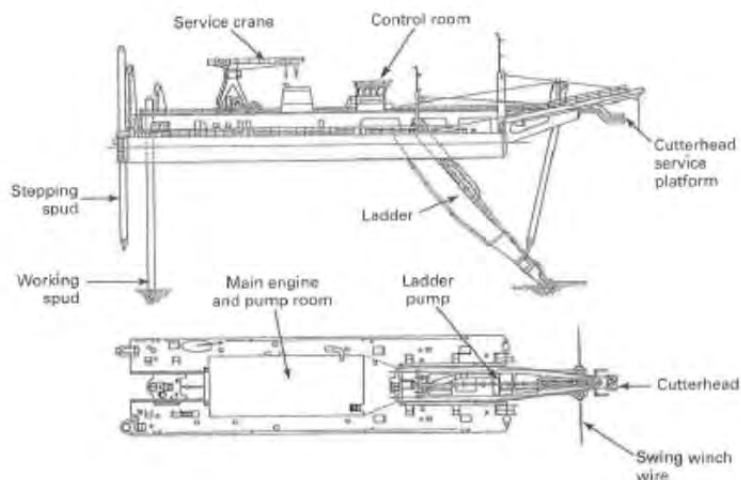


Figura 5.12 Esquema conceptual de una draga de succión con cabezal cortador

(Fuente: “Dragado; Manual de ingenieros” R N Bray et al., 1998)

(2) Dragas de succión en marcha (TSHD)

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. Una foto y el esquema conceptual de una típica TSHD se presentan en la Foto 5.2 y la Figura 5.13.

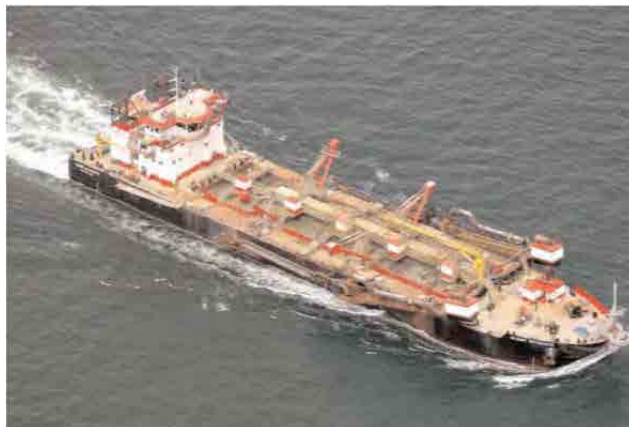


Foto 5.2 TSHD

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

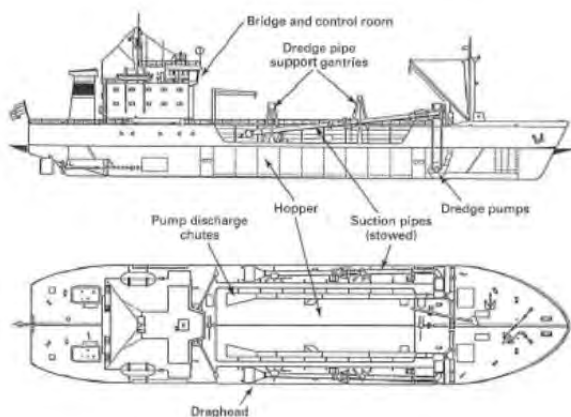


Figura 5.13 Esquema conceptual de una TSHD

(Fuente: "Dragado; Manual de ingenieros" R N Bray et al., 1998)

(3) Dragas de cucharas (GD)

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 cucharas, está una draga de cucharas tipo pontón, que no cuenta con propia tolva ni sistema autopropulsado. La draga de cucharas tipo pontón carga el material dragado en las tolvas de barcazas transportadoras de tierra. Los dibujos y fotos de las mismas se presentan en las



Foto 5.3, Foto 5.4, Figura 5.14 y Figura 5.15.

Foto 5.3 Dragas de cucharas

Fuente: "Dragas de cucharas CRANE" Axeonalias, RC Groups.com

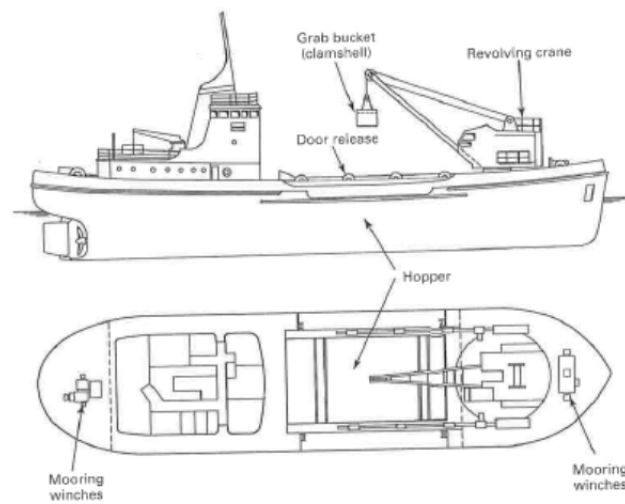


Figura 5.14 Esquema conceptual de la draga de cuchara

Fuente: "Dragado; Manual de ingenieros" R N Bray et al.



Foto 5.4 Dragadora 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.

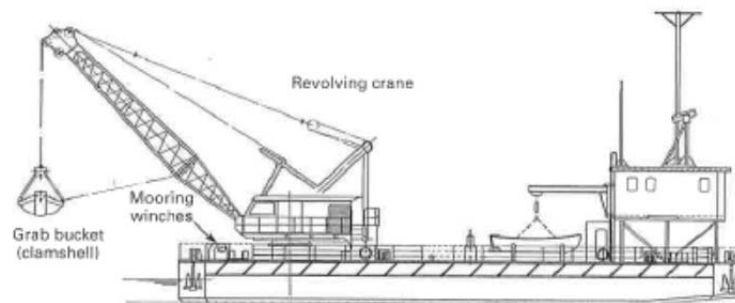


Figura 5.15 Foto y esquema conceptual de una dragadora de cuchara (tipo pontón)

Fuente: "Dredging; "Dragado; Manual de ingenieros" R N Bray et al.

(4) Dragas retroexcavadoras no autopropulsadas (BHD)

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 barcasas de carga de tierra con remolcadores. 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. Una foto y esquema conceptual de una típica draga retroexcavadora se presentan en la Foto 5.5 y la Figura 5.16.



Foto 5.5 Dragas retroexcavadoras

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

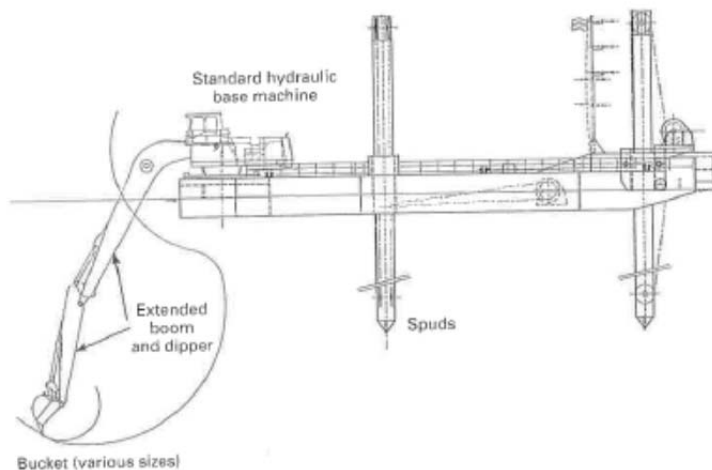


Figura 5.16 Esquema conceptual de una draga retroexcavadora

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

5.3.2 Método apropiado de dragado

(1) Selección de métodos de dragado

En la Sección anterior, fueron presentados cuatro principales tipos de dragas. En la presente

sección, se resume un estudio comparativo de dragas particularmente para las condiciones del Puerto de La Unión.

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

1) Material a dragar

En el Puerto de La Unión, el suelo original del fondo marino de los canales interno y externo consta de arcilla, limo arcilloso, arena arcillosa con un valor N de apenas 1. Por tanto, para el dragado de mantenimiento puede ser aplicable cualquier tipo de draga.

2) Acceso al área de dragado

El acceso al área de dragado en caso de movilización es importante para la selección de draga. El tirante de agua en el canal de acceso en el Puerto de La Unión y el de alrededor del canal es normalmente mayor de 7 m aprox. El estado del mar es por lo general de calma. Por tanto, no existe una condición crítica en el acceso al área de dragado.

3) Tirante de agua

En este proyecto, la profundidad planeada del canal es 14 m, que es algo más profunda para una draga retroexcavadora normal. Por lo que una draga retroexcavadora no es muy adecuada. Otros métodos de dragado son aplicables sin restricciones para este proyecto. Así que la draga retroexcavadora está considerada como inapropiada.

4) Configuración del área de dragado

La configuración del área de dragado como la longitud y el ancho del canal pueden ser a veces condiciones severas para la TSHD, porque el método de dragado de la TSHD difiere de otros métodos. La TSHD es una draga que trabaja mientras navega hacia delante y requiere una gran longitud de canal. Tanto el canal interno como el externo del Puerto de La Unión son suficientemente largos para que la TSHD sea empleada adecuadamente. La TSHD necesita cierto ancho y una suficiente profundidad al final del área de dragado para girar. El tirante de agua en el área exterior del canal es mayor de 7 m, que es suficiente para que cualquier tipo normal de TSHD gire.

La longitud y ancho del canal de acceso al Puerto de La Unión no constituyen una condición crítica para las dragas restantes.

5) Condiciones marítimas

Las condiciones del viento en el área de La Unión son de calma durante todo el año, por lo que no son críticas.

El oleaje en el canal interno es suficientemente débil para poder emplear cualquier tipo de draga. Sin embargo, el canal externo está expuesto al oleaje y marejadas (swell). Los perforadores y porta perforadores deben resistir a las fuerzas generadas por las olas y marejadas. Como consecuencia, la draga de succión con cabezal cortador y la draga retroexcavadora con sistema de posicionamiento con perforadores no serían recomendadas.

La corriente de marea alcanza 1,79 m/s como máximo en el Puerto de La Unión. El límite máximo operacional contra la corriente de marea para una draga de cuchara es 1,5 nudos (0,77 m/s), el de una draga retroexcavadora es 2 nudos (1,03 m/s) y el de la TSHD es 3 nudos (1,54 m/s).

TSHD está considerada como la menos afectada por la corriente de marea que otras dragas.

6) Tráfico de otras embarcaciones

Para un dragado de mantenimiento, la navegación de otras embarcaciones en el área de dragado no se puede ignorar. La tasa de interrupción del tráfico de otras embarcaciones está relacionada con el sistema de posicionamiento de las dragas. Las dragas de cuchara utilizan cables de ancla que pueden interrumpir el tráfico de otras embarcaciones cercanas. Las dragas de cuchara tendrían que aflojar cables de ancla para hacer una profundidad suficientemente y segura para el calado de las embarcaciones que pasan sobre los mismos y así necesitan suspender la operación de dragado en ese momento. El sistema de perforadores afecta poco el tráfico de embarcaciones. En caso de dragas de succión con cabezal cortador, las líneas de tubería de descarga, si se encuentran flotando sobre el agua, pueden bloquear el canal de navegación. Para evitarlo, las líneas de tubería de descarga deben ser colocadas en el fondo marino y necesitan más esfuerzo de trabajo. Todas las dragas mencionadas son normalmente fijadas en sus sitios de trabajo, lo que hace difícil moverlas fácilmente en caso de emergencia. La TSHD afecta poco el tráfico de otras embarcaciones, ya que no tiene anclas.

Por consiguiente, la TSHD es el mejor tipo de draga de entre los cuatro tipos descritos anteriormente.

7) Botadero

En este proyecto, el botadero está ubicado mar adentro, entre 15,0 y 36,0 km alejado del área de dragado. El método normal de disposición de tierra para una draga de succión con cabezal cortador consiste en descargar el material dragado desde el extremo del tubo al área de disposición. Aunque sería posible descargar lejos el material dragado utilizando una bomba de carga, la máxima distancia de descarga de una draga de succión con cabezal cortador es normalmente alrededor de 2 ó 3 km. Por tanto, la draga de succión con cabezal cortador no resulta apropiada para este proyecto.

8) Productividad

Por lo general, la productividad depende más del tamaño y capacidad de cada draga y no del tipo de draga. Asimismo la productividad depende altamente de la habilidad de los operadores, la administración y de otros factores más que del equipo en sí.

Sin embargo, en caso de una draga de cuchara, puesto que el trabajo de dragado no es continuo, se considera que su productividad de dragado es inferior. Particularmente en el Puerto de La Unión la corriente de marea alcanza 1,79 m/s y por tanto, comparando el límite operacional de la draga contra la corriente de marea arriba descrita, la productividad de la draga de cuchara es la más baja y la de la TSHD es la más alta.

9) Eficiencia del costo

La eficiencia del costo está relacionada con la productividad y el costo de movilización. El costo de movilización para la TSHD y la draga de cuchara es menor que el de las dragas no autopropulsadas tales como draga de succión con cabezal cortador y la draga retroexcavadora. Tanto la TSHD como la draga de cuchara pueden ser autopropulsadas, por lo que será difícil comparar el costo de movilización entre la TSHD y la draga de cuchara. Después de todo, la eficiencia del costo va a depender de la productividad. La eficiencia del costo de la TSHD puede considerarse el mejor debido a la mejor productividad de ésta.

Las consideraciones arriba mencionadas se listan en la Tabla 5.7, 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 5.7.

Tabla 5.7 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 % (un mes/tres 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 porcentaje de trabajo está dado por la siguiente igualdad

Ratio de Trabajo = (periodo que sea necesario para el dragado por cierta capacidad de draga/periodo de dragado requerido) x100

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

Esta cláusula es válida para el método de evaluación del ratio de trabajo y el estudio sobre la capacidad de draga en caso de re-dragado y dragado de mantenimiento.

(1) Condiciones físicas de dragado

Las condiciones físicas para determinar la capacidad de draga se presentan a continuación.

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 5.17)
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

CEPA evalúa la eficiencia de carga entre el 65 y 75%, sin embargo, de acuerdo con el informe del barco “Seiryuu Maru, en el mejoramiento de la eficiencia de dragado con una nueva draga de succión/buque de recuperación de aceite, por la Agencia de desarrollo regional de Chubu de MLIT

en Japón, “el volumen de limo en la tolva fue del 59,2 %”. Por tanto, la eficiencia de carga adoptada en este estudio es del 60 %.

La ubicación del botadero en el momento del dragado inicial del canal (2007) fue determinada con la aprobación del Ministerio de Medio Ambiente, El Salvador. La idea del mismo Ministerio fue utilizar la misma área de agua como botadero de dragado puntual en este estudio (refiérase a Figura 5.17).

Está considerado que el tiempo de dragado es 0,5 horas y el tiempo de retorno es 0,25 horas, con un total de 0,75 horas. El tiempo de descarga es 0,15 horas y el tiempo de retorno es 0,15 horas, con un total de 0,3 horas.

La velocidad de la draga a plena carga hacia el botadero se considera ser de 10,2 kn, y la de la draga de carga ligera de 10,8 kn.

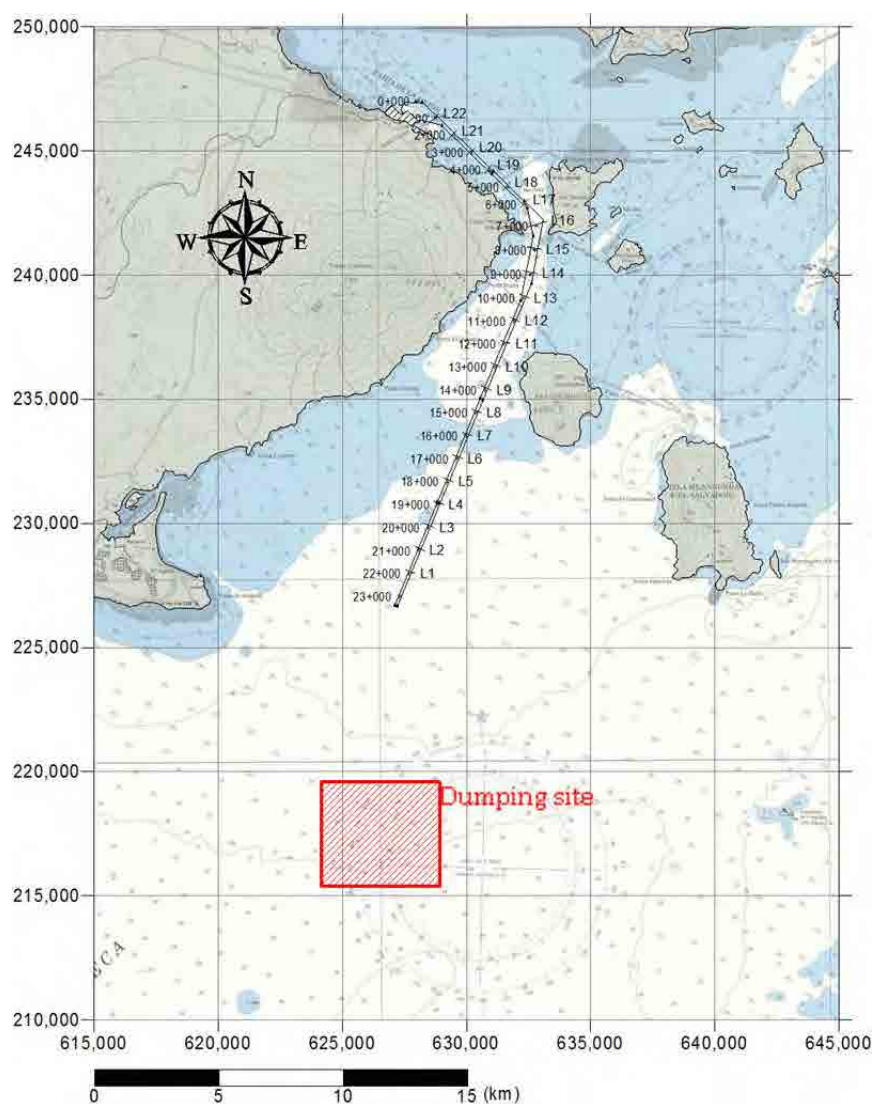


Figura 5.17 Ubicación del botadero

(2) Condiciones de trabajo de dragado

Las condiciones de trabajo de dragado se presentan a continuación.

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

Cinco (5) días están establecidos como días laborables semanales, el trabajo comienza el lunes por la mañana y se regresa al puerto el sábado por la mañana. La revisión del equipo y herramientas se hace en sábado y se descansa en domingo.

(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.

La Figura 5.18 presenta un ejemplo particular del tiempo en que una draga se dirige al botadero mar adentro y regresa al área de dragado donde estaba. El ejemplo correspondiente se muestra en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8 Ejemplo de cálculo de horas laborables

Profundidad objetivo del canal (para el dragado de mantenimiento):	12 m
Área de dragado: Secciones de 1 km sobre la línea lateral de L19	
Distancia al botadero:	33,5 km
Volumen objetivo de dragado (para el dragado de mantenimiento):	151.000 m ³ (cada 3 meses)
(Valor predicho con el modelo exponencial modificado) Ciclo de dragado: 3 meses	
Capacidad de tolva: 5.000 m ³	(capacidad efectiva 3.000 m ³)

【Tiempo para una rotación de dragado】 refiérase a la Figura 5.18.

Trabajo de dragado y retorno	0,75 hr
Hacia el botadero	1,77 hr
Trabajo de descarga y retorno	0,30 hr
Retorno desde el botadero	1,67 hr

Total:	4,49 hrs
--------	----------

【Tiempo necesario para lograr un volumen de dragado objetivo】

Volumen de tierra manejable por una draga cuando hace un recorrido de ida y vuelta al botadero: 3.000 m³

Volumen de dragado de mantenimiento para la sección de 1 km en L19: 151.000 m³

Por consiguiente, una draga tiene que hacer 50,3 recorridos de ida y vuelta para dragar el volumen de dragado de mantenimiento. El tiempo total alcanza 225,8 horas, puesto que el tiempo necesario para un recorrido es de 4,49 horas.

【Ratio de trabajo】

El resultado arriba obtenido se refiere al tiempo necesario para dragar una sección de 1 km del canal incluyendo la línea lateral L19. El mismo cálculo se hace sobre otra sección de 1 km donde sea necesario el dragado y se suma a dicho resultado. El total representa el tiempo necesario para realizar un dragado de mantenimiento en la totalidad del canal con una draga equipada de una tolva de 5.000 m³. El tiempo total sumado fue 1.047 horas en este ejemplo.

Por otra parte, ya que los días laborables en 3 meses son 55 días (220 días/4) según las condiciones de trabajo, el tiempo laborable real viene a ser 55 días x 19,2 horas = 1.056 horas

Por consiguiente, en este caso;

Ratio de trabajo = (1.047 hrs/1.056 hrs) x 100 = 99 %

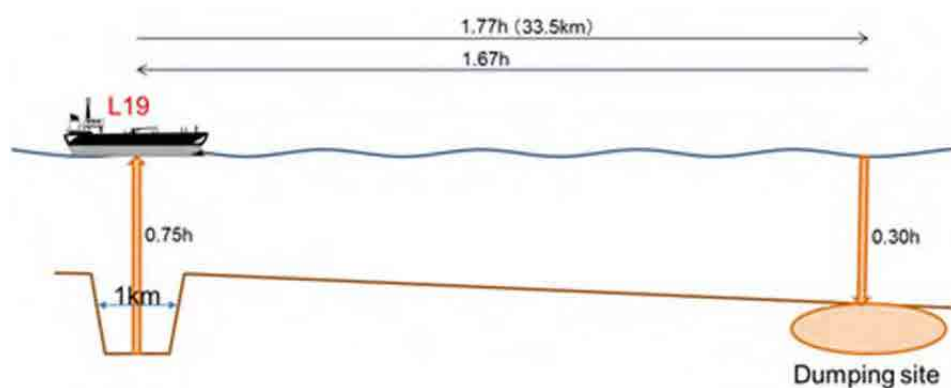


Figura 5.18 Tiempo necesario para el trabajo de dragado

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

Cada profundidad objetivo del canal fue establecida determinando un volumen de dragado de mantenimiento por re-dragado y un ciclo de dragado en las secciones de 5.1 a 5.2. 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 5.9 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.

Tabla 5.9 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)

La

Tabla 5.10 y la Tabla 5.11 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 5.10 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
Capacidad de draga m ³	3 meses	1.000	1.500	3.000	5.000	8.500	15.000
		(39)	(92)	(87)	(99)	(99)	(88)
	4 meses	1.000	1.500	3.000	5.500	9.500	15.000
		(40)	(96)	(90)	(94)	(92)	(91)
	6 meses	1.000	2.000	3.000	6.000	9.500	15.000
		(44)	(78)	(97)	(92)	(99)	(98)
	12 meses	1.000	2.000	4.000	6.500	11.000	15.000
		(58)	(99)	(89)	(97)	(92)	(100)

Los números entre paréntesis son ratios de trabajo (%)

Tabla 5.11 Capacidad de draga necesaria para el dragado de mantenimiento (m^3), aplicando el modelo lineal

Tirante de agua de mantenimiento		9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Ciclo de dragado							
Capacidad de draga m^3	3 meses	1.000	1.500	3.000	5.000	7.500	10.000
		(39)	(92)	(87)	(98)	(96)	(98)
	4 meses	1.000	1.500	3.000	5.500	7.500	10.000
		(40)	(96)	(90)	(91)	(97)	(99)
	6 meses	1.000	2.000	3.000	5.500	7.500	11.000
		(44)	(78)	(97)	(94)	(98)	(92)
	12 meses	1.000	2.000	4.000	5.500	8.000	15.000
		(58)	(99)	(82)	(97)	(96)	(74)

Los números entre paréntesis son ratios de trabajo (%)

La Figura 5.19 y la Figura 5.20 ilustran respectivamente la

Tabla 5.10 y la Tabla 5.11.

La capacidad de draga necesaria para mantener un tirante de agua de 9 a 11 m es entre 1.000 y 4.000 m^3 , y su valor es casi el mismo tanto con el modelo exponencial modificado como con el modelo lineal. Sin embargo, existe una pequeña diferencia entre ambos modelos cuando el tirante de agua objetivo es mayor de 12 m. El modelo exponencial modificado presenta una capacidad de draga necesaria de 15.000 m^3 para un tirante de agua objetivo de 14 m, comparada con la de entre 10.000 y 15.000 m^3 obtenida con el modelo lineal.

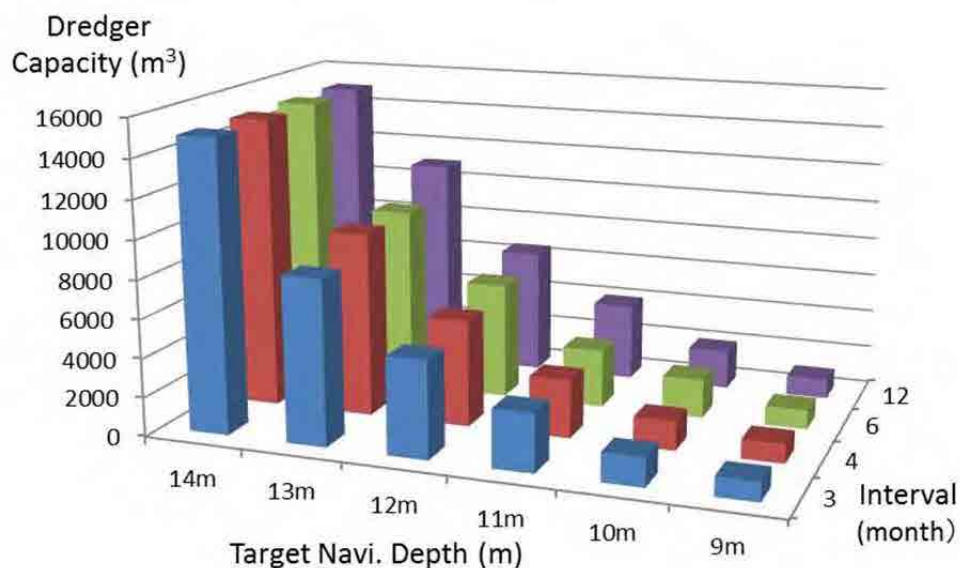


Figura 5.19 Capacidad de draga necesaria para el dragado de mantenimiento (m^3), aplicando el modelo exponencial modificado

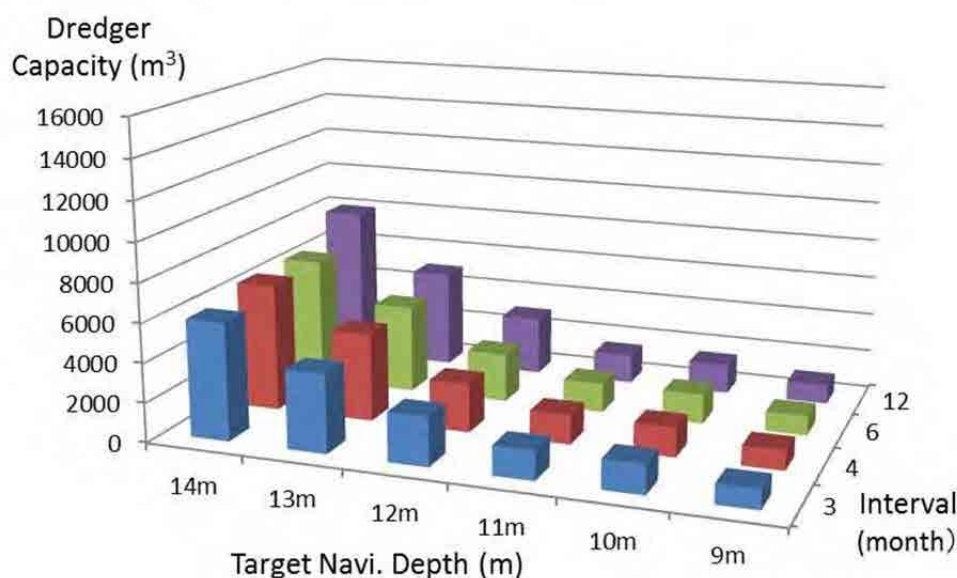


Figura 5.20 Capacidad de draga necesaria para el dragado de mantenimiento (m^3), aplicando el modelo lineal

5.4 Estimación del Costo 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 5.21 y la Figura 5.22 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.

En lo sucesivo, se da una explicación en forma colectiva conjunta respecto al mismo concepto de estimación del costo y en forma separada respecto al concepto diferente de estimación del costo entre un dragado a base de contrato y un dragado con propia draga.

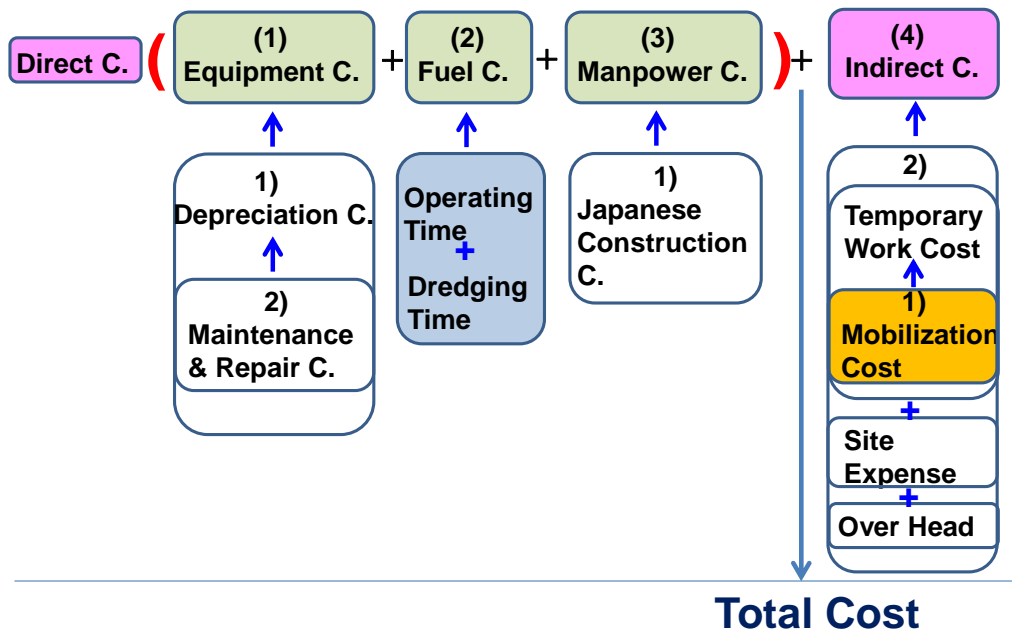


Figura 5.21 Estimación del costo de dragado a base de contrato

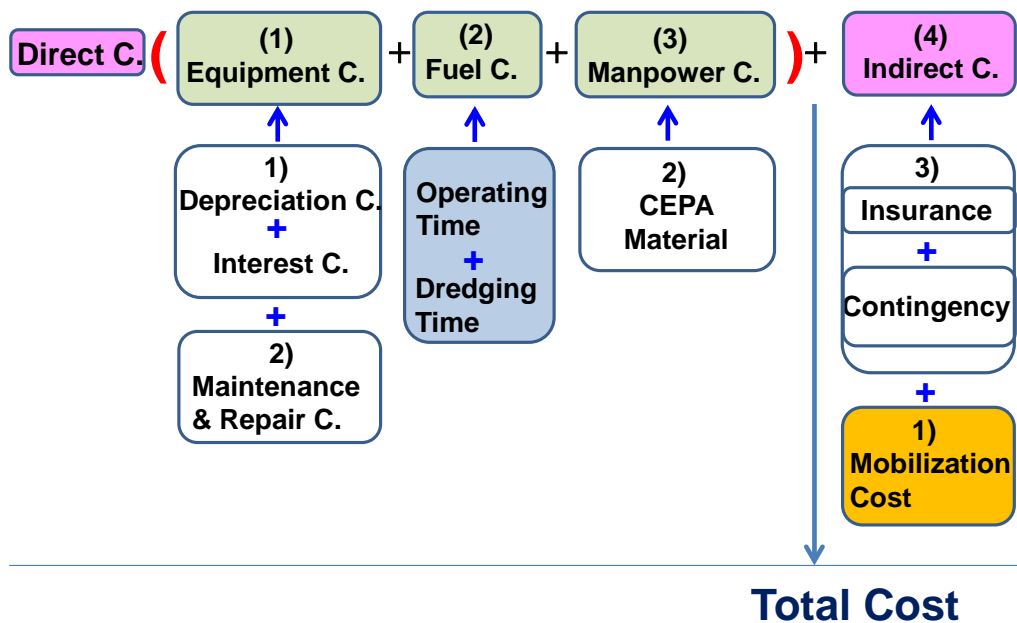


Figura 5.22 Estimación del costo de dragado con propia draga de CEPA

5.4.1 Consideraciones sobre el costo estimado de dragado

(1) Costo de maquinaria (Costo directo)

El costo de maquinaria (costo directo) consta de gastos de amortización, mantenimiento y reparación.

1) Gasto de amortización

Lo básico del gasto de amortización común para un dragado a base de contrato y un dragado con propia draga es el precio de fabricación de la draga TSHD (Draga de succión en marcha). Sin embargo, el concepto de interés es diferente entre los dos. Primero, se describe el precio de fabricación de la draga que es común para ambos casos.

La Tabla 5.12 presenta un precio de fabricación de una draga nueva y una de segunda mano de un fabricante de barcos, estudiado por CEPA. En la

Tabla 5.13 se lista el precio real de fabricación de una TSHD en Japón.

Tabla 5.12 Precio de fabricación de draga estudiado por CEPA

No.	Fabricante de barcos	Capacidad	Precio (US\$)	Nueva o de segunda mano
1	IHC MERWEDE	2.400 m ³	34.318.967	Nueva
2	DAMEN	2.500 m ³	25.639.000	Nueva
3	IHC MERWEDE	3.300 m ³	26.620.967	Segunda mano (10 años)

Tabla 5.13 Precio de fabricación de draga en Japón (Base real)

No.	Fabricante de barcos	Capacidad	Precio (US\$)	Año de fabricación	Observaciones
1	MHI	1.000 m ³	20.600.000	2007	Nueva fabricación (Puerto de Beira)
2	MHI	1.700 m ³	65.000.000	2005	Seiryu Maru (Draga con funciones de recuperación de aceite y prevención de desastres)
3	IHI	1.350 m ³	55.000.000	2002	Hakusan Maru (Draga con funciones de recuperación de aceite)
4	IHI	2.000 m ³	63.000.000	2000	Kaisho Maru (Draga con funciones de recuperación de aceite)
5	IHI	750 m ³	50.000.000	2011	Kairyu Maru (equipado con funciones recientes)

A pesar de que la capacidad de draga es más pequeña que la de dragas estudiadas por CEPA, los precios reales de fabricación de Japón son comparativamente altos, según la Tabla 5.12 y la

Tabla 5.13. Esto es porque los buques Seiryu Maru, Hakusan Maru, Kaisho Maru y Kairyu Maru no solamente tienen funciones de dragado sino también están equipados con un sistema más avanzado para la operación totalmente automatizada, así como para la recuperación de aceite y prevención de desastres. Por lo que no pueden ser comparados directamente.

Revisando el manual “Dragado: Manual de Ingenieros” escrito por R N Bray, A D Bates & J M Land 1997 Arnold, UK, como una fuente de información aparte, el costo actual fue evaluado sobre la base de precios de fabricación de la TSHD.

La Figura 5.23 presenta los datos ingresado de precios de fabricación sobre la base del Manual y los datos provenientes de CEPA. Sin embargo, los datos de dragas de segunda mano fueron excluidos de los datos de CEPA. Los datos del manual y los de CEPA coinciden entre sí a menudo. Por tanto, la estimación fue hecha con una línea aproximadamente recta indicando los precios de fabricación de dragas en la figura. Los resultados de la estimación se observan en la Tabla 5.14 como precios de fabricación.

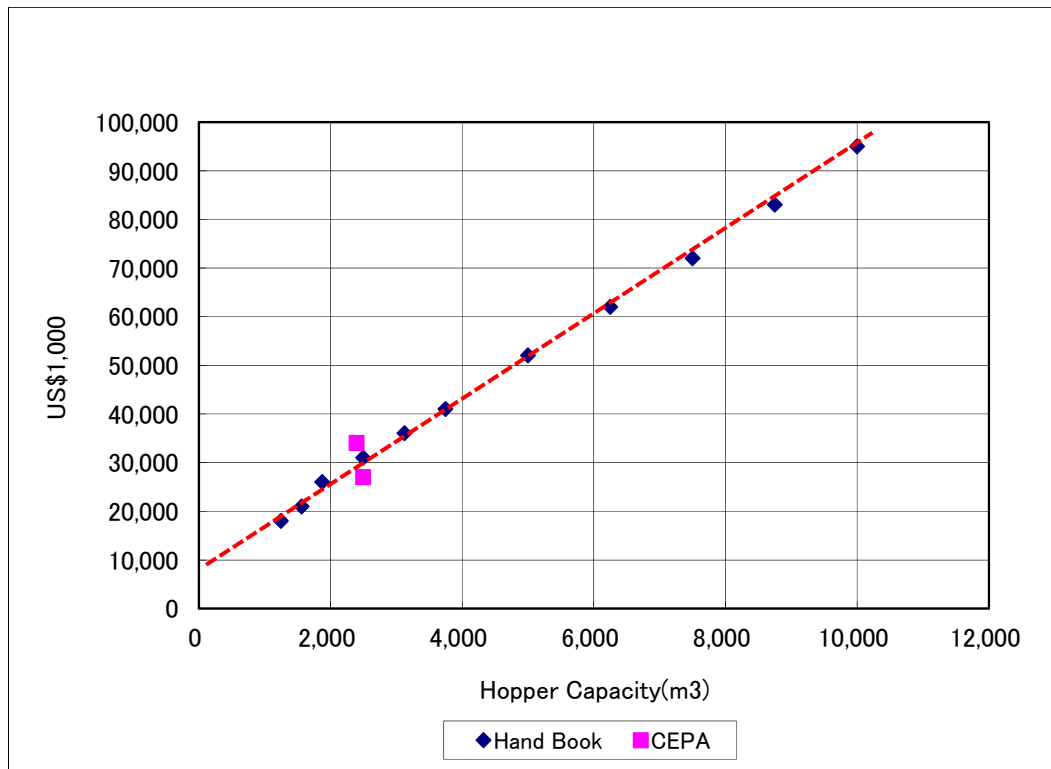


Figura 5.23 Precio de fabricación de una TSHD según su capacidad

【Dragado a base de contrato 】

Los gastos de depreciación constan de una tarifa de alquiler por una hora de operación y una tarifa de alquiler por un día de operación en un dragado a base de contrato. Estos gastos pueden ser calculados con la fórmula abajo indicada basada en “el Estándar de Cálculo de Tarifas de Alquiler de Buques y Maquinarias en Japón”.

Tarifa de alquiler horaria =

$$\text{Ship building cost} \times \frac{1/2 \times (\text{Depreciation rate} + \text{Maintenance \& repair cost ratio})}{\text{Durable years}} \times \frac{1}{\text{Working hours in year}} \quad (5.5)$$

Tarifa de alquiler diaria =

$$\text{Ship building cost} \times \left[\frac{1/2 \times (\text{Depreciation rate} + \text{Maintenance \& repair cost ratio})}{\text{Durable years}} + \text{Yearly administration cost} \right] \times \frac{1}{365} \quad (5.6)$$

Las siguientes suposiciones fueron hechas con estas fórmulas.

Tasa de depreciación:	0,9
Tasa de mantenimiento y reparación:	1,3
Vida útil:	20 años
Horas de operación anuales:	4.224 horas (condición de trabajo de dragado: 220 días × 19,2 horas)
Tasa administrativa anual:	0,06

Sustituyendo estos valores en las ecuaciones (5.5) y (5.6), tenemos

$$\text{Tarifa de alquiler horaria} = \text{precio de fabricación de draga} \times (1,30208 \times 10^{-5}) \quad (5.7)$$

$$\text{Tarifa de alquiler diaria} = \text{precio de fabricación de draga} \times (3,15 \times 10^{-4}) \quad (5.8)$$

Las tarifas de alquiler horaria y diaria según la capacidad de draga se presentan en la Tabla 5.14.

El gasto de depreciación anual se calcula con la siguiente ecuación basada en dichas tarifas de alquiler.

$$\begin{aligned} \text{Gasto de depreciación} &= (\text{tarifa de alquiler horaria}) \times (\text{horas de operación anuales de draga}) \\ &+ (\text{tarifa de alquiler diaria}) \times (\text{días de operación anuales de draga}) \end{aligned} \quad (5.9)$$

Por ejemplo, en la Figura 5.18, las horas de operación anuales de draga son 4.188 horas (1.047 horas × 4 veces) y los días de operación anuales de draga vienen a ser 365 días.

Tabla 5.14 Costo de maquinaria de la TSHD según su capacidad

Hopper capacity (m ³)	Construction Cost (US\$)	Hourly operating cost (US\$)	Daily in-service Depreciation cost(US\$)
1,000	15,800,000	205.73	4,978.08
1,500	20,200,000	263.02	6,364.38
2,000	24,600,000	320.31	7,750.68
2,500	29,000,000	377.60	9,136.99
3,000	33,400,000	434.90	10,523.29
3,500	37,800,000	492.19	11,909.59
4,000	42,200,000	549.48	13,295.89
4,500	46,600,000	606.77	14,682.19
5,000	51,000,000	664.06	16,068.49
5,500	55,400,000	721.35	17,454.79
6,000	59,800,000	778.65	18,841.10
6,500	64,200,000	835.94	20,227.40
7,000	68,600,000	893.23	21,613.70
7,500	73,000,000	950.52	23,000.00
8,000	77,400,000	1,007.81	24,386.30
8,500	81,800,000	1,065.10	25,772.60
9,000	86,200,000	1,122.40	27,158.90
9,500	90,600,000	1,179.69	28,545.21
10,000	95,000,000	1,236.98	29,931.51
11,000	103,800,000	1,351.56	32,704.11
15,000	139,000,000	1,809.90	43,794.52

【Dragado con draga propia】

Los gastos de depreciación para un dragado con draga propia, están basados en el precio de fabricación de la misma (Tabla 5.14), y se calculan a partir del gasto de depreciación anual y el interés derivado del monto de crédito para el precio de fabricación de draga.

El gasto de depreciación anual está calculado en 1/20 del precio de fabricación de draga. Una suma total del interés a depreciar en 20 años con una tasa del 7 % está calculada como interés medio anual de 20 años.

2) Costo de mantenimiento y reparación

El costo de mantenimiento y reparación es diferente entre un dragado a base de contrato y un dragado con draga propia. Y, el costo de recorrido para una inspección periódica se cuenta por separado en el costo indirecto.

【Dragado a base de contrato 】

El gasto de depreciación de un dragado a base de contrato incluye ya el costo necesario para el mantenimiento y reparación como costo de mantenimiento y reparación y costo de administración anual (refiérase a la Ecuación (5.5) y la (5.6)). Por tanto, no es necesario considerar aquí especialmente el costo de mantenimiento y reparación.

【Dragado con draga propia】

El costo de mantenimiento y reparación anual adopta el 8 % del precio de fabricación de la draga siguiendo la idea de CEPA.

(2) Costo de combustible

El costo de combustible horario se calcula como sigue:

Costo de combustible horario

= fuerza del motor total (kw) × ratio de consumo de combustible (ℓ/kw/h) × precio unitario de combustible (US\$/ℓ)

La fuerza total del motor es la suma de la potencia de bombeo y la de propulsión. Es necesario manejar por separado la potencia de bombeo y la de propulsión y no considerar la fuerza del motor total en el cálculo de combustible. Esto es porque es necesario considerar no solamente la potencia de bomba sino también la potencia de propulsión en un dragado (un dragado se hace mientras se mueve la draga), aunque se considera sólo la potencia de propulsión cuando se hace un recorrido de ida y vuelta al botadero. Sin embargo, no hay datos (información) para separar la potencia de bomba y la potencia de propulsión, por lo que se ha hecho la siguiente consideración aquí.

La Figura 5.24 muestra la relación entre la fuerza total del motor de la TSHD y la capacidad de la TSHD actualmente operando. La relación de ambas representa aproximadamente la línea recta ($R^2=0,9215$) y la fuerza total del motor fue obtenida en función de la capacidad de la TSHD. La Figura 5.25 presenta la relación entre la capacidad de TSHD y la potencia de bomba. La potencia de bomba correspondiente a la capacidad de la TSHD fue obtenida de esta figura.

La Tabla 5.15 muestra la fuerza total del motor, potencia de bomba y potencia de propulsión según la capacidad de la TSHD. De estos valores, la potencia de propulsión se obtiene sustrayendo la potencia de bomba de la fuerza total del motor.

El ratio de consumo de combustible está establecido en 0,277 ℓ /kw/h (dragas de cuchara según el estándar de cálculo de costo en Japón).

El precio unitario de combustible está establecido en US\$0,99/ ℓ en abril de 2013.

El costo de combustible está calculado con la siguiente expresión, dividiendo las horas de dragado y las de movilización.

Costo de combustible en el tiempo de dragado (horario) = (potencia de bomba + potencia de propulsión) (kw) × ratio de consumo de combustible (ℓ /kw/h) × precio unitario de combustible (US\$/ ℓ)

Costo de combustible en el tiempo de navegación (horario) = potencia de bomba (kw) x ratio de

consumo de combustible (ℓ /kw/h) × precio
unitario de combustible (US\$/ ℓ)

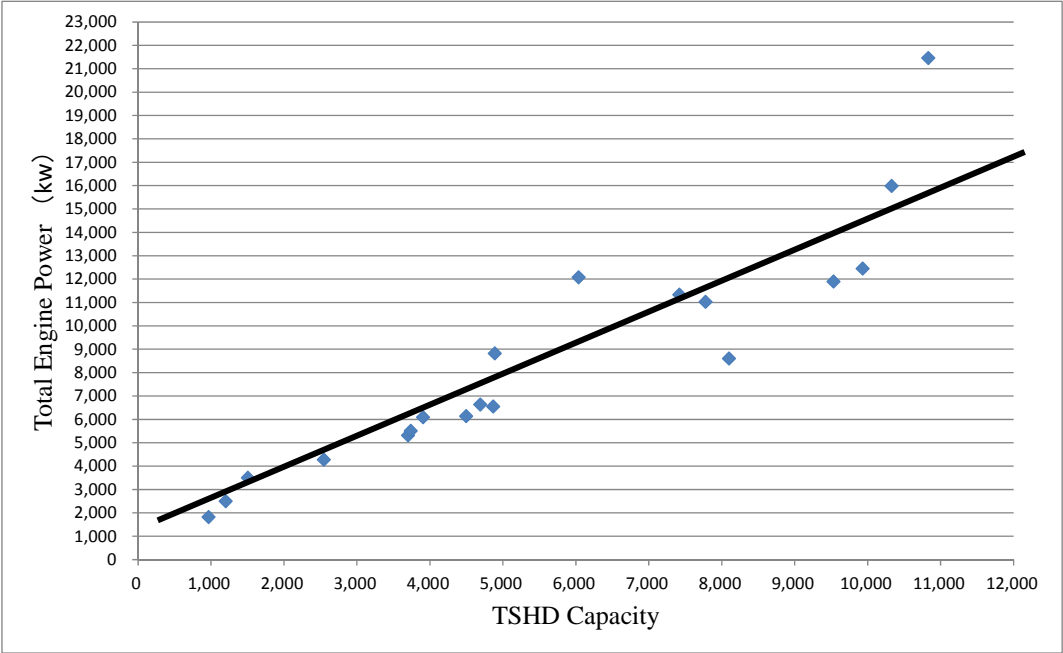
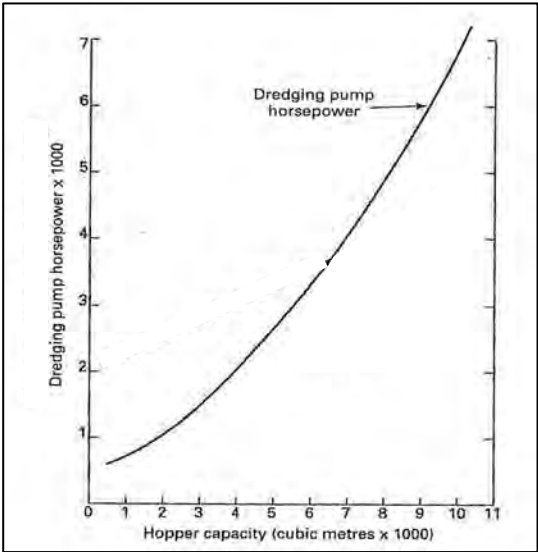


Figura 5.24 Relación entre la capacidad de la TSHD y la fuerza total del motor



(Fuente: “Dragado; Manual de ingenieros” 2ª edición, R N Bray, A D Bates & J M Land 1997 Arnold, UK)

Figura 5.25 Relación entre la capacidad de la TSHD y la potencia de bomba

Tabla 5.15 Desglose de la fuerza del motor según la capacidad de la TSHD (potencia de bomba y potencia de propulsión)

Hopper capacity (m ³)	Total installed power(kw)	Dredging pump (kw)	Propulsion power(kw)
1,000	2,100	500	1,600
1,500	2,800	700	2,100
2,000	3,400	700	2,700
2,500	4,100	1,000	3,100
3,000	4,800	1,100	3,700
3,500	5,500	1,300	4,200
4,000	6,100	1,500	4,600
4,500	6,800	1,700	5,100
5,000	7,500	1,900	5,600
5,500	8,100	2,200	5,900
6,000	8,800	2,500	6,300
6,500	9,500	2,800	6,700
7,000	10,200	3,100	7,100
7,500	10,800	3,400	7,400
8,000	11,500	3,700	7,800
8,500	12,200	4,000	8,200
9,000	12,900	4,400	8,500
9,500	13,500	4,800	8,700
10,000	14,200	5,100	9,100
11,000	15,500	5,600	9,900
15,000	20,900	7,000	13,900

(3) Costo de tripulación

1) Dragado a base de contrato

El costo de tripulación para un dragado a base de contrato fue calculado con el siguiente supuesto.

Tres (3) diferentes categorías dependiendo de la capacidad de draga están consideradas sobre el número de tripulantes para el cálculo del costo de tripulación. El número de tripulantes se considera de 12 para la categoría de draga de pequeña capacidad menor de 5.000 m³; 21 tripulantes se consideran para las dragas de capacidad entre 5.000 m³ y 10.000 m³ como categoría media; y, 34 tripulantes se consideran para las dragas cuya capacidad excede 10.000 m³ como categoría grande.

Los detalles de los números de tripulantes arriba mencionados y el costo unitario laboral se presentan en la Tabla 5.16. La columna de oficiales corresponde a tripulantes de alto nivel como el capitán, 1er oficial, ingeniero en jefe, ingeniero electricista, capataz de operación de dragado; y marinero se refiere a tripulantes comunes. “Costo unitario laboral para el trabajo de diseño de obras públicas de construcción en Japón (Datos de Estimación de Costo)” fue utilizado como referencia para el costo de tripulación indicado en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16 Número de tripulantes de alto nivel y tripulantes comunes y el costo unitario laboral (excluyendo las prestaciones sociales y otros gastos)

Rango de tripulantes (Costo laboral diario)	Oficial (US\$259)	Marinero (US\$202)	Total de tripulantes
Categoría de capacidad pequeña: menos de 5.000m ³	5	7	12
Categoría de capacidad media: de 5.000 a 10.000 m ³	9	12	21
Categoría de capacidad grande: más de 10.000 m ³	15	19	34

El costo de tripulación por un año de operación se calcula con la Ecuación (5.10).

Costo de tripulación por un año de operación = No. de tripulantes \times costo/tripulante \times 365 días (5.10)

Costo anual de tripulación de la categoría de pequeña capacidad se calcula con la Ecuación (5.10) como sigue;

Costo de tripulación por un año de operación (tripulantes de nivel alto) = 5 personas \times US\$ 259 \times 365 días=US\$ 472.675

Costo de tripulación por un año de operación (tripulantes comunes) =7 personas \times US\$ 202 \times 365 días
=US\$ 516.110

Total: US\$ 988.785

La Tabla 5.17 muestra los resultados del cálculo de los costos de tripulantes para las otras dos categorías.

Tabla 5.17 Costo anual de tripulantes según categoría

Nivel de tripulantes	Oficial (US\$)	Marinero (US\$)	Costo anual de tripulación (US\$)
Categoría de capacidad pequeña: menos de 5.000 m ³	472.675	516.110	988.785
Categoría de capacidad media: de 5.000 a 10.000 m ³	850.815	884.760	1.735.575
Categoría de capacidad grande: más de 10.000 m ³	1.418.025	1.400.870	2.818.895

2) Dragado con draga propia

En caso de un dragado con draga propia, el número de tripulantes se divide también en 3 categorías dependiendo de la capacidad de draga. La categoría y el número de tripulantes se establecen de la misma forma que el caso de dragado a base de contrato (Tabla 5.16).

El costo unitario de tripulación se determina basándose en el costo anual de tripulación supuesto por CEPA para un dragado con draga propia. CEPA calcula US\$ 622.440 como el costo anual de tripulación (incluyendo las prestaciones sociales y otros gastos), cuando el número necesario de marineros es siete en una tripulación con 3 turnos.

Está considerado un mismo número de tripulantes en caso de un dragado con draga propia que en un dragado a base de contrato. Por ejemplo, si en la categoría de capacidad pequeña se establecen 12 marineros en un turno, como ya se ha descrito, el costo anual de tripulación se obtiene con 12/7 veces del costo anual de tripulación de CEPA. A su vez, puede alcanzar 21/7 veces para la categoría de capacidad mediana y 34/7 veces para la categoría de capacidad grande. Estos resultados aparecen en la Tabla 5.18.

Tabla 5.18 Costo de tripulación en caso de dragado con draga propia (costo unitario de CEPA incluyendo

las prestaciones sociales y otros gastos)

Nivel de tripulantes	No. de marineros en una tripulación	Costo anual de tripulación (US\$)
Categoría de capacidad pequeña: menos de 5.000 m ³	12	1.067.040
Categoría de capacidad media: de 5.000 a 10.000 m ³	21	1.867.320
Categoría de capacidad grande: más de 10.000 m ³	34	3.023.280

(4) Costo indirecto

1) Costo de movilización

El costo de movilización consta de un costo de movilización para navegar primero al área de dragado (costo de movilización inicial) y el costo de navegación para las inspecciones periódicas (costo de movilización para inspección).

El costo de movilización en sí es el mismo para un dragado a base de contrato y un dragado con draga propia. La movilización inicial está considerada desde Europa a La Unión y el costo de movilización de ida se presenta según la capacidad de draga en la segunda columna de la Tabla 5.19.

El cálculo del costo anual de movilización inicial es el mismo en ambos casos, pero existe una ligera diferencia entre los dos. En caso de un dragado a base de contrato, el contrato para el trabajo de dragado se supone de 10 años y 1/10 del costo de movilización inicial se cuenta como el costo de cada año (3ª columna de la Tabla 5.19).

Mientras, en caso de un dragado con draga propia, el costo de movilización inicial se cuenta cada año como gasto de depreciación en 20 años siguiendo el periodo de depreciación de draga según CEPA (4ª columna de la Tabla 5.19).

Tabla 5.19 Costo de movilización inicial según la capacidad de draga y costo anual

Capacidad de draga (m ³)	Costo de movilización inicial (ida desde Europa) (US\$)	Costo anual de movilización inicial en un dragado a base de contrato (US\$)	Costo anual de movilización inicial en un dragado con draga propia (US\$)
1.000	450.006	45.001	22.500
1.500	552.061	55.206	27.603
2.000	668.511	66.851	33.426
2.500	756.170	75.617	37.809
3.000	872.625	87.262	43.631
4.000	1.062.338	106.234	53.117
4.500	1.164.393	116.439	58.220
5.000	1.266.447	126.645	63.322
5.500	1.339.710	133.971	66.986
6.500	1.515.032	151.503	75.752
7.000	1.602.691	160.269	80.135
7.500	1.675.953	167.595	83.798
8.000	1.763.612	176.361	88.181

8.500	1.851.270	185.127	92.564
11.000	2.246.381	224.638	112.319
15.000	3.062.827	306.283	153.141

Se hace una inspección periódica una vez al año en la ciudad de Balboa, Panamá. El costo de movilización para la inspección se calcula basándose en la distancia de navegación (recorrido de ida y vuelta) y los días (Tabla 5.20). Puesto que una inspección periódica se realiza una vez al año, la suma total del recorrido de ida y vuelta para el costo de movilización para la inspección periódica viene a ser el costo anual.

Tabla 5.20 Costo de movilización para inspección según la capacidad de draga (Recorrido de ida y vuelta de/a Balboa)

Capacidad de draga (m ³)	Dragado a base de contrato (US\$)	Dragado con draga propia (US\$)
1.000	115.630	104.582
1.500	144.788	130.889
2.000	178.060	161.310
2.500	203.105	183.504
3.000	236.378	213.924
4.000	290.582	262.426
4.500	319.740	288.733
5.000	363.221	315.041
5.500	384.153	333.122
6.500	434.245	377.510
7.000	459.290	399.704
7.500	480.223	417.785
8.000	505.268	439.980
8.500	530.313	462.174
11.000	663.978	560.806
15.000	897.248	771.264

2) Gastos temporales, gastos de campo y gastos administrativos (dragado a base de contrato)

Estos gastos fueron calculados como se muestra a continuación basándose en el estándar de cálculo de costos en Japón.

El desglose de los gastos temporales, gastos de campo y gastos administrativos se presentan en la Tabla 5.25.

Los gastos temporales constan de los costos de movilización, navegación, preparación, etc. y la totalidad de los mismos se calcula con la siguiente ecuación (La movilización se explica en el punto 1 de arriba).

$$\text{Gastos temporales} = K_r \cdot \text{gastos directos} + \text{movilización}$$

$$\text{donde, } K_r = a \cdot (\text{gastos directos} + \text{movilización})^b$$

$$a=357,8 \text{ y } b=-0,2223$$

Los gastos de campo constan de los gastos administrativos laborales, impuestos y gravámenes, seguro, etc. y la suma de los mismos se calcula con la siguiente ecuación.

$$\text{Gastos de campo} = J_o \cdot (\text{gastos directos} + \text{gastos temporales})$$

$$\text{donde, } J_o = a \cdot (\text{gastos directos} + \text{gastos temporales}) + b$$

$$a=57,6 \text{ y } b=-0,0687$$

Los gastos administrativos comprenden los salarios de ejecutivos, los de empleados, pensión de jubilación, etc. y la suma de los mismos se calcula con la siguiente ecuación.

$$\text{Gastos administrativos} = G_p \cdot (\text{gastos directos} + \text{gastos temporales} + \text{gastos de campo})$$

$$\text{donde, } G_p = a \cdot \log + b \cdot (\text{gastos directos} + \text{gastos temporales} + \text{gastos de campo})$$

$$a=-2.57651 \text{ y } b=31.63531$$

Eventualmente los gastos indirectos vienen a ser los siguientes,

$$\text{Gastos indirectos} = \text{gastos temporales} + \text{gastos de campo} + \text{gastos administrativos}$$

3) Costo de seguro y contingencias (Dragado con draga propia)

CEPA considera sólo el costo de seguro y contingencias como costo directo. El costo de seguro cubre “Seguro Todo Riesgo”. Las contingencias incluyen la posible variación de piezas de repuesto, combustible, etc., sin embargo, en este momento hay que comprender que están incluidos los costos inciertos y latentes que no pueden ser cuantificados.

CEPA calcula dichos gastos anuales para una capacidad de draga de 2.500 m³ como se observa en la Tabla 5.21.

Aquí, se calcula la proporción de dichos gastos para el precio de draga (último renglón de la Tabla 5.21) y los gastos indirectos de dragas según la capacidad se calculan multiplicando este ratio por los precios de fabricación de dragas.

Tabla 5.21 Costos de seguro y contingencias estimados por CEPA

Precio de fabricación de draga con una capacidad de 2.500 m ³ (US\$)	Costo de seguro (US\$)	Contingencias (US\$)
25.700.000	300.000	375.000
1	1,167 %	1,459 %

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 5.22 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 5.22 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)	Dredging 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. El resultado de la estimación del costo de dragado de mantenimiento respecto a los volúmenes necesarios predichos con cada modelo se presenta en la Tabla 5.23 y la Tabla 5.24, para el dragado a base de contrato y el dragado con draga propia. Cada tabla muestra el costo de dragado según el tirante de agua y el ciclo de dragado (interval). El menor costo de dragado a cada profundidad objetivo está resaltado en amarillo.

Tabla 5.23 Costo de dragado con el modelo exponencial modificado

Target Navi. Depth (m)	Interval (mon)	Total (10 ³ m ³ /year)	Hopper Capacity (m ³)	Working Ratio (%)	Dredging Cost by Contract base (US\$/m ³)	Dredging Cost by Contract base (US\$/year)	Dredging Cost by own Dredger (US\$/m ³)	Dredging Cost by own Dredger (US\$/year)
9.00	3.00	215	1,000	39	28.62	6,180,915	23.19	5,008,901
9.00	4.00	224	1,000	40	27.79	6,253,477	22.41	5,043,348
9.00	6.00	245	1,000	44	26.06	6,410,989	20.80	5,117,958
9.00	12.00	323	1,000	58	21.65	6,992,536	16.70	5,393,737
10.00	3.00	770	1,500	92	13.41	10,356,241	9.76	7,536,076
10.00	4.00	802	1,500	96	13.19	10,562,431	9.53	7,636,554
10.00	6.00	871	2,000	78	13.14	11,434,443	9.48	8,244,892
10.00	12.00	1,107	2,000	99	11.61	12,850,584	8.40	9,298,730
11.00	3.00	1,461	3,000	87	10.78	15,737,961	8.05	11,759,663
11.00	4.00	1,516	3,000	90	10.59	16,037,415	7.86	11,910,356
11.00	6.00	1,631	3,000	97	10.22	16,657,935	7.50	12,223,564
11.00	12.00	1,988	4,000	89	9.78	19,451,535	7.35	14,617,232
12.00	3.00	2,944	5,000	99	8.71	25,640,767	6.47	19,055,502
12.00	4.00	3,060	5,500	94	8.66	26,488,048	6.52	19,941,380
12.00	6.00	3,300	6,000	92	8.50	28,063,393	6.29	20,763,960
12.00	12.00	3,813	6,500	97	7.66	29,200,604	5.75	21,920,876
13.00	3.00	5,188	8,500	99	6.45	33,463,184	5.55	28,807,197
13.00	4.00	5,390	9,500	92	6.48	34,928,837	5.67	30,540,773
13.00	6.00	5,804	9,500	99	6.26	36,348,925	5.40	31,333,449
13.00	12.00	6,342	11,000	92	6.45	40,901,032	5.64	35,784,399
14.00	3.00	8,272	15,000	88	6.43	53,165,719	5.66	46,817,552
14.00	4.00	8,584	15,000	91	6.32	54,219,444	5.52	47,411,039
14.00	6.00	9,210	15,000	98	6.12	56,335,308	5.28	48,602,842
-14.00	12.00	9,442	15,000	100	6.04	57,014,795	5.19	48,985,036

Tabla 5.24 Costo de dragado con el modelo lineal

Target Navi. Depth (m)	Interval (mon)	Total ($10^3 \text{ m}^3/\text{year}$)	Hopper Capacity (m^3)	Working Ratio (%)	Dredging Cost by Contract base (US\$/ m^3)	Dredging Cost by Contract base (US\$/year)	Dredging Cost by own Dredger (US\$/ m^3)	Dredging Cost by own Dredger (US\$/year)
9.00	3.00	215	1,000	39	28.80	6,180,915	23.34	5,008,901
9.00	4.00	224	1,000	40	27.88	6,253,477	22.48	5,043,348
9.00	6.00	245	1,000	44	26.14	6,410,989	20.87	5,117,958
9.00	12.00	323	1,000	58	21.68	6,992,536	16.72	5,393,737
10.00	3.00	770	1,500	92	13.45	10,356,241	9.78	7,536,076
10.00	4.00	802	1,500	96	13.16	10,562,431	9.52	7,636,554
10.00	6.00	871	2,000	78	13.13	11,434,443	9.47	8,244,892
10.00	12.00	1,103	2,000	99	11.63	12,829,553	8.10	8,936,712
11.00	3.00	1,461	3,000	87	10.77	15,737,961	8.05	11,759,663
11.00	4.00	1,516	3,000	90	10.58	16,037,415	7.86	11,910,356
11.00	6.00	1,630	3,000	97	10.22	16,655,968	7.50	12,221,218
11.00	12.00	1,827	4,000	82	10.20	18,635,676	7.77	14,204,350
12.00	3.00	2,918	5,000	98	8.40	24,496,627	6.24	18,197,121
12.00	4.00	2,981	5,500	91	8.77	26,154,960	6.51	19,417,834
12.00	6.00	3,083	5,500	94	8.63	26,611,492	6.49	20,001,788
12.00	12.00	3,186	5,500	97	8.49	27,048,217	6.35	20,225,698
13.00	3.00	4,352	7,500	96	7.15	31,116,587	5.90	25,675,580
13.00	4.00	4,379	7,500	97	7.13	31,236,238	5.88	25,739,572
13.00	6.00	4,418	7,500	98	7.11	31,411,086	5.85	25,834,421
13.00	12.00	4,563	8,000	96	7.15	32,635,385	5.91	26,989,699
14.00	3.00	5,875	10,000	98	6.42	37,703,511	5.54	32,566,017
14.00	4.00	5,928	10,000	99	6.40	37,923,832	5.51	32,688,028
14.00	6.00	6,050	11,000	92	6.76	40,903,783	5.91	35,756,291
14.00	12.00	6,548	15,000	74	7.40	48,455,017	6.74	44,140,424

La Figura 5.26 presenta el costo de dragado a base de contrato según el modelo exponencial modificado y el modelo lineal, basado en los valores de la Tabla 5.23 y la Tabla 5.24. En la Figura 5.26, el costo final de dragado a cada tirante de agua está trazado con una curva. De la misma manera, la Figura 5.27 representa el costo de dragado con draga propia.

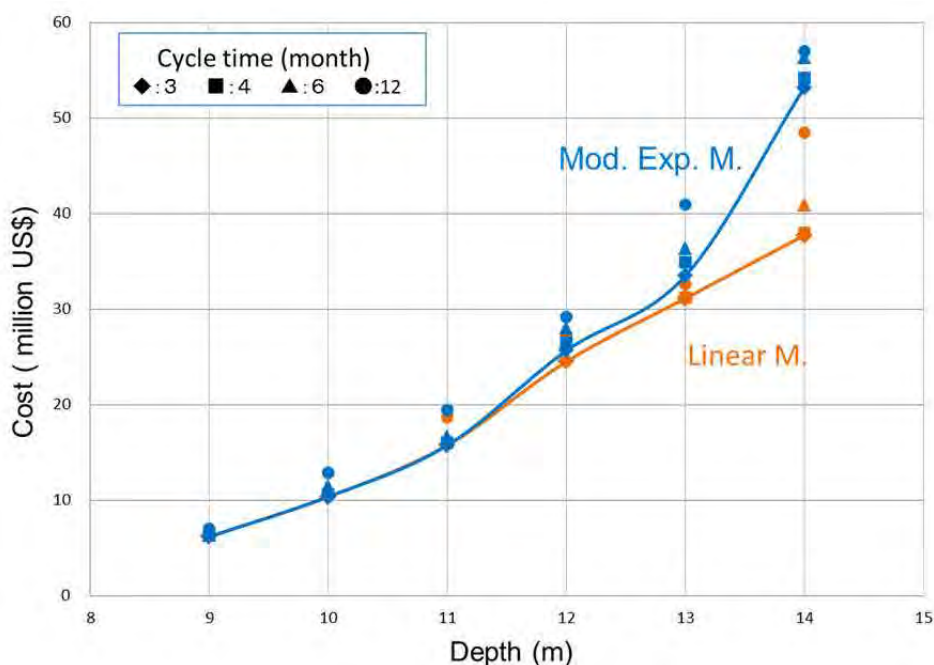


Figura 5.26 Costo de dragado a base de contrato (comparación de costo entre el modelo exponencial modificado y el modelo lineal)

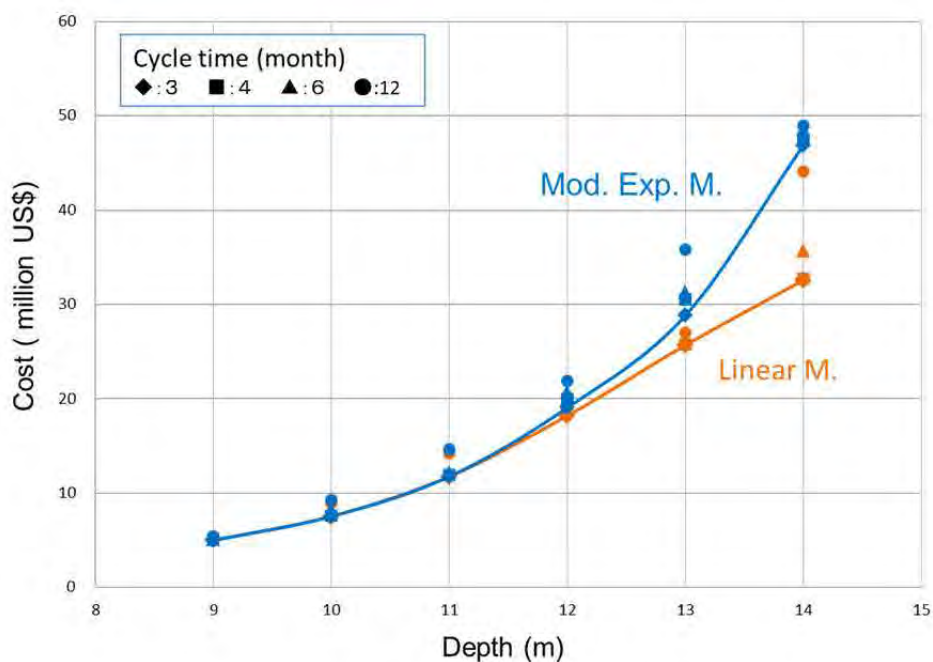


Figura 5.27 Costo de dragado con draga propia (comparación de costo entre el modelo exponencial modificado y el modelo lineal)

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 5.28. 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 5.28 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 las figuras de la Figura 5.29 a la Figura 5.32.

La Figura 5.29 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%.

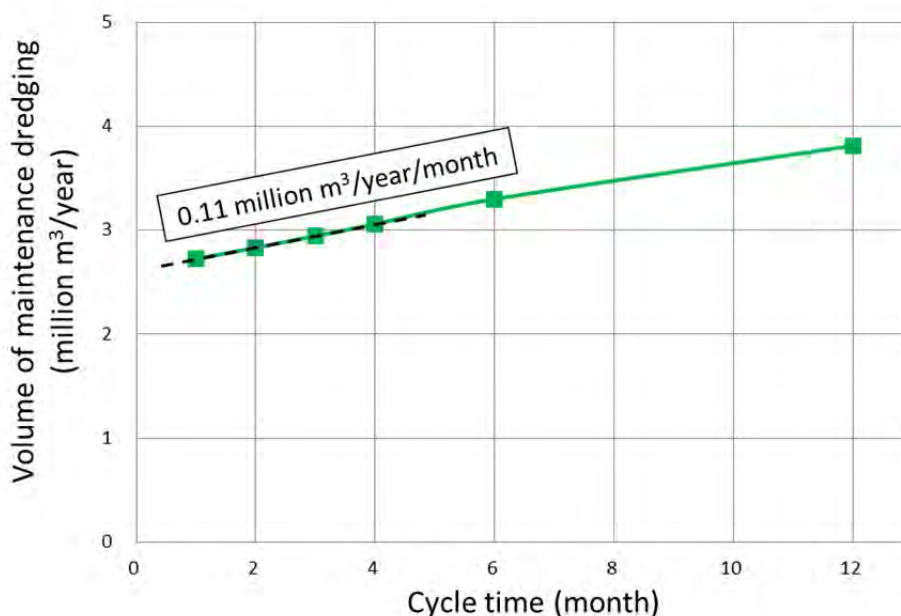


Figura 5.29 Relación entre el ciclo de dragado y el volumen anual del dragado de mantenimiento (predicho con el modelo exponencial modificado para la profundidad objetivo del canal de 12 m)

La Figura 5.30 muestra el ratio de trabajo para cuando el volumen de dragado requerido mostrado en la Figura 5.29 es dragado por una draga de capacidad de $2.500 m^3$ o $4.500 m^3$. Los ratios de trabajo de estas dragas exceden el 100% de cualquier ciclo. Es decir, estas dragas no pueden mantener la profundidad objetivo de canal de 12 m.

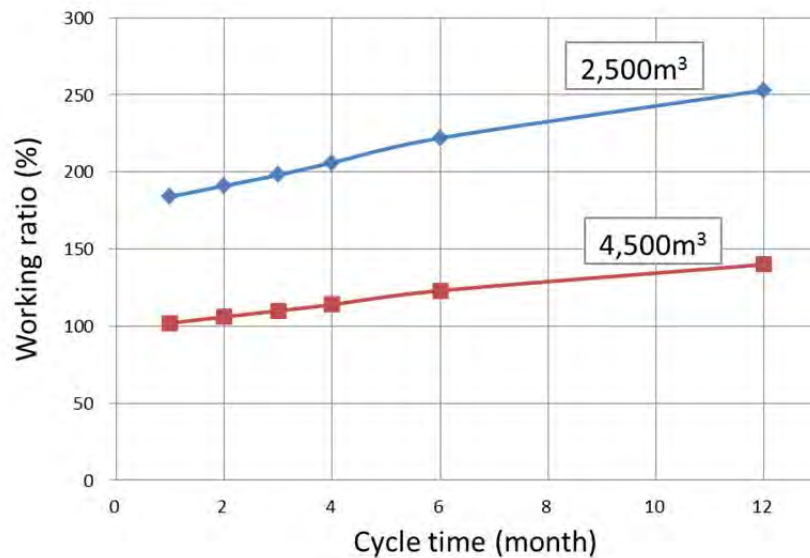


Figura 5.30 Relación entre el ciclo de dragado y el ratio de trabajo para los casos de capacidad de draga de 2.500 m³ y 4.500 m³

La Figura 5.31 muestra la capacidad necesaria de draga determinada de acuerdo con lo explicado en la Sección 5.3.3 y con el ratio de trabajo para cada ciclo de dragado. Al cambiar la capacidad de draga correspondiente a cada ciclo, el ratio de trabajo se mantiene dentro del rango de entre 90 y 100%. La capacidad de draga menor resulta ser para los ciclos de entre 1 y 3 meses. Aunque aún en estos casos resulta ser de 5.000 m³.

La Figura 5.32 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 5.29.

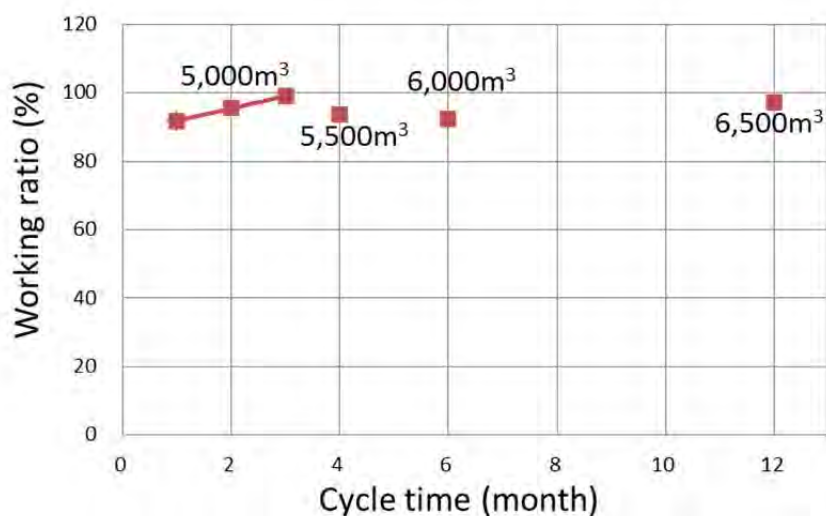


Figura 5.31 Relación entre el ciclo de dragado y el ratio de trabajo para capacidades de draga necesarias

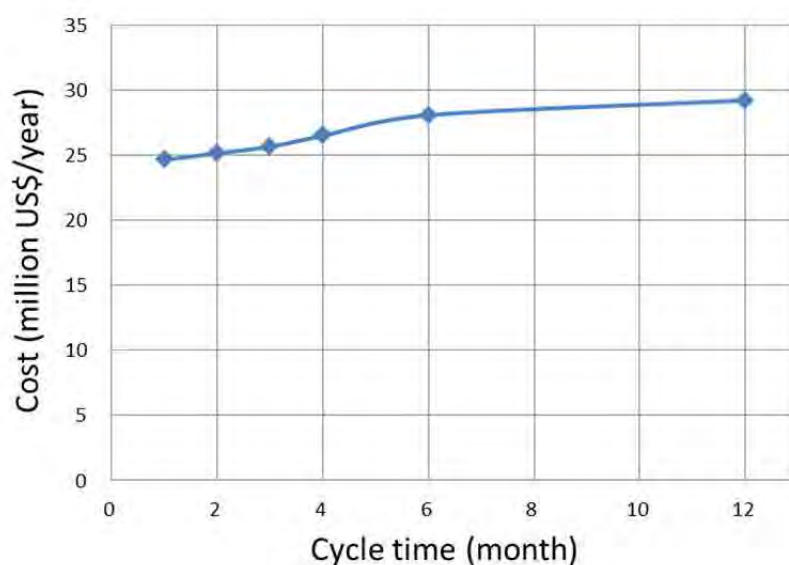


Figura 5.32 Relación entre el ciclo y costo anual de dragado

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 5.33 muestra de manera colectiva el costo mínimo de la Tabla 5.23 y la Tabla 5.24 (resaltados en amarillo). El costo de dragado a base de contrato se indica con línea roja y el de dragado con draga propia, con la línea verde, lo que hace fácil la comparación entre ambos. 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.

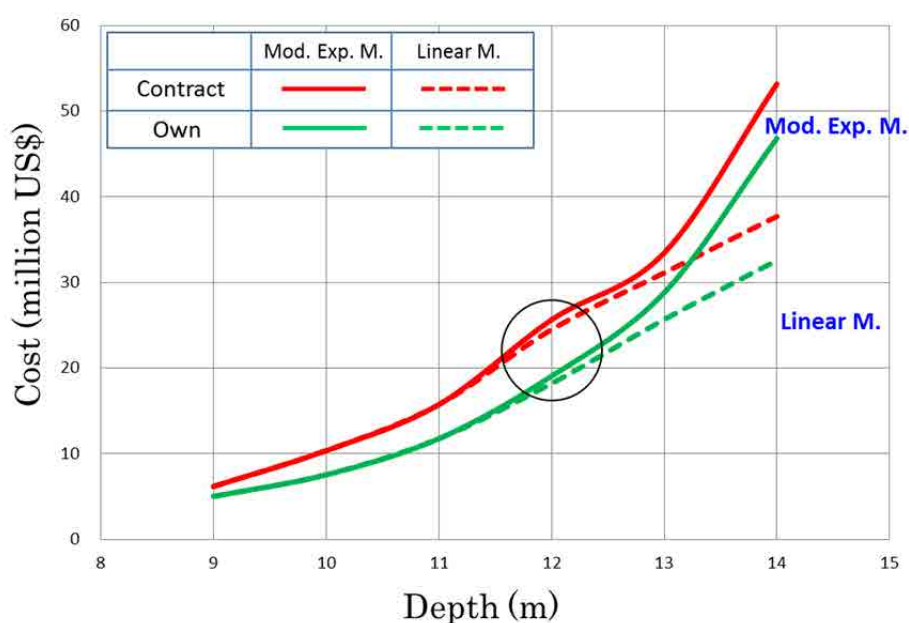


Figura 5.33 Comparación del costo de dragado entre dragado a base de contrato y dragado con draga propia

Para encontrar las razones de esto, se ha realizado un estudio sobre el costo directo y el costo indirecto. La Figura 5.34 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 5.33, a base de contrato y con draga propia. Según la Figura 5.34, 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, según lo indicado en la Tabla 5.25. En cambio, el costo indirecto del dragado con draga propia considerado por CEPA contempla sólo movilización, seguro y contingencias, tal como está descrito en 5.5.1 (4).

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.

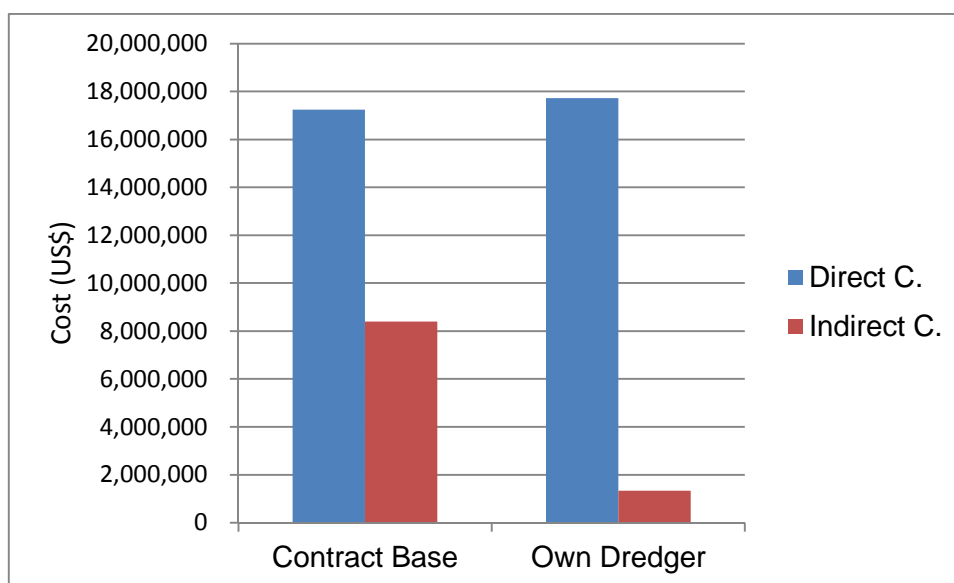


Figura 5.34 Comparación de los costos directo e indirecto del dragado a base de contrato y del dragado con draga propia (profundidad objetivo: 12 m para el modelo exponencial modificado con un ciclo de 3 meses)

Tabla 5.25 Desglose del costo indirecto de dragado a base de contrato
(costo considerado por CEPA se describe en letras rojas)

Costo temporal	Costo de movilización , transporte, reparación, instalaciones temporales para prevenir las pérdidas de dragado, seguridad, servicios, manejo técnico, seguro contra accidentes de torpedo, reparación, promoción.
Costo de campo	Costo administrativo laboral, costo necesario para la capacitación sobre la seguridad, impuestos y gravámenes, seguro , salario de tripulación y otros derechos, fondo de jubilación, prestaciones sociales, suministros de oficina, costo de comunicación, representación, compensación, consignación, registro de trabajo social, costo incidental, etc.
Costo administrativo	Salario de ejecutivos, salario de empleados y otros derechos, fondo de jubilación, prestaciones sociales legales, costo de bienestar, mantenimiento y reparación, suministros de oficina, costo de comunicación, servicios públicos, estudio e investigación, promoción, representación, donación, cuenta de alquiler, depreciación del costo de desarrollo, impuestos y gravámenes, seguro, mantenimiento de contrato, costo incidental

(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 5.7) y pasa lo mismo con el costo estimado de dragado (Figura 5.26 y Figura 5.27). 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 5.35.

La Figura 5.35 representa las capacidades necesarias de draga, agregadas a la Figura 5.27, 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 m^3 para dragar el volumen objetivo predicho con el modelo exponencial modificado, y será posible dragar con una draga de capacidad de 7.500 m^3 , 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.

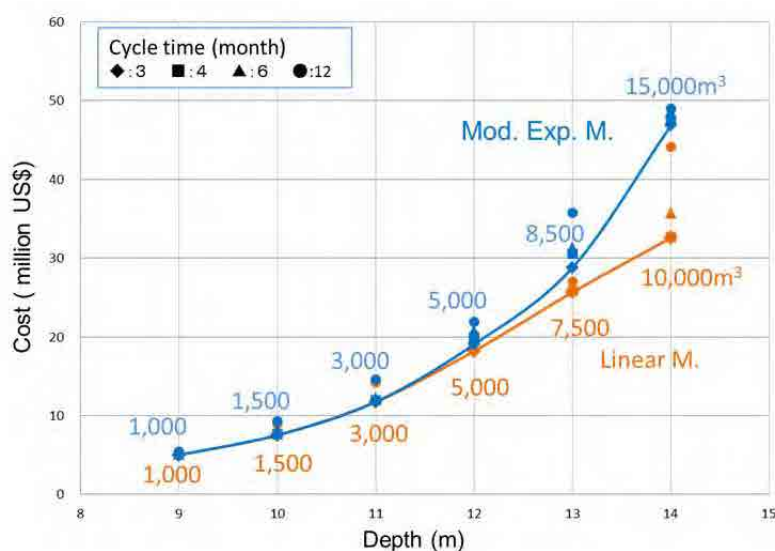


Figura 5.35 Costo de dragado y capacidad de draga según el tirante de agua

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

De acuerdo con la Figura 5.35, 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 5.35) 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 m^3 , después de un tiempo, se necesitará atender embarcaciones de mayor calado, para atraerlos al puerto y el tirante de agua objetivo en el canal cambie a 11 m, la capacidad necesaria de draga sería 3.000 m^3 para mantener el tirante de agua. Para satisfacer esta demanda, habrá que deshacerse o vender la draga de 1.500 m^3 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

En caso de que CEPA tenga su propia draga, eso implicará un considerable costo más de lo estimado actualmente por CEPA. Y, la flota y otros para apoyar el trabajo de dragado pueden funcionar con una larga experiencia y conocimiento acumulado. Además del costo, existen temas de capacitación y educación de la tripulación de draga.

La precisión de los modelos de predicción del volumen de sedimentación no es suficiente. De ahora en adelante, el volumen de dragado necesario puede disminuir si mejora la precisión de los modelos de predicción con un monitoreo continuo de la sedimentación en el canal. Sin embargo, en estos momentos, es difícil fijar una capacidad necesaria de draga.

Mientras, en caso de mantener una draga propia contra la creciente profundidad objetivo en el canal en conjunto con el desarrollo del Puerto de La Unión, una reacción flexible será extremadamente difícil. Este problema permanecerá sin cambio en el futuro.

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

Para manejar un dragado de mantenimiento económico y eficiente, es importante básicamente predecir el volumen de sedimentación con alta precisión. Se han establecido empíricamente dos modelos de predicción basados en datos batimétricos que no son necesariamente suficientes ni en calidad ni en cantidad. Además, uno de estos modelos, el modelo lineal, se basa en una hipótesis no verificada.

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. Para confirmar la idoneidad de la aplicación, es importante y necesario recolectar datos batimétricos en el área del Puerto.

En la presente Sección, se propone un plan de monitoreo para la profundidad de los canales después del re-dragado. El propósito del monitoreo son los dos puntos siguientes:

- (1) Verificar la adecuación del volumen de sedimentación y del volumen requerido de dragado de mantenimiento que son predichos según los modelos de predicción empíricamente establecidos, es decir, el modelo exponencial modificado y el modelo lineal.

* Ubicaciones de Monitoreo: canal interno, canal externo y dársena

- (2) Confirmar el fenómeno de rápida sedimentación inmediatamente después del dragado.

* Ubicaciones de Monitoreo: canal interno y canal externo

El plan de monitoreo para lograr dicho propósito se explica en las siguientes Secciones. El plan elaborado está sujeto a la condición de que las mediciones batimétricas sean ejecutadas por la propia CEPA con sus instrumentos.

Mediante una transferencia de tecnología en este estudio, el Equipo proporcionó herramientas de post-procesamiento de los datos batimétricos obtenidos, que se explican brevemente en la siguiente Sección. El Equipo también confirmó que el personal de CEPA puede realizar mediciones batimétricas sin problemas. Y, el Equipo supone que CEPA podría realizar el monitoreo por sí misma con sus propios equipos.

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, que son el modelo exponencial modificado y el modelo lineal, es necesario básicamente medir el volumen real de sedimentación. En caso de que no haya acciones artificiales en el canal y en la dársena después del dragado, el volumen de sedimentación puede ser estimado sobre la base de la diferencia entre dos datos sucesivos de las mediciones batimétricas. Sin embargo, 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 también en ese caso, 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, si aumenta el tráfico marítimo de grandes embarcaciones, la velocidad de sedimentación puede disminuir debido a una fuerte turbulencia generada por las hélices que propulsan las embarcaciones. Por tanto, deben ser recopilados los registros de embarcaciones que entran y salen del puerto.

(1) Mediciones batimétricas

- 1) Un levantamiento batimétrico será realizado sobre las secciones designadas del canal interno, canal externo y la dársena.
- 2) Las líneas de medición consisten en líneas transversales de 500 m de longitud con un intervalo de un (1) km en dirección longitudinal. Las líneas de medición en el canal interno y el canal externo se presentan en la Figura 6.1 y la Figura 6.2 respectivamente.
- 3) Las líneas de medición en la dársena serán una cuadrícula de 200 m de longitud, tal como se presenta en la Figura 6.3.
- 4) Las mediciones batimétricas serán realizadas justo antes y después del re-dragado. El volumen de re-dragado será calculado utilizando la diferencia entre las profundidades antes y después del trabajo de re-dragado. Luego de esto, las mediciones batimétricas se repetirán con un intervalo de tiempo de dos meses, o un mes si es posible.
- 5) Las mediciones batimétricas deben ser ejecutadas usualmente con las dos señales acústicas de 38 y 200 kHz para obtener datos del espesor de lodo fluido.

(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. Puesto que el agua del mar está mezclada cuando el suelo dragado se succiona en el barco, la capacidad efectiva del barco baja alrededor del 60 %. Los datos como la capacidad del barco, número de recorridos de ida y vuelta, ubicación y datos de dragado, que son registrados en el diario de operación, son supuestamente fáciles de obtener.

(3) Efectos de la navegación de embarcaciones

Se puede entender que, dejando de lado hasta qué grado, el volumen de sedimentación puede decrecer un poco debido a la advección de sedimentos que están suspendidos por una fuerte turbulencia generada por las hélices de las embarcaciones. Sin embargo, el fenómeno relacionado con este hecho no se conoce suficientemente y el volumen de decrecimiento puede que no sea grande. Así, el beneficio obtenido de un monitoreo detallado es poco. Es suficiente recolectar solamente los registros de embarcaciones, tales como la longitud, ancho y calado.

Además, el tiempo de la entrada y la salida del puerto son necesarios, porque el nivel de las mareas, o la elevación de las hélices desde el fondo del canal, y la dirección de las corrientes de las mareas pueden ser estimados basándose en estos datos recopilados.

(4) 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. Si el cálculo se repite varias veces para diferentes periodos en el mismo segmento del canal, el volumen de sedimentación estimado no será siempre constante, se espera una dispersión. Por eso, es muy deseable que se analice la relación entre esta dispersión y la frecuencia y la capacidad volumétrica de las embarcaciones que entran y salen del puerto. Se supone que el volumen de sedimentación decrece durante el periodo cuando las embarcaciones navegan con más frecuencia.

Si los efectos de la navegación de embarcaciones sobre el volumen de sedimentación pudieran ser evaluados de manera cuantitativa, el volumen de sedimentación excluyendo estos efectos, se podría comparar con el volumen de sedimentación predicho.

6.3 Confirmación de Rápida Sedimentación Inmediatamente después de Dragado

Rápida sedimentación ocurrió inmediatamente después del dragado. Ya que las mediciones batimétricas fueron realizadas varios meses después del dragado, no es suficiente la acumulación de datos batimétricos relacionados con la rápida sedimentación. Para confirmar este fenómeno, es necesario repetir las mediciones batimétricas con un intervalo corto.

Tal como se ha explicado en la Sección 5.3, se supone que la rápida sedimentación ocurre sólo inmediatamente después del dragado y no ocurre cuando el dragado de mantenimiento se haya realizado. Por tanto, cabe notar 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) Idéntico a la Subsección 6.2 (1) 1)
- 2) La ubicación de las mediciones son las líneas referenciales entre L21 y L18 en el canal interno y entre L09 y L05 en el canal externo (véase la Figura 6.1 y la Figura 6.2).
- 3) Deben realizarse mediciones batimétricas justo después del dragado, las cuales se llevan a cabo también en 6.2 (1). Luego de esto, se recomienda que se repitan las mediciones con un intervalo de dos semanas durante varios meses.
- 4) Idéntico a la Subsección 6.2 (1) 5)

(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

Primero, el volumen del cambio topográfico en los canales está calculado con el uso de dos juegos de datos batimétricos sucesivos. El volumen de dragado cuya ubicación y periodo corresponden a los de los datos batimétricos, se agrega al volumen del cambio topográfico. El resultado es básicamente el volumen de sedimentación. Si los efectos de la navegación de las embarcaciones sobre el volumen de sedimentación pudieran ser evaluados cuantitativamente en la Sección 6.2 (4), serían tomados en consideración para estimar el volumen de sedimentación.

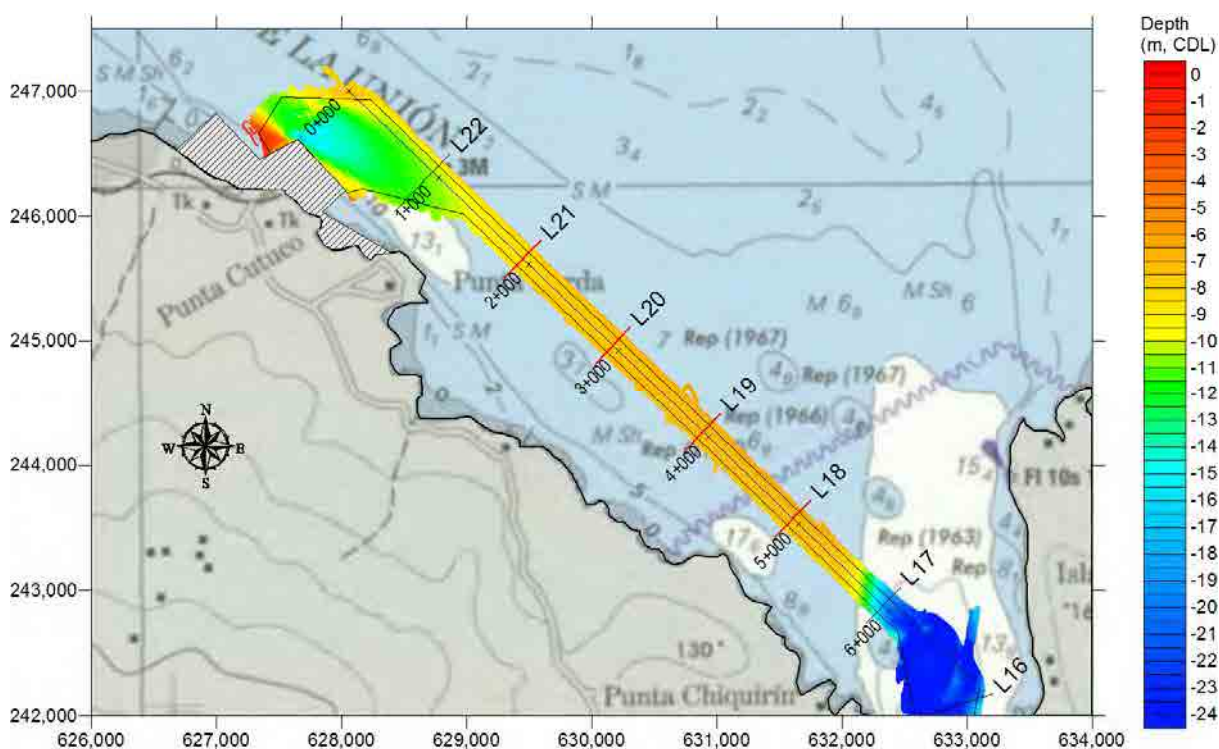


Figura 6.1 Líneas de medición para el canal interno con una longitud transversal de 500 m y un intervalo longitudinal de 1 km

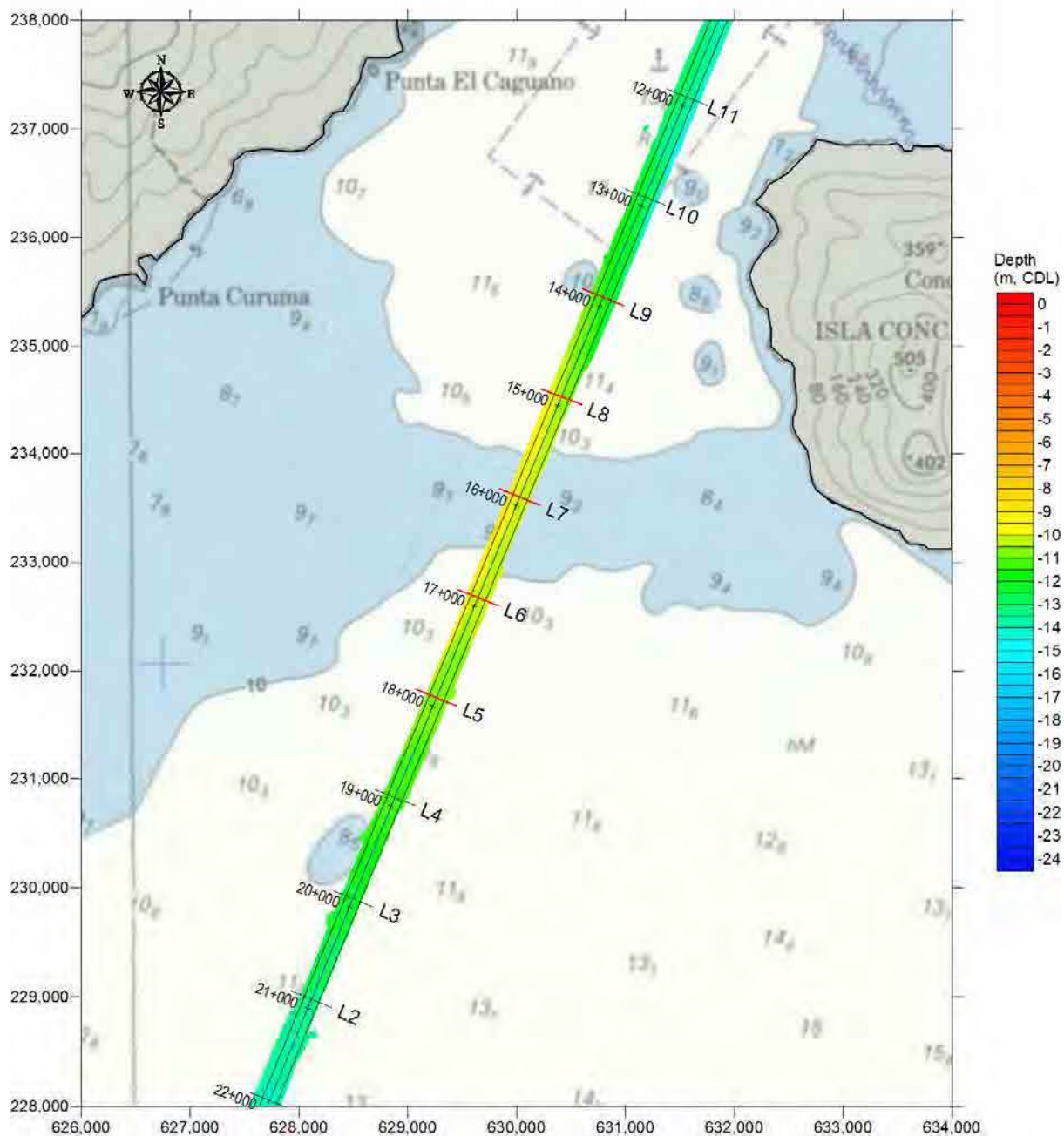


Figura 6.2 Líneas de medición para el canal externo con una longitud transversal de 500m y un intervalo longitudinal de 1 km

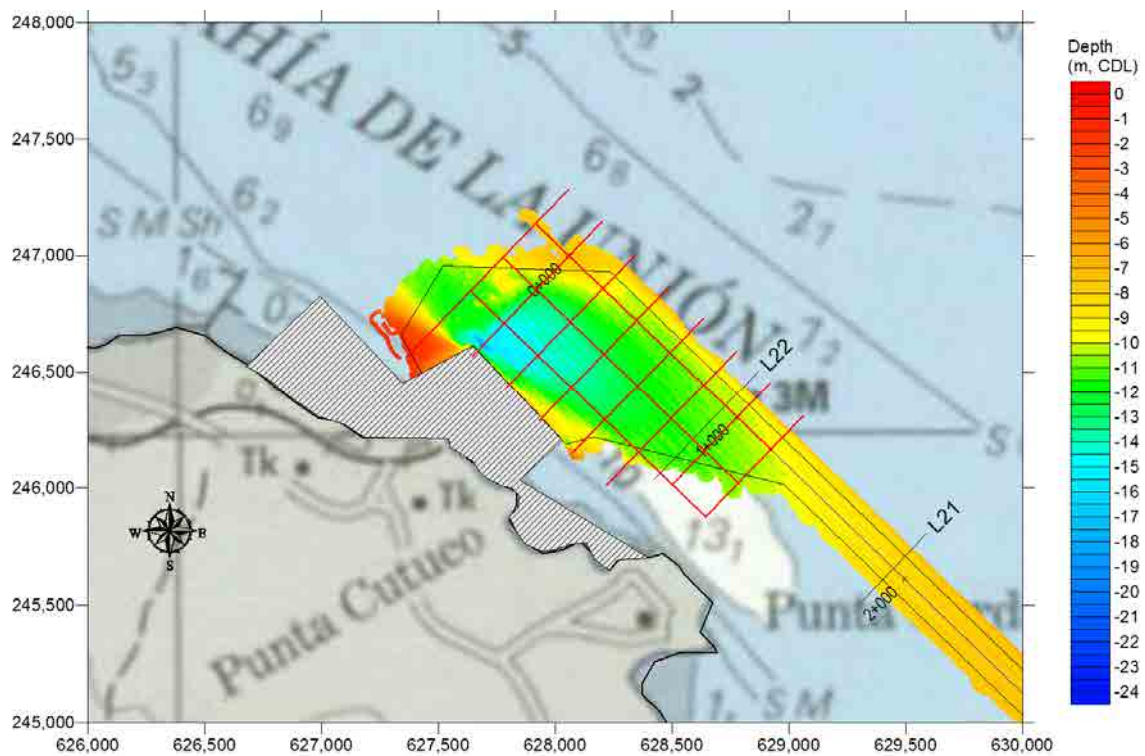


Figura 6.3 Líneas de medición para el área portuaria (dársena) con intervalos de 200 m de longitud

6.4 Corrección por Mareas Aplicada a Datos Batimétricos

6.4.1 Mejoramiento de la corrección de mareas para los datos de mediciones batimétricas

(1) Mediciones batimétricas realizada por el personal de CEPA

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 batimétricos como parte de la transferencia de tecnología.



Figura 6.4 Equipo de mediciones batimétricas montado por el personal de CEPA

(2) Corrección de profundidad por el nivel de mareas

Uno de los procesamientos posteriores de los datos de las mediciones batimétricas es la corrección por mareas. La relación entre el tirante o profundidad de agua y el nivel de mareas se muestra en la Figura 6.5. Para obtener una profundidad de agua debajo del nivel del cero hidrográfico (C.D.L.), debe realizarse una corrección de mareas con la siguiente ecuación.

$$h = (h_{mes} + a) - \eta_{tide} \quad (6.1)$$

donde, h es la profundidad de agua debajo del C.D.L., h_{mes} es la profundidad medida por la ecosonda, a es el calado de la ecosonda y η_{tide} es el nivel de marea.

La Ecuación (6.1) indica que la precisión de los datos batimétricos está sujeta a la influencia de la precisión de los datos de las mareas. La Figura 6.6 presenta un ejemplo de un gráfico de nivel de marea. Según la encuesta al personal de CEPA, su método de corrección de mareas consiste en leer el nivel de marea a un tiempo arbitrario interpolando linealmente los datos de marea alta y baja de la tabla de mareas publicada, tal como se presenta en la Figura 6.6. Este método es menos preciso para la predicción de mareas y puede también afectar la precisión de los datos

batimétricos. Para mejorar esta predicción, el Equipo introdujo un nuevo método de corrección de mareas con el uso de un programa de computación para la predicción de mareas aplicando un método armónico que fue desarrollado en el Estudio de SAPI.

El programa de predicción de mareas desarrollado en el estudio de SAPI incluye parámetros de corrección del nivel medio de agua, amplitud de mareas y desfase debido a la ubicación a lo largo del canal, como se muestra en la Figura 6.7.

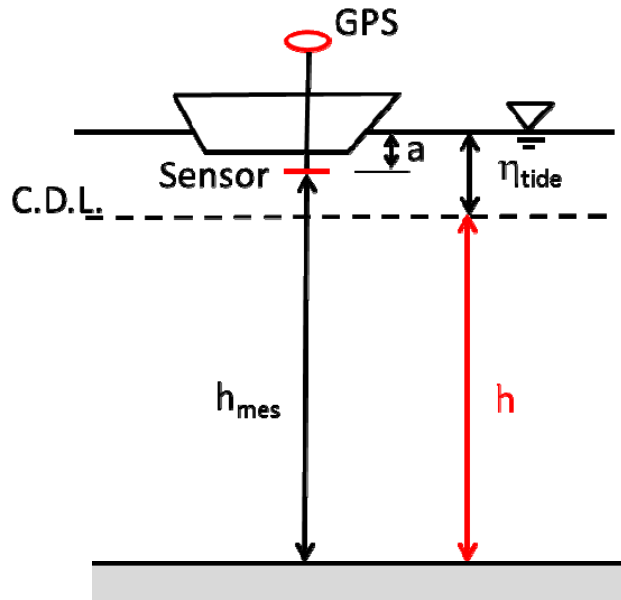


Figura 6.5 Relación entre las profundidades de agua medidas y las corregidas

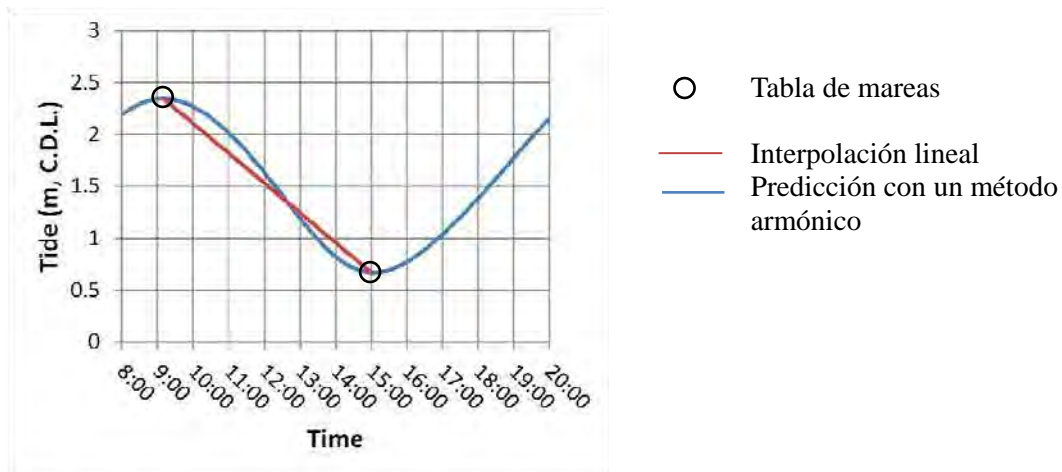


Figura 6.6 Variación del nivel de mareas del 19 de abril, 2013

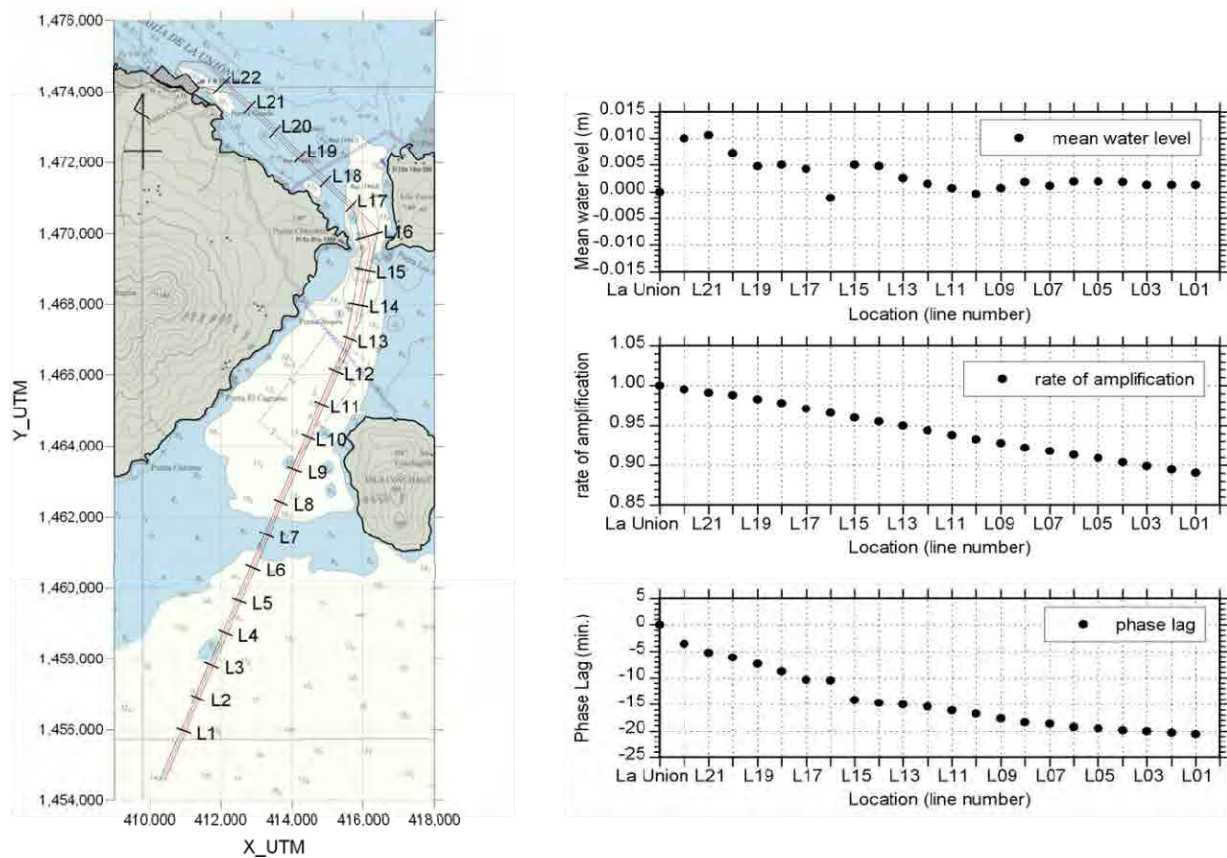


Figura 6.7 Parámetros de corrección de mareas relacionados con los puntos del canal (según el informe de SAPI)

(3) Conversión de coordenadas

Otra parte importante del procesamiento posterior de datos de las mediciones batimétricas es la conversión de coordenadas de los datos de posicionamiento (resultados de GPS). Los datos de las mediciones batimétricas incluyen los resultados de GPS que están normalmente escritos en los datos geodésicos de latitud y longitud. Los datos geodésicos deben convertirse apropiadamente al sistema de coordenadas locales para su futuro uso. En La Unión, el sistema Lambert/NAD27 está utilizado como sistema de coordenadas locales.

Para la conversión de coordenadas, el personal de CEPA adoptó un programa sencillo mostrado en la Figura 6.8, que no puede convertir muchos datos a la vez. Así que el Equipo de Estudio ofreció un programa de conversión de coordenadas para apoyar una rápida conversión.

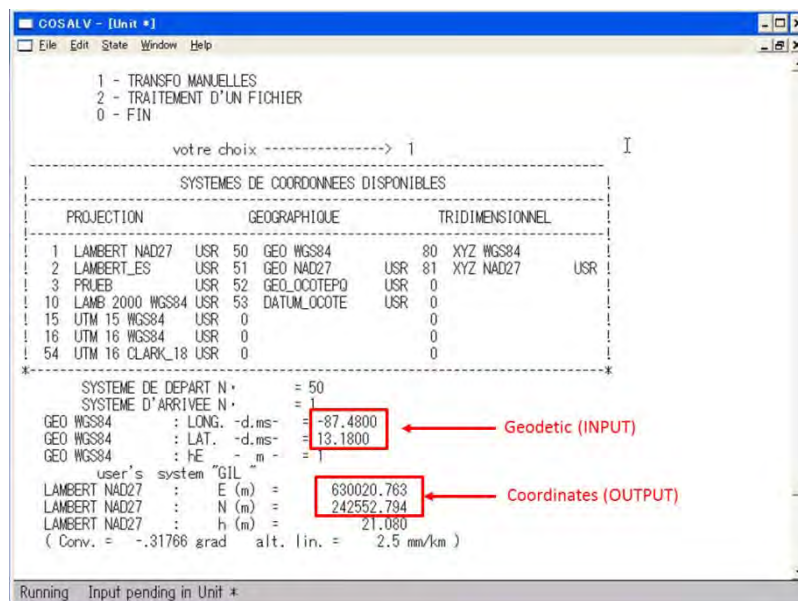


Figura 6.8 Pantalla del programa de conversión geodésica utilizado por el personal de CEPA

(4) Libro Macro de Excel para el procesamiento posterior de datos de mediciones batimétricas

Para realizar rápidamente un procesamiento posterior de los datos de mediciones batimétricas, el Equipo de Estudio desarrolló un Libro Macro de Excel con las herramientas de procesamiento posterior. 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 6.9 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. La Figura 6.10 presenta una función del Libro Macro para crear una base de datos a partir de las coordenadas a lo largo de la línea central del canal. El Libro Macro y su uso serán introducidos en el 2° trabajo de campo en agosto de 2013.

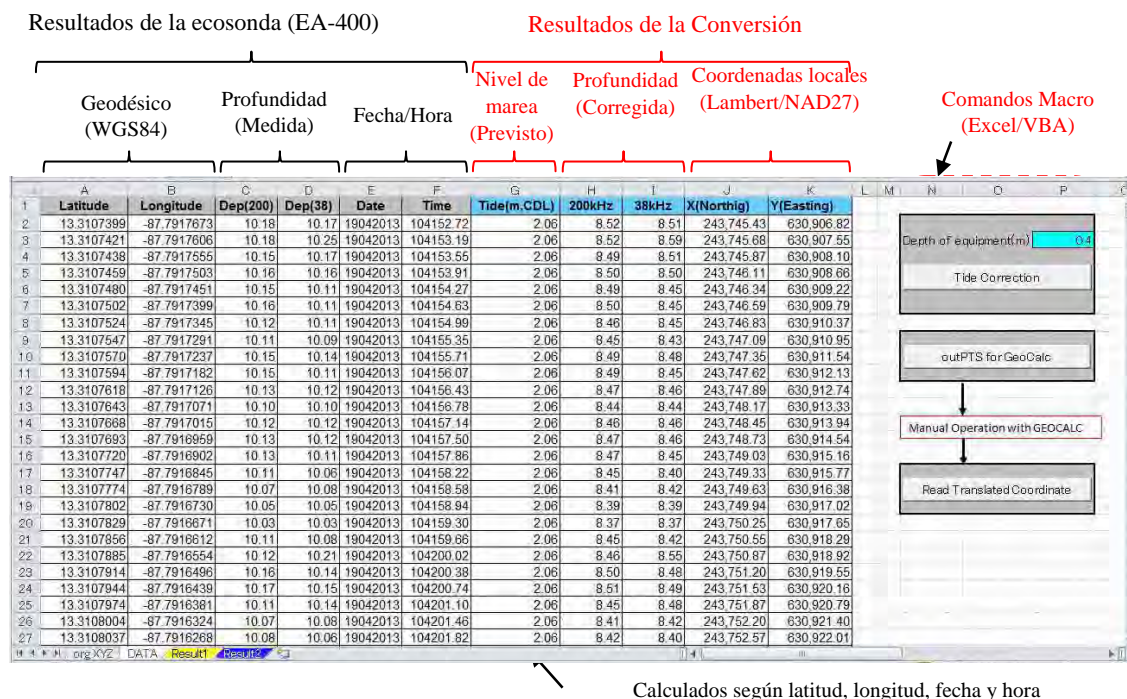


Figura 6.9 Herramientas de procesamiento posterior codificadas con Excel/VBA

Coordenadas locales (Lambert/NAD27) Profundidad Coordenadas a lo largo de la línea central del canal

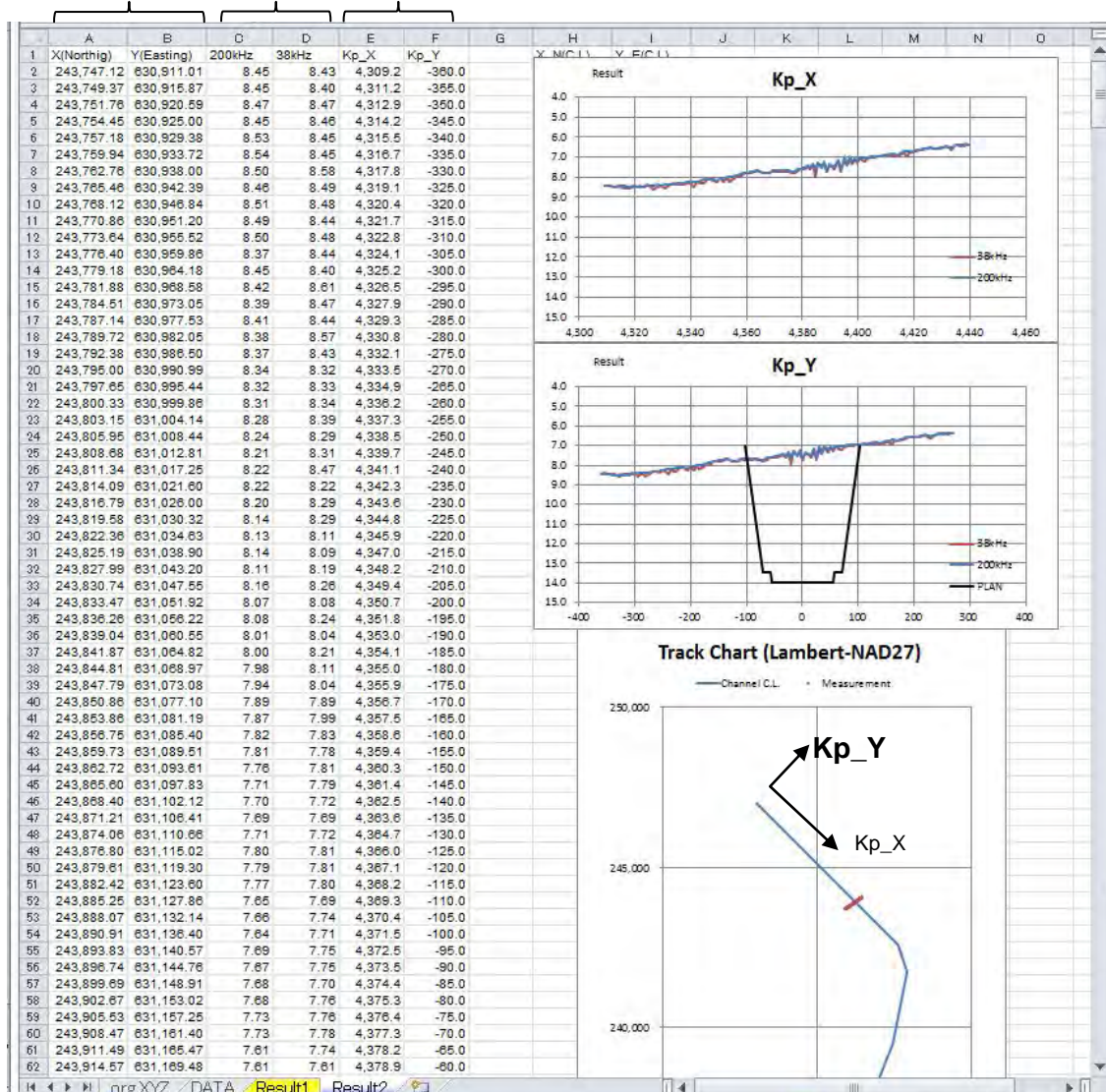


Figura 6.10 Ejemplo de datos procesados posteriormente

6.4.2 Nivel de referencia del Puerto de La Unión

(1) Deliberaciones con oficiales de CNR

Con el fin de mantener la navegabilidad del canal de acceso, se requiere un frecuente monitoreo de la profundidad de agua mediante mediciones batimétricas. La profundidad de agua debe ser medida utilizando un nivel de referencia unificado para estimar adecuadamente la sedimentación en el canal de acceso y la dársena. CEPA realizó mediciones batimétricas en junio de 2011 y sus resultados presentaron algunas tendencias diferentes a resultados previos. Puesto que los resultados de las mediciones hechas por CEPA parecen estar tomando un nivel de referencia diferente al de los resultados previos, el Equipo de Estudio deliberó con oficiales de CNR, encargados de la predicción de mareas de la costa de El Salvador, para confirmar los niveles de referencia utilizados en las mediciones anteriores.

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 reunión, oficiales de CNR, responsables de la predicción de mareas y la publicación de las tablas de mareas de El Salvador, contestaron y explicaron sinceramente al Equipo de Estudio sobre sus preguntas. La información siguiente fue confirmada en la reunión.

- 1) CNR utiliza constituyentes o componentes de mareas según la Base de Datos de NOAA de Constituyentes Armónicos para la predicción de mareas en La Unión. Los constituyentes armónicos se pueden encontrar en la página de Web de NOAA (<http://tidesandcurrents.noaa.gov/>). Los constituyentes de mareas son completamente los mismos que el Equipo de Estudio usa para la predicción de mareas.
- 2) Los constituyentes de mareas fueron determinados en 1960, sobre la base de datos de observación de mareas durante 9 años en La Unión. La información consta en el documento de “Elevaciones de mojones referidos al nivel medio del mar en El Salvador.”
- 3) El nivel de referencia utilizado en la tabla de mareas publicada por CNR es 5 pies (=1,524 m) debajo del MSL para el Puerto de La Unión.
- 4) El nivel de referencia geodésico vertical (GVD) de El Salvador fue determinado en 1960 y el nivel cero fue establecido como el MSL basado en la medición de 1960.
- 5) La relación entre el GVD y los niveles de mareas se presenta en la Tabla 6.1. Los datos de la Tabla 6.1 fueron proporcionados por CNR.
- 6) 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. Esto indica que el actual nivel del cero hidrográfico (CDL) es 1,5381 m.

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

(2) Establecimiento del nivel de referencia del mar del Puerto de La Unión

Según la reunión con CNR mencionada en el punto 6), está confirmado que el actual CDL para fines de navegación es 1,5381 m debajo de MSL. La relación entre MSL y CDL se representa en la Figura 6.11. La altura del mojón de CUT-9 se observa también en la Figura 6.11, donde el mojón CUT-9 está ubicado en la esquina sudeste del muelle de contenedores en el Puerto de La Unión.

En la etapa de diseño detallado de la construcción del Puerto de La Unión, el equipo asesor de diseño detallado estableció un CDL de 1,652 m debajo del MWL, tal como se describe en los Apéndices B y F del Informe Final del Diseño Detallado del Proyecto de Reactivación Portuaria en la Provincia de La Unión (JICA) en 2002. En este informe, el MWL está definido como nivel medio de marea en el embarcadero de Cutuco y difiere del MSL definido por CNR como nivel medio del mar. Además, de acuerdo con los planos de diseño del muelle de contenedores en el Puerto de La Unión, la mayor elevación del muelle se describe como CDL+5,00 m. Sobre la base de la información, la relación entre el MSL y el CDL se muestra en la Figura 6.11. Con el uso del CDL definido en el Informe de Diseño Detallado, el MSL se calcula como CDL+1,7166 m.

Según lo descrito anteriormente, dos CDL han sido definidos para el Puerto de La Unión, tal como se presenta en la Figura 6.11 y la Figura 6.12. La profundidad de agua basada en el CDL por CNR se calcula en 0,1785 m más profunda que la del Informe de Diseño Detallado. La diferencia podría ser mínima, pero puede influir sobre las estimaciones de sedimentación y del volumen de dragado. Por tanto, se recomienda unificar el CDL para un mantenimiento eficiente de los canales de acceso en el futuro.

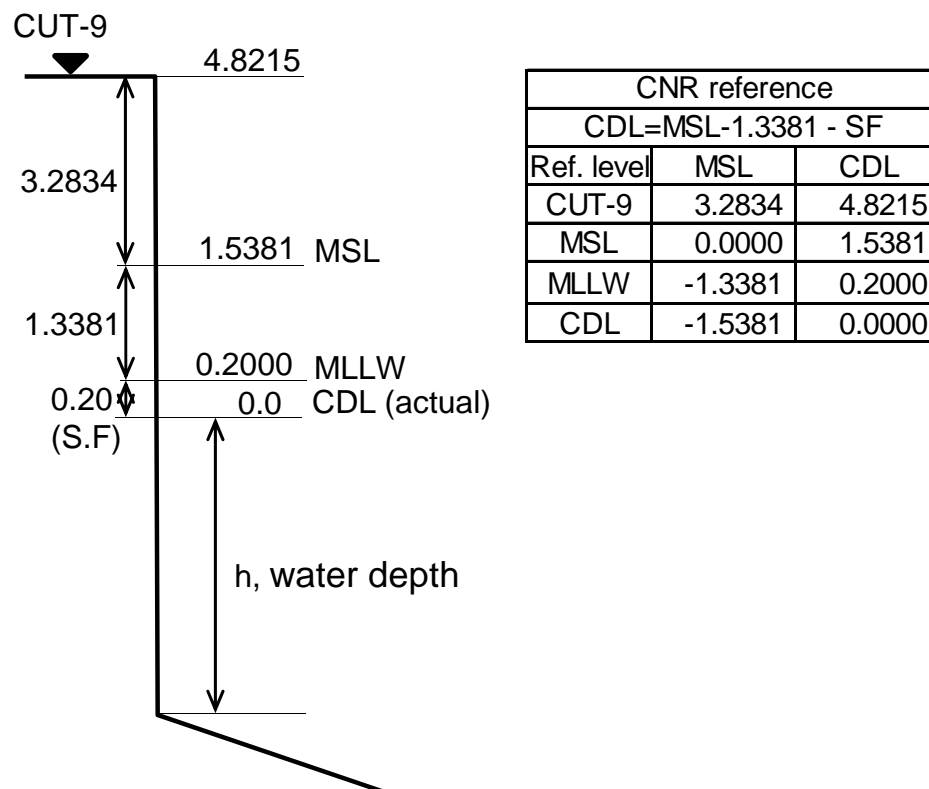


Figura 6.11 Nivel de referencia vertical adoptado por CNR

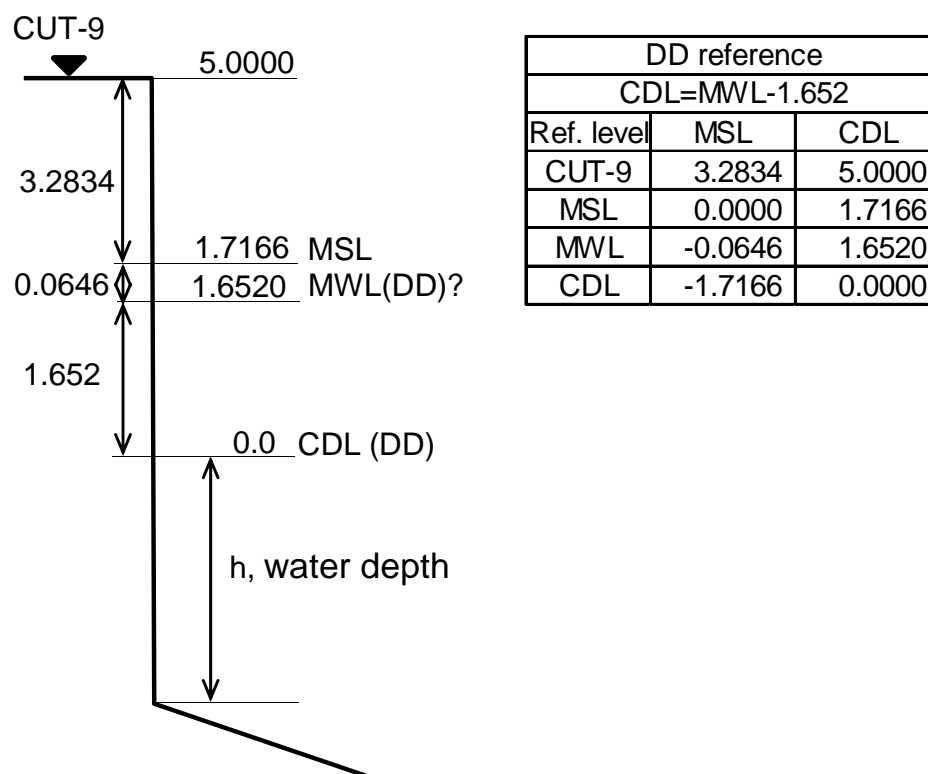


Figura 6.12 Nivel de referencia vertical adoptado en el Informe de Diseño Detallado (CUT-9 es un mojón ubicado en la esquina sudeste del Puerto de La Unión)

(3) Corrección de la carta batimétrica de CEPA

La Figura 6.13 presenta la profundidad de agua a lo largo del canal de acceso, medida por el Equipo de Estudio de JICA a principios de febrero de 2011 y la profundidad medida por TOPONORT S.A. para CEPA en junio de 2011, ambas profundidades corresponden a la margen oriental. Aunque se supone que haya ocurrido alguna sedimentación durante el periodo entre las dos mediciones batimétricas, los resultados de las mediciones de CEPA indicaron solamente una ligera sedimentación en la sección del canal de acceso interno y una mayor profundidad en el canal de acceso externo. Ya que tales cambios en la profundidad de agua no parecen haber ocurrido en realidad, la diferencia en la profundidad de agua se debe haber derivado de la diferencia del método de ajuste del nivel de marea usado con los datos batimétricos sin procesar.

Según TOPONORT S.A, los resultados de sus mediciones fueron organizados con el nivel de referencia de MLLW (= -1,3381 m) sin tomar en cuenta el factor de seguridad de 0,2 m. Por otra parte, las profundidades de agua medidas por el Equipo de Estudio de JICA fueron organizadas con el CDL definido en el Informe de Diseño Detallado, como se presenta en la Figura 6.12. En este caso, la diferencia de la profundidad de agua se debe a la diferencia de los niveles de referencia que alcanza a ser de 0,3785 m (= 0,1785+0,2). Para comparar las profundidades de agua y estimar la altura de la sedimentación con precisión, los datos de las mediciones deben estar organizados apropiadamente con un mismo nivel de referencia. La Figura 6.14 presenta un resultado convertido de tal manera que todas las profundidades de agua están ajustadas con el CDL definido por CNR, que es un nivel de referencia de 1,5381 m debajo del MSL. Se observa que la diferencia de profundidad entre JICA y CEPA es aceptable en comparación de la Figura 6.13.

Según el ejemplo anterior, también se observa que la profundidad de agua en el canal debe ser organizada con un CDL unificado. Aunque el CDL según el Informe de Diseño Detallado fue adoptado en los resultados de mediciones batimétricas anteriores, dicho CDL no corresponde al nivel de referencia de mareas. La relación entre las mareas y la profundidad de agua es muy importante para la navegación y el Equipo de Estudio recomienda a CEPA adoptar en el futuro el CDL definido por CNR, que es el mismo que el nivel de referencia de mareas.

Por consiguiente, en el presente informe, todos los datos de la profundidad de agua han sido convertidos a base del CDL definido por CNR, y todos los gráficos en los siguientes capítulos han sido modificados.

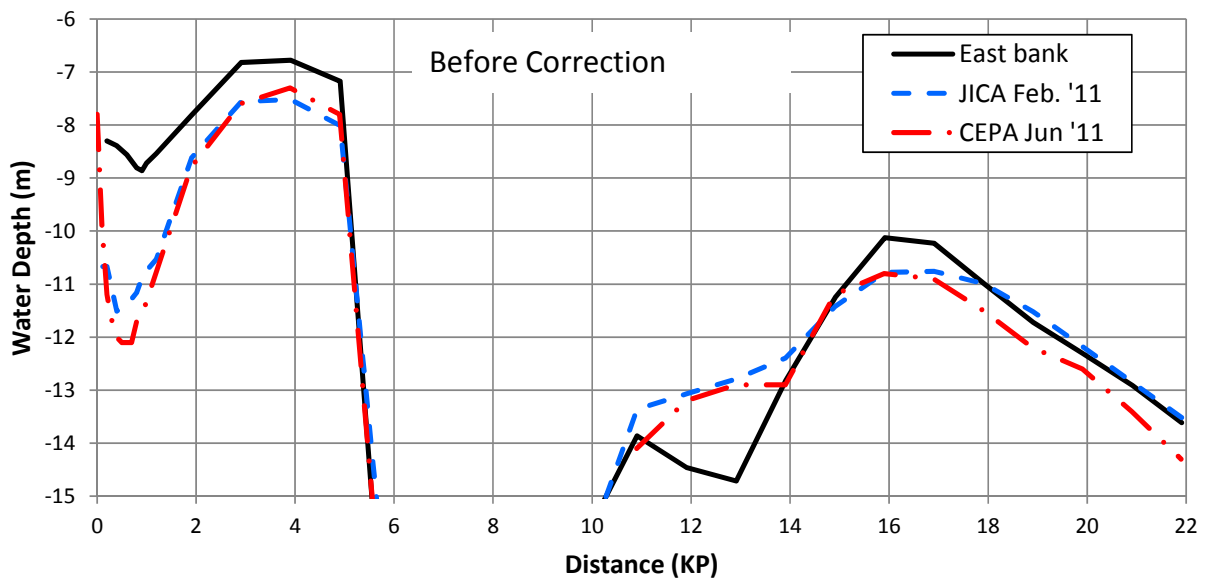


Figura 6.13 Variación de la profundidad de agua a lo largo del canal de acceso antes de la corrección de profundidad

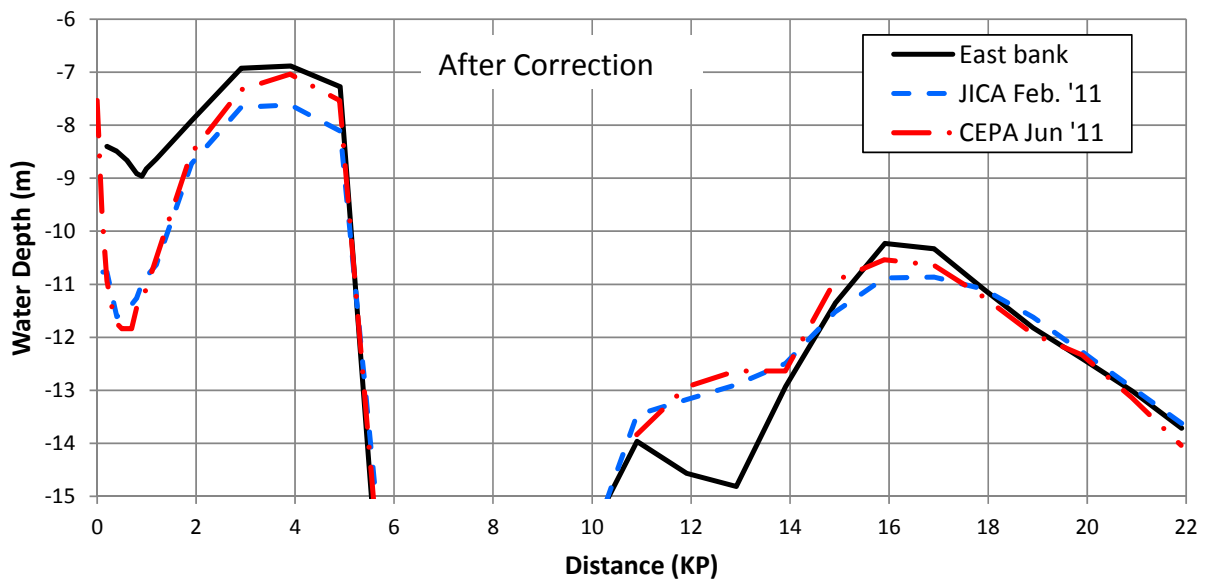


Figura 6.14 Variación de la profundidad de agua a lo largo del canal de acceso después de la corrección de profundidad

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

En la primera parte se describe la correlación histórica entre el crecimiento del producto interno bruto (PIB) de la región con el crecimiento del volumen de contenedores que pasaron por los puertos de Centro América desde 2000 a 2010, asimismo TEUs y contenedores previstos para 2030.

En la segunda parte se desarrollará el modelo de asignación de mercados en su estado actual para cada uno de los países.

En la tercera parte se predecirá la asignación de mercados y el futuro volumen de contenedores 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 Secretaría de Integración Económica Centroamericana). Los datos desde 2000 hasta 2010 se utilizan para el análisis.

El procedimiento para estimar el volumen de contenedores desde los datos comerciales de la SIECA es el siguiente:

- Eliminación de mercancías a granel
- Eliminación de cargas transportadas por tierra
- Adición de mercancías a granel transportadas por tierra (para evitar la eliminación duplicada)

Tabla 7.1 Tasa de Crecimiento del PIB Real de CA4

(%)

	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua
2000	2.15	3.61	5.75	4.10
2001	1.71	2.33	2.72	2.96
2002	2.34	3.87	3.75	0.75
2003	2.30	2.53	4.55	2.52
2004	1.85	3.15	6.23	5.31
2005	3.09	3.26	6.05	4.28
2006	4.18	5.38	6.57	4.15
2007	4.61	6.30	6.31	3.64
2008	2.43	3.28	3.97	2.76
2009	-3.54	0.54	-1.91	-1.47
2010	0.96	2.59	2.60	4.48

(fuente: UNCTAD: El Salvador, Guatemala, Honduras, Banco Mundial: Nicaragua)

Tabla 7.2 Volumen Estimado de Contenedores de CA4

(ton)

	El Salvador		Guatemala		Honduras		Nicaragua	
	Importación	Exportación	Importación	Exportación	Importación	Exportación	Importación	Exportación
2000	879,440	248,311	1,231,486	1,665,777	920,431	860,442	314,518	237,684
2001	900,729	219,684	1,323,346	1,521,243	905,108	1,119,479	322,130	237,984
2002	985,373	292,144	1,514,115	1,577,175	987,449	1,082,915	355,330	231,022
2003	1,025,225	270,932	1,767,615	1,650,752	1,054,317	1,207,982	370,227	258,791
2004	1,040,092	305,404	1,811,812	1,754,197	936,813	1,429,273	375,237	297,126
2005	1,170,806	324,841	1,705,398	1,813,622	1,139,577	1,461,146	397,739	322,993
2006	1,405,739	514,911	2,011,199	1,785,137	1,171,416	1,536,370	419,989	341,409
2007	1,400,514	519,407	1,919,922	2,296,940	1,370,217	1,590,373	470,314	391,362
2008	1,407,026	615,508	1,880,834	2,444,374	1,402,625	1,614,979	496,481	473,040
2009	1,186,362	509,387	1,646,527	2,629,030	1,096,060	1,398,156	438,768	464,924
2010	1,316,762	568,705	1,836,156	2,365,200	1,444,448	1,588,256	528,815	518,651

(fuente: CEPA calculado basándose en la base de datos comerciales de la SIECA)

(2) Estimación de la elasticidad presente 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).

Tabla 7.3 Elasticidad del PIB del Volumen de Contenedores hacia/desde CA4

		Elasticidad del PIB
El Salvador	Importación	2.11
	Exportación	4.57
Guatemala	Importación	0.96
	Exportación	1.55
Honduras	Importación	0.99
	Exportación	1.18
Nicaragua	Importación	1.59
	Exportación	2.82

Fuente: CEPA, el Experto

(3) Estimación de la elasticidad futura del PIB del volumen de contenedores

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.

Tabla 7.4 Elasticidad PIB

		2000–2010	2020	2030
El Salvador	Importación	2.11	2.06	2.0
	Exportación	4.57	3.28	2.00
Guatemala	Importación	0.96	0.96	0.96
	Exportación	1.55	1.55	1.55
Honduras	Importación	0.99	0.99	0.99
	Exportación	1.18	1.18	1.18
Nicaragua	Importación	1.59	1.59	1.59
	Exportación	2.89	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

(4) 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:

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

Tabla 7.5 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.

Tabla 7.6 Volumen de Contenedores de cada puerto en 2010

Volumen de Contenedor Importado en 2010 (TEU)	Costa Oeste de EE.UU.	Asia	Otros del Pacífico	Costa Este de EE.UU., Golfo de EE.UU.	UE	Otros del Atlántico	Total
Acajutla	26,627	11,748	13,340	6,825	5,845	6,485	70,870
Quetzal	33,290	14,688	16,678	8,533	7,307	8,108	88,604
Santo Tomas	68	2,202	13,415	107,586	13,705	14,254	151,230
Prto. Barrios	0	0	0	45,247	3,016	2,011	50,274
Prto. Cortés	95	3,061	18,649	149,560	19,052	19,815	210,232
Prto. Castilla	6	192	1,169	9,373	1,194	1,242	13,176
Corinto	11,591	5,114	5,807	2,971	2,544	2,823	30,851
TOTAL	71,677	37,005	69,058	330,095	52,663	54,738	615,237

Volumen de Contenedor Importado en 2010 (TEU)	Costa Oeste de EE.UU.	Asia	Otros del Pacífico	Costa Este de EE.UU., Golfo de EE.UU.	UE	Otros del Atlántico	Total
Acajutla	14,262	7,282	5,497	1,633	2,191	5,970	36,834
Quetzal	27,729	14,157	10,687	3,175	4,260	11,606	71,614
Santo Tomas	32	5,946	3,455	116,036	10,100	18,787	154,356
Prto. Barrios	0	0	0	88,626	5,908	3,939	98,473
Prto. Cortés	44	8,324	4,837	162,437	14,139	26,299	216,081
Prto. Castilla	7	1,322	768	25,807	2,246	4,178	34,330
Corinto	6,518	3,328	2,512	746	1,001	2,728	16,834
TOTAL	48,592	40,359	27,756	398,462	39,847	73,507	628,522

- 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.

Tabla 7.7 Volumen de Contenedores de cada país en 2010 (TEU)

Volumen de Contenedor Exportado en 2010 (TEU)	Costa Oeste de EE.UU.	Asia	Otros del Pacífico	Costa Este de EE.UU., Golfo de EE.UU.	UE	Otros del Atlántico	Total
El Salvador	28,453	10,321	16,373	62,853	13,908	12,946	144,854
Guatemala	28,392	15,966	33,677	137,889	26,937	19,115	261,976
Honduras	6,617	5,527	16,375	109,278	9,125	5,948	152,870
Nicaragua	8,215	5,191	2,634	20,075	2,693	16,729	55,537
TOTAL	71,677	37,005	69,058	330,095	52,663	54,738	615,237

Volumen de Contenedor Exportado en 2010 (TEU)	Costa Oeste de EE.UU.	Asia	Otros del Pacífico	Costa Este de EE.UU., Golfo de EE.UU.	UE	Otros del Atlántico	Total
El Salvador	6,002	5,973	2,288	39,109	3,503	11,931	68,806
Guatemala	33,227	20,089	21,368	222,201	14,205	39,609	350,698
Honduras	4,872	9,355	2,401	106,786	18,023	11,347	152,784
Nicaragua	4,492	4,942	1,699	30,365	4,115	10,620	56,234
TOTAL	48,592	40,359	27,756	398,462	39,847	73,507	628,522

(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 estudios. Los datos fueron calculados basándose en los datos que proporcionaron las aduanas de diferentes países de CA4 como se indica a continuación:

IMPORTACIÓN	Acajutla	Quetzal	Santo Tomas	Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto
El Salvador	93.50%	6.63%	6.63%	6.63%	15.27%	21.53%
Guatemala	3.73%	71.17%	18.97%	9.47%	10.93%	0.00%
Honduras	1.70%	1.20%	1.20%	1.20%	65.53%	10.69%
Nicaragua	0.17%	0.00%	0.00%	0.00%	5.26%	43.44%
Otros	0.89%	8.55%	8.55%	8.55%	0.00%	24.33%

EXPORTACIÓN	Acajutla	Quetzal	Santo Tomas	Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto
El Salvador	48.08%	17.00%	6.00%	8.00%	7.20%	21.53%
Guatemala	0.42%	70.68%	70.68%	70.68%	10.93%	0.00%
Honduras	2.67%	4.22%	4.22%	4.22%	53.67%	10.69%
Nicaragua	0.25%	0.00%	0.00%	0.00%	5.26%	43.44%
Otros	48.58%	8.10%	19.10%	17.10%	22.93%	24.33%

El Salvador se divide en este y oeste, y Honduras se puede dividir en norte y sur. El ratio fue ajustado a través de las entrevistas, etc.

El Salvador	Oeste	94%	Honduras	Norte	70%
	Este	6%		Sur	30%

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.

Tabla 7.8 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.

Las funciones de utilidad usadas fueron:

$$U = -\theta \cdot (C + \gamma \cdot \tau)$$

donde:

U = Utilidad

θ = Coeficiente de Costo

C = Costo

γ = Coeficiente de tiempo

τ = tiempo

(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 tiempos de tránsito y costos de transporte marítimo y terrestre, para lo cual se calcularon con las siguientes suposiciones:

- (1) Los costos (US\$) de TEU por transporte marítimo que entra y sale de los varios puertos son iguales a los que se calcularon en los estudios de Nathan.
- (2) Para calcular los costos (US\$) de TEU por transporte terrestre que entra y sale de los diferentes puertos se utiliza la siguiente fuente:
<http://www.globalshippingcosts.com/calc/#lat=25.95804&lon=-80.15625&zoom=>

Tomando como referencia los siguientes sitios:

Punto de referencia	REFERENCIA
El Salvador	
Este	San Miguel
Oeste	San Salvador
Guatemala	Ciudad de Guatemala
Honduras	
Norte	San Pedro Sula
Sur	Tegucigalpa
Nicaragua	Managua

- (3) El resultado en milla se multiplicó por 1,6093 para convertirlo en kilómetros, y este resultado fue multiplicado por el precio equivalente a 1,5 kilómetros.
- (4) Los cargos por uso del terminal portuario se obtuvieron en el caso de los puertos del Atlántico (excepto para el Puerto Barrios) de la página, <http://www.hapag-lloyd.com>, y para el resto de los puertos, la CEPA analizó la estructura de tarifas de cada puerto.
- (5) Los datos sobre el tiempo de tránsito (en días) se obtuvieron desde la siguiente fuente:
<http://www1.axsmarine.com/distance/>

Tabla 7.9 Referente a los siguientes sitios:

Punto de referencia	REFERENCIA
Oeste de EE.UU.	Los Ángeles
Este y Golfo de EE.UU.	Miami
China	Shanghái
Europa	Algeciras

Tabla 7.10 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
Honduras								
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

Tabla 7.11 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 7.12 Matriz de transporte de hinterland (con La Unión)

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

	Acajutla	Quetzal	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	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	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	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) Scenario 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.
El Salvador
 - + Coeficientes: El factor de tiempo queda constante; de igual manera, el factor de costo se adiciona al análisis de inflación del país.

La matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2020 y 2030 se encuentra 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

Tabla 7.13 Matriz de transporte de hinterland (con La Unión) en 2020 (Escenario 1)

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

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	136	8	0	2	2	1,006	1,154
El Salvador (O)	62,941	4,306	419	315	1,985	22,422	92,388
Guatemala	25,600	0	0	0	0	0	25,600
Honduras (N)	3,170	2,302	4,606	5,674	2,020	1,987	19,759
Honduras (S)	33	0	3	16	81	8,335	8,468
Nicaragua	0	0	0	0	34,045	6	34,051
Total	91,880	6,616	5,028	6,007	38,133	33,756	181,420

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

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	186	38	48	90	22	551	935
El Salvador (O)	38,176	2,566	20,696	14,233	1,485	15,235	92,391
Guatemala	11,792	36,157	250,113	23,533	0	315	321,910
Honduras (N)	0	0	2,566	145,072	0	0	147,638
Honduras (S)	3	0	539	11,327	16	51,388	63,273
Nicaragua	160	0	0	19,660	11,321	1,908	33,049
Total	50,317	38,761	273,962	213,915	12,844	69,397	659,196

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

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	36	2	0	0	0	499	537
El Salvador (O)	41,267	2,015	76	26	235	9,528	53,147
Guatemala	12,987	63,351	2	0	0	5	76,345
Honduras (N)	191	14	2,645	8,249	6	2,017	13,122
Honduras (S)	52	0	5	11	125	3,573	3,766
Nicaragua	697	0	0	958	10,293	697	12,645
Total	55,230	65,382	2,728	9,244	10,659	16,319	159,562

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

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	14	0	2	8	0	513	537
El Salvador (O)	16,584	2,518	13,289	10,135	1,768	8,856	53,150
Guatemala	58,620	212,757	71,185	8,912	0	2,099	353,573
Honduras (N)	0	0	15,158	156,722	0	5	171,885
Honduras (S)	13	0	2,243	18,785	40	24,070	45,151
Nicaragua	93	0	0	24,210	3,959	792	29,054
Total	75,324	215,275	101,877	218,772	5,767	36,335	653,350

Tabla 7.14 Matriz de transporte de hinterland (con La Unión) en 2030 (Escenario 1)

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2030 (Importación: Pacífico) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	268	8	0	0	0	1,997	2,273
El Salvador (O)	128,358	5,988	537	288	1,855	45,726	182,752
Guatemala	59,770	132,676	44	0	0	178	192,668
Honduras (N)	113	3	3,762	27,168	0	385	31,431
Honduras (S)	86	0	8	25	86	13,268	13,473
Nicaragua	3	0	0	0	26,983	30,600	57,586
Total	188,598	138,675	4,351	27,481	28,924	92,154	480,183

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2030 (Importación: Atlántico) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	395	63	75	126	24	1,164	1,847
El Salvador (O)	89,625	4,227	34,245	17,197	1,689	35,768	182,751
Guatemala	26,980	47,847	424,867	33,705	0	1,243	534,642
Honduras (N)	0	0	9,376	225,478	0	3	234,857
Honduras (S)	13	0	380	4,011	315	95,934	100,653
Nicaragua	360	0	0	48,404	4,881	2,243	55,888
Total	117,373	52,137	468,943	328,921	6,909	136,355	1,110,638

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2030 (Exportación: Pacífico) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	71	0	0	0	0	987	1,058
El Salvador (O)	83,302	2,092	71	20	182	19,467	105,134
Guatemala	34,041	92,735	3	0	0	22	126,801
Honduras (N)	455	23	4,524	11,978	5	3,888	20,873
Honduras (S)	43	0	18	50	136	5,747	5,994
Nicaragua	0	0	0	0	12,464	8,916	21,380
Total	117,912	94,850	4,616	12,048	12,787	39,027	281,240

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2030 (Exportación: Atlántico) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	28	0	0	4	0	1,030	1,062
El Salvador (O)	38,444	4,575	24,215	14,876	2,491	20,529	105,130
Guatemala	143,134	333,642	95,343	8,888	0	6,224	587,231
Honduras (N)	0	0	29,546	243,882	0	3	273,431
Honduras (S)	60	0	1,744	9,313	58	60,650	71,825
Nicaragua	164	0	0	45,975	2,117	880	49,136
Total	181,830	338,217	150,848	322,938	4,666	89,316	1,087,815

Tabla 7.15 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 (W)	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 (W)	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

2) Escenario 2: Cambio de competitividad debido al incremento de 30% de PHC de Acajutla

Este escenario incrementado del costo de cargos por uso del terminal recientemente cambió en Acajutla por 30%. Como el objetivo fue para estimar el efecto de este incremento de la demanda de los puertos de CA4, solamente los datos que afectan cargos por uso del terminal fueron considerados mientras otros costos y tiempos de Acajutla y el resto de los puertos bajo estudios se mantuvieron.

La matriz de transporte de hinterland con el Puerto de La Unión y la asignación prevista de mercados para dicho puerto se encuentran abajo. (Caso en que la capacidad del Puerto Acajutla no es limitada.)

Tabla 7.16 Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2020 (Escenario 2)

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2020 (Importación: Pacífico) (TEU)							
	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	116	12	2	4	10	1,012	1,156
El Salvador (O)	56,394	6,385	639	629	4,717	23,626	92,390
Guatemala	11,200	104,767	15	0	0	23	116,005
Honduras (N)	16	2	1,629	17,398	2	710	19,757
Honduras (S)	13	0	2	13	179	8,262	8,469
Nicaragua	0	0	0	0	34,051	0	34,051
Total	67,739	111,166	2,287	18,044	38,959	33,633	271,828

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

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	158	46	58	124	36	513	935
El Salvador (O)	27,569	2,953	24,619	21,826	2,640	12,783	92,390
Guatemala	6,021	28,961	252,196	34,587	0	147	321,912
Honduras (N)	0	0	2,991	144,646	0	0	147,637
Honduras (S)	0	0	911	44,309	24	18,028	63,272
Nicaragua	69	0	0	20,553	11,190	1,235	33,047
Total	33,817	31,960	280,775	266,045	13,890	32,706	659,193

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

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	30	4	0	0	0	503	537
El Salvador (O)	37,163	4,567	172	68	686	10,496	53,152
Guatemala	4,335	72,009	2	0	0	2	76,348
Honduras (N)	89	16	2,357	8,988	21	1,655	13,126
Honduras (S)	22	0	3	11	266	3,466	3,768
Nicaragua	0	0	0	0	12,642	0	12,642
Total	41,639	76,596	2,534	9,067	13,615	16,122	159,573

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

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	10	0	2	26	0	499	537
El Salvador (O)	12,793	2,676	14,449	13,122	2,536	7,573	53,149
Guatemala	4,247	19,798	287,798	41,607	0	122	353,572
Honduras (N)	0	0	11,795	160,091	0	2	171,888
Honduras (S)	0	0	2,819	38,354	17	3,961	45,151
Nicaragua	51	0	0	24,579	3,858	569	29,057
Total	17,101	22,474	316,863	277,779	6,411	12,726	653,354

Tabla 7.17 Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2030 (Escenario 2)

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2030 (Importación: Pacífico) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	229	24	4	8	20	2,001	2,286
El Salvador (O)	111,551	12,631	1,263	1,243	9,331	46,733	182,752
Guatemala	18,601	174,003	25	0	0	39	192,668
Honduras (N)	25	3	2,592	27,677	3	1,130	31,430
Honduras (S)	20	0	3	20	284	13,143	13,470
Nicaragua	0	0	0	0	57,586	0	57,586
Total	130,426	186,661	3,887	28,948	67,224	63,046	480,192

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2030 (Importación: Atlántico) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	312	91	114	245	71	1,014	1,847
El Salvador (O)	54,532	5,842	48,699	43,173	5,222	25,285	182,753
Guatemala	10,000	48,100	418,860	57,443	0	245	534,648
Honduras (N)	0	0	4,758	230,101	0	0	234,859
Honduras (S)	0	0	1,449	70,487	38	28,678	100,652
Nicaragua	116	0	0	34,758	18,924	2,089	55,887
Total	64,960	54,033	473,880	436,207	24,255	57,311	1,110,646

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2030 (Exportación: Pacífico) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	59	8	0	0	0	995	1,062
El Salvador (O)	73,510	9,035	339	134	1,358	20,761	105,137
Guatemala	7,200	119,596	3	0	0	3	126,802
Honduras (N)	141	25	3,749	14,298	33	2,632	20,878
Honduras (S)	35	0	5	18	423	5,513	5,994
Nicaragua	0	0	0	0	21,379	0	21,379
Total	80,945	128,664	4,096	14,450	23,193	29,904	281,252

Matriz de transporte de hinterland con La Unión en 2030 (Exportación: Atlántico) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	Tomas / Prto. Barrios	Prto. Cortés / Prto. Castilla	Corinto	La Unión	Total
El Salvador (E)	20	0	4	51	0	987	1,062
El Salvador (O)	25,304	5,293	28,581	25,956	5,017	14,979	105,130
Guatemala	7,053	32,882	477,990	69,102	0	203	587,230
Honduras (N)	0	0	18,764	254,670	0	3	273,437
Honduras (S)	0	0	4,484	61,013	28	6,301	71,826
Nicaragua	86	0	0	41,567	6,525	962	49,140
Total	32,463	38,175	529,823	452,359	11,570	23,435	1,087,825

Tabla 7.18 Asignación prevista de mercados para el Puerto de La Unión en los años 2020 y 2030
(Escenario 2)

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)	1,012	513	503	499
El Salvador (W)	23,626	12,783	10,496	7,573
Guatemala	23	147	2	122
Honduras (N)	710	0	1,655	2
Honduras (S)	8,262	18,028	3,466	3,961
Nicaragua	0	1,235	0	569
Total	33,633	32,706	16,122	12,726

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)	2,001	1,014	995	987
El Salvador (W)	46,733	25,285	20,761	14,979
Guatemala	39	245	3	203
Honduras (N)	1130	0	2,632	3
Honduras (S)	13,143	28,678	5,513	6,301
Nicaragua	0	2,089	0	962
Total	63,046	57,311	29,904	23,435

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). 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. Sus principales socios comerciales son los EE.UU., los países de América Central, Alemania, y Canadá para la exportación, y los EE.UU., los países de América Central, China y Japón para la importación (Banco Central).

8.1.2 Perspectiva general de puertos de El Salvador

Sus cuatro puertos tales como 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. Este puerto está equipado con un descargador a granel, y un equipo avanzado que se ha instalado y que ahora está funcionando, el que se encuentra conectado con la zona de almacenamiento en el patio trasero por una cinta transportadora.

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 los cuatro puertos de 2007 a 2012.

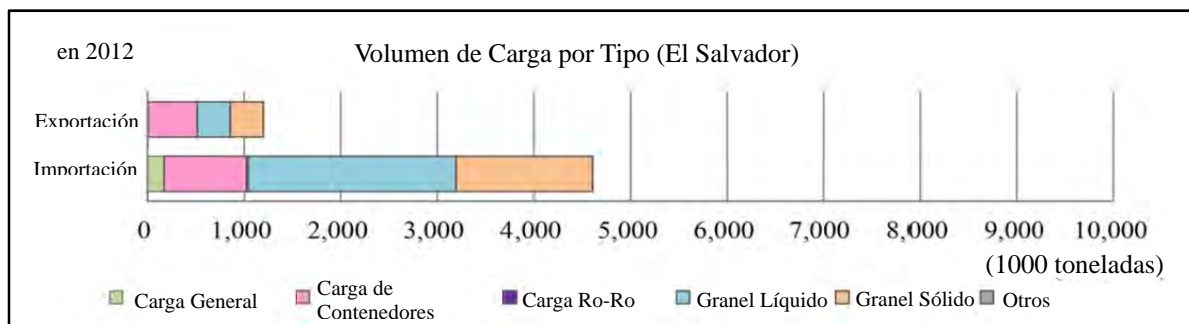


Figura 8.1 Volumen de Carga de Principales Puertos de El Salvador

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.



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 para formar una “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 lado interno es de tipo transparente a intervalos fijos (véase la Tabla 8.2).

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. Se terminó 9 años después del muelle A. Con una profundidad entre 10 m y 12 m, es usado principalmente por buques a granel y de contenedores. Tiene un descargador que está conectado con el patio trasero por una cinta transportadora, el que está instalado al centro del muelle B, y se utiliza para descargar a buques de contenedores. La descarga se realiza tanto por el lado izquierdo como por el derecho del muelle.

El muelle C se completó 5 años después que el muelle B. 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.

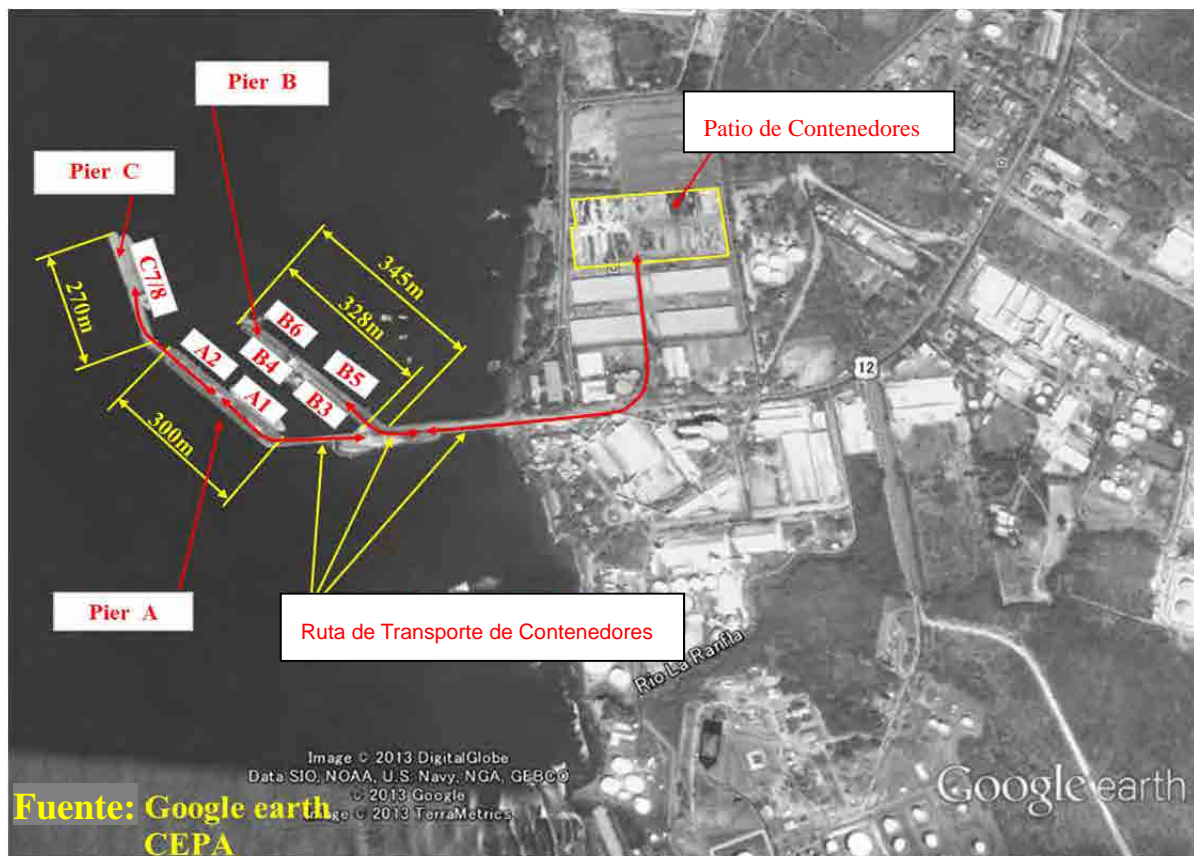


Figura 8.3 Plano del Puerto

Tabla 8.2 Muelle

Muelle	Longitud (m)	Profundidad de Muelle (m)	Ancho de Plataforma (m)	Año de Construcción
A	300	12	37	1957–1960
B – lado externo – lado interno	328	12	28	1969
	345	10		
C	270	14	19.3	1973–1974

Fuente: Puerto de Acajutla 1961 a 2013, 52 Años

El Puerto de Acajutla está, también, equipado con un patio de contenedores, un descargador a granel, un sistema de cinta transportadora, una torre de control para administrar el sistema de seguridad de navegación de buques que entran y salen del puerto, vehículos contra incendios, y sistemas de seguridad basados en el código ISPS (véase la Tabla 8.3).

Tabla 8.3 Principales Instalaciones del Puerto de Acajutla

Instalación/Equipo	Especificación	Número	Nota
Silo de grano	18.000 t	1	
Almacén de Grano	12.000 t	1	
Almacén Techado/Carga General	117.000 t	1	
Patio de Contenedores	2.788 TEUs	1	
Patio de Vehículos	2.000 automóviles	1	
Planta de Energía de Emergencia	1.176 KVA	1	
Remolcadores		2	
Carretilla Pórtico		5	
Spreaders (De 20' y 40')	20 ft-5, 40 ft-7	12	
Unidad de Carga y Descarga (AAU)	450 t/h	1	
Sistema Transportador		1	
Montacargas	2,7 t–25 t		
Vagones	30–50 t		
Cámara de Vigilancia		43	

Fuente: Puerto de Acajutla 1961 a 2013, 52 Años

(3) Actividades portuarias

1) Tráfico de carga

a) Carga total

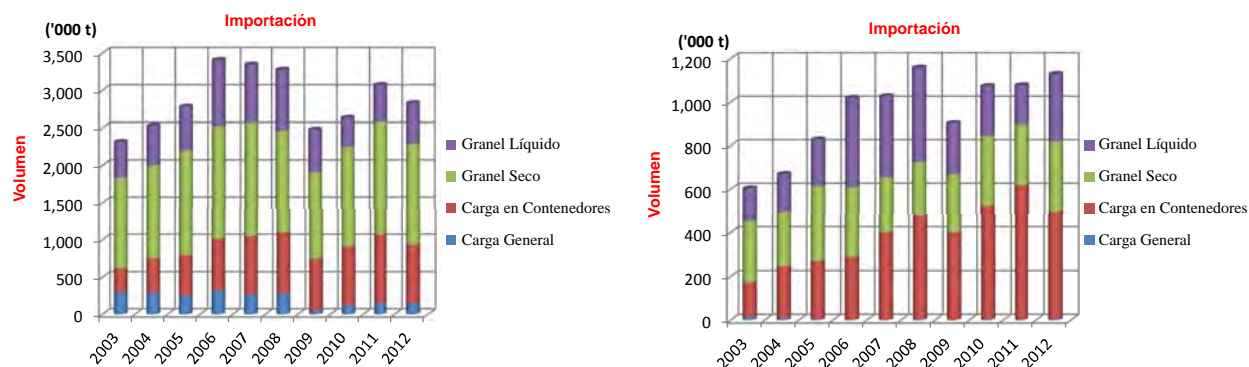
La carga que maneja el puerto se clasifica en 4 categorías: carga general, carga en contenedores, granel seco y granel líquido. El volumen de carga total alcanzó 3,96 millones de toneladas en 2012, un aumento de 36% comparado con el año 2003 y una disminución de 11% comparado con el año 2008. Aumentó continuamente durante 6 años desde 2003 hasta 2008, sin embargo, la recesión económica mundial provocada por el Lehman Shock de 2009 lo hizo caer en un 24% con relación al año anterior. Una recuperación al año siguiente restauró el tráfico a más de 4 millones de toneladas en el 2011, equivalente al nivel alcanzado antes del Lehman shock (véase la Tabla 8.4). Las importaciones representan el 71% del comercio total, mientras las exportaciones abarcan el 29%.

Tabla 8.4 Cambio de Volumen de Carga Total en Últimos 10 Años

(Unidad: tonelada)

Tipo de Carga	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Importación										
Carga General	307,977	292,870	255,067	327,349	266,176	277,171	53,280	127,675	154,500	148,546
Carga en Contenedores	310,821	453,372	534,028	684,572	780,837	823,501	690,744	781,950	915,974	788,010
Granel Seco	1,216,942	1,256,900	1,411,050	1,512,140	1,522,860	1,363,816	1,164,247	1,338,799	1,508,263	1,353,986
Granel Líquido	479,709	523,877	581,030	883,170	776,204	813,220	572,004	384,864	493,456	538,153
Importación Total	2,315,449	2,527,019	2,781,175	3,407,231	3,346,077	3,277,708	2,480,275	2,633,288	3,072,193	2,828,695
Exportación										
Carga General	14,098	10,300	5,637	1,024	543	6,975	527	5,697	1,797	5,435
Carga en Contenedores	159,733	234,321	261,889	286,697	401,046	471,500	401,812	516,365	615,086	489,907
Granel Seco	278,487	249,389	344,646	321,442	251,787	244,574	265,481	322,448	281,763	323,771
Granel Líquido	150,573	174,712	215,381	409,537	372,927	434,800	235,324	228,324	178,320	309,758
Exportación Total	602,891	668,722	827,553	1,018,700	1,026,303	1,157,849	903,144	1,072,834	1,076,966	1,128,871
Importación + Exportación Total	2,918,340	3,195,741	3,608,728	4,425,931	4,372,380	4,435,557	3,383,419	3,706,122	4,149,159	3,957,566

Fuente: Estadísticas del Puerto de Acajutla 2012



Fuente: elaborado por el Equipo de Estudio en base a los datos de las Estadísticas del Puerto de Acajutla 2012.

Figura 8.4 Cambio de Volumen de Carga de Importación y Exportación por Categoría

b) Manejo de carga por tipo y muelle

La carga y descarga se maneja el Puerto de Acajutla, utilizando los tres muelles y el tubo receptor de petróleo que está instalado en el agua. La Tabla 8.5 muestra cantidades de carga manejada en 2012 por tipo y por muelle. Los contenedores manejados principalmente por los atraques A-2 y C-7/8 representan el 78% del volumen de la carga total. La mayoría de granel seco es manejada por los muelles B y C. Entre los tipos de granel líquido, el petróleo se recibe por la boya en el agua; y la melaza, entre otros, son manejadas por el muelle A aunque otros son operados por el muelle C.

Tabla 8.5 Carga manejada según tipo y muelle

(Unidad: tonelada)

Mercancías		Muelle							Total
		A-1	A-2	B-3	B-4	B-5	B-6	C-7/8	
Carga General	Contenedor	0	624,806	8,927	31,280	19,322	219,005	374,577	1,277,917
	Otro Tipo de Carga General	3,033	49,169	2,990	5,477	11,505	49,847	31,960	153,981
	Total	3,033	673,975	11,917	36,757	30,827	268,852	406,537	1,431,898
Granel Líquido		212,586	301,825	0	0	0	0	284,062	798,473
Granel Seco		0	88,156	238,504	543,358	57,010	38,646	699,776	1,665,450
Carga Mixta		0	8,515	0	31,925	0	0	21,305	61,745
Total		215,619	1,072,471	250,421	612,040	87,837	307,498	1,411,680	3,957,566
Porcentaje por Atraque		5.4%	27.1%	6.3%	15.5%	2.2%	7.8%	35.7%	100%
Porcentaje por Muelle		32.5%			31.8%			35.7%	100%

Fuente: Estadísticas del Puerto de Acajutla 2012

c) Carga de contenedores en TEUs

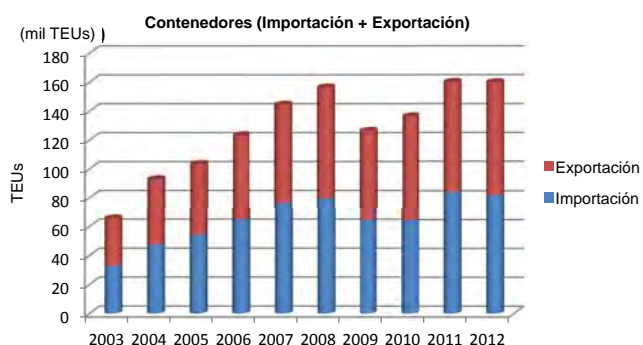
La carga de contenedores manejada en el Puerto de Acajutla alcanzó 160.000 TEU en 2012: 82.000 (51%) TEU de importaciones y 78.000 (49%) TEU de exportaciones. Los contenedores, también, disminuyeron en 19% en 2009 debido al Lehman Shock, sin embargo, en 2011 se había recuperado a un nivel más alto que antes del Lehman Shock (véase la Tabla 8.6 y la Figura 8.5).

Tabla 8.6 Cambio de Carga de Contenedores en Últimos 10 Años

(Unidad: TEU's)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Importación	32,816	47,541	54,332	65,146	76,431	79,575	64,516	64,516	84,259	81,939
Exportación	32,760	45,316	49,151	58,183	68,027	76,748	61,853	71,913	75,810	77,940
Total	65,576	92,857	103,483	123,329	144,458	156,323	126,369	136,429	160,069	159,879

Fuente: Estadísticas del Puerto de Acajutla 2012



Fuente: elaborado por el Equipo de Estudio en base a los datos de las Estadísticas del Puerto de Acajutla 2012.

Figura 8.5 Cambio de Carga de Contenedores

La Tabla 8.7 y la Tabla 8.8 muestran los países de origen de las mercancías de importación y exportación en carga de contenedores en 2012. El volumen de comercio con China (27,3%) y los Estados Unidos (25,0%) fue alto, con estos dos países suministrando 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 (véase la Tabla 8.7).

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 (véase la Tabla 8.8).

Tabla 8.7 Países de Origen de los Contenedores Importados según Mercancías en 2012

PRODUCTOS	ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	CHINA	MEXICO	TAIWAN-FORMOSA	SOUTH KOREA	CHILE	TAIWAN	PERU	HONG KONG	INDIA	SINGAPUR	ESPAÑA	AUSTRALIA	JAPON	PANAMA	CANADA	Total
DESPERDICIOS DE PAPEL O CARTON	21,172.49					59.55			0.10		15.89				21.64		21,269.67
MATERIA PRIMA P/INDUSTRIA DEL TEXTIL	1,457.58	7,556.02	4,452.00	968.92	763.92		546.61	12.03	837.18	437.42	22.97	8.50		17.72	44.89		17,125.76
RESINAS	102.72	49.01	463.67	10,493.88	157.23		2,760.61			356.68							14,383.80
FERRERIA	1,424.02	6,339.55	2,776.95	820.96	545.44	188.82	204.62	572.41	319.22	98.28	16.58	310.02	53.94	55.49	123.05	4.85	13,854.20
PAPEL EN RESMA, FARDOS O PLIEGOS	4,272.01	556.54	74.28	0.44	110.51	1,420.48		5.15	149.38		1,649.75			311.32	35.55	339.23	8,924.64
LLANTAS DE HULE O CAUCHO	2,330.32	1,391.65	116.84	498.86	1,186.05		35.78	35.88		27.56		111.39	209.59	1,631.03	65.66	526.58	8,167.19
PRODUCTOS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS	302.89	3,706.49	2,278.51	233.29	787.31	56.94	97.51	25.41	165.87	96.76	35.38	65.68	4.32	23.16	187.46	53.97	8,120.95
FRUTAS	1,659.71	48.54	20.49			5,291.26		21.01		21.80					102.95		7,165.76
QUIMICOS EN SACOS	450.67	2,609.26	482.80	535.09	765.16		32.08	60.98	95.62		18.76	716.10		5.60	39.81		5,811.93
ARTICULOS DE PLASTICO Y SIMILARES	333.56	1,586.05	853.88	634.86	76.35	55.47	688.36	866.68	312.74	46.35	37.06	21.69		38.07	15.72	20.18	5,587.02
TELAS	552.96	2,148.25	630.57	589.69	384.30		50.65	29.67	184.58	19.20						19.63	4,609.50
TEXTILES, PRENDAS DE VESTIR Y CUERO	386.71	2,004.36	329.82	455.65	226.21		204.32	16.88	309.80	191.06	18.41					249.97	4,393.19
REPUESTOS P/VEHICULOS	636.56	1,211.48	160.38	833.43	678.25	27.72	130.39	25.58	141.68		16.22			399.57	45.70		4,306.96
ARTICULOS PARA EL HOGAR	877.13	2,139.07	461.79	49.60	62.51	34.61		138.46	89.13	28.05		36.40		1.28	236.98	10.46	4,165.47
ALIMENTOS ENLATADOS	1,386.72	458.96	533.78	136.94		171.84	29.31		34.68	103.41		6.29		8.80	109.79		2,980.52
MOTOS	0.54	2,197.19	29.23	25.30	21.33				155.37	302.07		0.26		56.62			2,787.91
POLIPROPILENO		118.49	63.92		950.61	244.19	102.50	1,048.57									2,528.28
CARGA GENERAL	1,283.48	619.27	98.74	58.11	140.21	52.48	11.06	26.13	19.85		24.67	118.90	8.10	1.28	37.61	27.09	2,526.98
PRODUCTOS FARMACEUTICOS	380.27	736.55	661.91	20.57	178.87	107.52	1.60	45.43	1.48	61.34	44.32	92.50	72.98	19.33	46.74	17.44	2,488.85
DETERGENTES Y SIMILARES	18.51	2,424.93	41.26														2,484.70
PULPA O PURE DE FRUTAS NATURAL	431.94	62.13			39.68	1,810.66			0.04								2,344.45
ALUMINIO	19.79	792.16	423.30		19.32	5.60		16.84	190.33	708.54		22.95		71.42			2,270.25
CAJADO	303.34	1,480.06	26.08	7.31	6.06	9.43			282.56			3.50			150.13		2,268.47
PRODUCTOS LACTEOS	569.26		143.92			409.80					127.52			807.25	145.68		2,203.43
ALIMENTOS PARA ANIMALES	175.98		1,808.38											18.99		70.18	2,073.53
LAMINA EN BOBINAS	83.08	373.77		23.26	1,365.28		40.69						138.78				2,024.86
VIDRIO EN LAMINAS	74.27	1,045.52	729.40		50.00				7.70								1,906.89
MADERA	41.59	1,218.01	58.43	0.80	26.50	412.12				22.29		28.59					1,808.33
MUEBLES	312.94	1,017.58	122.65	95.97	53.33	50.17			3.47						37.85		1,693.96
ACIDOS	22.70	483.99	34.33	21.17	98.12	166.40		105.48	15.34	219.20							1,166.73
CERAMICA	16.33	610.64	3.44		2.50			341.68				168.25					1,142.84
Total general	41,080.07	44,985.52	17,880.75	16,504.10	8,695.05	10,575.06	4,936.09	3,394.27	3,316.12	2,740.01	2,027.53	1,711.02	1,606.28	2,348.36	1,697.18	1,089.61	164,587.02

Fuente: elaborado por las autoridades del Puerto de Acajutla

Tabla 8.8 Países de Destino de los Contenedores Exportados según Mercancías en 2012

Productos	ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	CHILE	TAIWAN	SOUTH KOREA	PANAMA	JAPON	CHINA	MEXICO	POLONIA	ECUADOR	VENEZUELA	PERU	ESPAÑA	PAISES BAJOS HOLANDA	HONG KONG	PUERTO RICO	Total
FRUTAS	51,873.85							34.92							598.58	136.25	54,046.18
TEXTILES, PRENDAS DE VESTIR Y CUERO	14,815.31	4,400.10	5,794.52	1,063.33			500.60		3,613.59			1,615.39	771.11	1,166.32		501.70	20,602.56
CAFE ORO LAVADO	7,844.18	156.15	1,622.45	6,222.64			263.72	847.20			217.13	19.00	46.22		42.16		19,269.62
ALIMENTOS CONGELADOS	6,186.70	2,518.83	2,874.48	463.31	1,608.12	258.93	3,107.02	1,798.66			1,708.92		129.63				16,836.78
CHATARRA EN PACAS	1,756.13	14.70	6.58	194.27	0.51			8.82			8.26	7.82			29.83		15,911.74
ALIMENTOS ENLATADOS	1,739.77	19.17	141.71			4,407.58		73.23						76.67			15,705.04
CERVEZA	1,687.32		241.04		42.68		116.17			159.81	212.66				87.99		11,447.22
MADERA	1,150.53				24.04			174.95			19.60		223.59		216.36	23.03	6,956.87
DESPERDICIOS DE PAPEL O CARTON	890.32	2,646.94					94.84					5.35					2,753.67
CARNES CONGELADAS	607.98	941.89	21.78	66.46	254.04		225.68				8.16	12.10			82.67	21.53	2,230.40
FRIJOL	601.77			19.39			36.00						142.34		50.62		2,073.15
MATERIA PRIMA P/INDUSTRIA DEL TEXTIL	533.34				1,825.40								96.71				1,981.93
FERRERIA	438.51										1,447.72						1,932.89
RECIPIENTES	394.95																1,486.33
GALLETAS	387.11	66.25		128.55	179.29			321.90		3.07		19.40					1,167.07
CUEROS SALADOS	273.00				758.80							158.62				95.68	1,074.08
CAMARONES	270.24	44.25		206.42				89.99				4.40			41.03		1,016.82
Total general	91,451.01	10,808.28	10,702.56	8,364.37	4,692.88	4,693.65	4,484.77	4,049.61	3,613.59	2,558.30	2,541.85	2,298.49	1,976.75	1,432.85	1,305.64	1,018.23	191,584.39

Fuente: elaborado por autoridades del Puerto de Acajutla

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 (véase la Tabla 8.9).

Tabla 8.9 Recaladas de Barcos según su Clase en 2012

Ítems	Tipo de Carga					
	Carga General	Contenedor	Granel Seco	Granel Líquido	Mixto	Total
Recalada de Buques en Muelle por Tonelaje y Números						
DWT (TM)	1,915,976	6,928,816	4,728,352	2,466,637	343,339	16,383,120
DWT Promedio de Buques (TM)	23,084	25,758	41,116	31,624	49,048	-
Números de Buques (Barco)	83	269	115	78	7	552
Recalada de Buques en Boya en el Agua por Tonelaje y Números						
Números de Buques				82		82

Fuente: Estadísticas del Puerto de Acajutla 2012

Los números de buques portacontenedores que recalán cada mes según compañía naviera se muestran en la Tabla 8.10. Un total de 100 barcos de Maersk Line recalaron durante el año, que significa un promedio de alrededor de 2 cada semana. Los barcos de APL recalaron con una tasa de 1 por semana, y los barcos de NKY recalaron con una tasa de 1 a 1,5 cada 2 semanas.

Tabla 8.10 Recaladas Mensuales de Buques Portacontenedores según Compañía Naviera en 2012

(Unidad: Barco)

Compañía Naviera	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Maersk Line	9	8	9	7	8	9	8	8	9	8	9	8	100
APL (American President Line)	4	5	7	4	4	5	4	5	4	4	5	4	55
NYK Line	4	5	3	3	2	2	3	2	3	3	3	2	35
CSAV (Compañía Sudamericana de Agencia de Vapores)	2	3	1	3	2	2	2	2	2	2	2	2	25
CMA-CGM Line	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	1	2	23
Hapag-Lloyd Line	3	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	3	20
Evergreen Line	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	9
Hamburg Sud	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Total	26	27	26	22	19	21	21	20	22	20	22	22	268

Fuente: Estadísticas del Puerto de Acajutla 2012

3) Asignación de atraques

Las horas de atraque por tipo de barco y por muelle se muestran en la Tabla 8.11. Los buques portacontenedores usaron con mayor frecuencia el atraque A-2, seguidos de los atraques C-7/8 y B-6. Los buques a granel seco usaron los muelles C-7/8 y B-4, aunque los buques a granel líquido usaron los muelles A-1, A-2 y C-7/8 casi por igual. Esto ocurre así porque un tubo ha sido instalado para trasladar granel líquido.

Tabla 8.11 Asignación de Atraques de Muelle por Categoría de Mercancías en 2012

Ítems	Tipo de Carga					
	Carga General	Contenedor	Granel Seco	Granel Líquido	Mixto	Total
Hora de Atraque de Buques en Muelle por Mercancías (Unidad: hora)						
A-1	13.4	0.0	0.0	1,009.4	0.0	1,022.8
A-2	144.8	2,104.3	336.1	1,210.2	33.0	3,828.3
B-3	11.5	33.6	791.5	0.0	0.0	836.6
B-4	66.1	129.2	1,636.3	0.0	193.0	2,024.6
B-5	174.6	82.6	226.2	0.0	0.0	483.4
B-6	227.4	854.7	171.5	0.0	0.0	1,253.7
C-7/8	170.7	1,331.2	2,471.3	952.9	116.7	5,042.7
Total de horas	808.5	4,535.6	5,632.9	3,172.4	342.7	14,492.1

Fuente: Estadísticas del Puerto de Acajutla 2012

(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 y sus limitaciones estructurales impiden la instalación de grúas para manejar contenedores, por lo que los contenedores se cargan y descargan utilizando la grúa de barco. Los camiones chasis que transportan contenedores al patio trasero son proporcionados por las compañías estibadoras privadas. Para cada operación, 10 camiones son utilizados aproximadamente por cada banda.

La carga y descarga de carga de contenedores se realiza principalmente en los atraques A-2, B-6 y C-7/8, sin embargo, la eficiencia de manejo por hora por grúa de barco es de 13,5 cajas/1grúa de barco/hora. El sistema de manejo de carga se subcontrata a una compañía estibadora privada.

Se necesitan 10 minutos para que un camión transporte un contenedor al patio de contenedores desde el muelle. Su área es de alrededor de 40.000 m², su capacidad de almacenamiento es de 2.500 TEU, y enchufes reefer son instalados en 120 lugares.

El número promedio de días que los contenedores se asientan en el patio de contenedores es de 8 días para los contenedores importados, 4 días para contenedores frigoríficos importados, 4,5 días para contenedores exportados y 3 días para contenedores frigoríficos exportados. La proporción de contenedores vacíos es de 1% para las importaciones y 33% para las exportaciones.

2) Capacidad de manejo de los contenedores

Los factores que determinan la capacidad de manejo de contenedores en un terminal de contenedores consisten en la capacidad de manejo de las grúas pórtico, grúas portuarias y otra maquinaria de manejo de carga en los atraques, más el tamaño y capacidad de manejo del patio de contenedores donde los contenedores se almacenan para manejo. La capacidad de manejo de un terminal de contenedores se refleja en los valores más pequeños de la capacidad de los lados del muelle o de la capacidad de patio de contenedores.

a) Capacidad de los lados de muelle

En el Puerto de Acajutla hay tres muelles: A, B y C. El muelle A es de 300 m de longitud (150 m de longitud para cada uno de los muelles A-1 y A-2). El muelle B está construido para que ambos lados sean utilizados; y los atraques en el agua B-3 y B-4 son de 328 m de longitud aunque los muelles del lado interior B-5 y B-6 son de 345 m de longitud. El muelle C es de 270 m de largo. La Tabla 8.12 presenta la asignación de atraques de muelle por mercancías en 2012.

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. 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 (véase la Tabla 8.12).

Tabla 8.12 Asignación de Atraques de Muelle por Mercancías en 2012

Muelle		Longitud (m)		Tipo de Buque (horas)										Total	BOR (%)
				General		Contenedor		Granel		Buque Cisterna (Liquid Bulk)		Mixto			
A	A-1	300	150	13	0.2%	0	0.0%	0	0%	1,009	12%	0	0%	1,023	11.7%
	A-2		150	145	1.7%	2,104	24.0%	336	3.8%	1,210	14%	33	0.4%	3,828	43.7%
B	B-3	673	328	12	0.1%	34	0.4%	791	9.0%	0	0.0%	0	0.0%	837	9.6%
	B-4			66	0.8%	129	1.5%	1,636	18.7%	0	0.0%	193	2.2%	2,025	23.1%
	B-5	345	175	2.0%	83	0.9%	226	2.6%	0	0.0%	0	0.0%	483	5.5%	
	B-6		227	2.6%	855	9.8%	172	2.0%	0	0.0%	0	0.0%	1,254	14.3%	
C	C-7/8	270	270	171	3.4%	1,331	26.4%	2,471	49.0%	953	18.9%	117	2.3%	5,043	57.6%
	Tiempo total de atraque (horas)			808	6%	4,536	31%	5,633	39%	3,172	22%	343	2%	14,492	–

Fuente: Informe Anual del Puerto de Acajutla en 2012

El valor del aumento estimado de contenedores en TEU se considera en base a la condición de diferencia entre la asignación actual de atraques y el valor de límite superior del BOR (se adopta el 65%). Con respecto a la eficacia de manejo de contenedores de los lados del muelle, un aparejo de barco maneja 13,5 cajas por hora que es igual a 22 TEUs basados en el ratio de contenedores de 40 ft (62%). Por lo general, un barco está equipado con dos grúas de barco y por consiguiente la eficacia en el manejo de contenedores resulta en 44 TEUs por hora, aunque las horas dedicadas al manejo de contenedores se calculan en 3.634 horas (159.879 TEU/44 TEU/hora) por año en el atraque, comparadas con las 4.536 horas basadas en las estadísticas del Puerto de Acajutla. En este caso, el tiempo trabajable en el atraque representa alrededor del 80% del tiempo de atraque con el tiempo restante que es utilizado en preparaciones como, por ejemplo, son trabajos de anclaje, entre otros.

El tráfico de contenedores por atraque en TEUs se calcula dividiéndose el volumen total de contenedores por tiempo de atraque. El aumento estimado en el tiempo de atraque de los contenedores se calcula restandose el tiempo actual de atraque del tiempo de atraque cuando un BOR es del 65%. Además, el aumento estimado en el tiempo de trabajo es de 80% del aumento estimado en el tiempo de atraque. El aumento estimado en los contenedores resulta en 36.115 TEU (159.879 TEU x (821/3.634)) en el atraque A-2 y 6.054 TEU (159.879 TEU x (138/3.634)) en el atraque C-7/8 significando 42.000 TEU en total, por lo tanto la capacidad total del lado de muelle se estima en 202.000 TEU por año (véase la Tabla 8.13).

Tabla 8.13 Tiempo Estimado de Atraque y Trabajo, y el Aumento de Contenedores

	A-1	A-2	B-3	B-4	B-5	B-6	C-7/8	Total
Tráfico de contenedores (TEUs)	0	74,159	1,198	4,547	2,925	30,136	46,914	159,879
Tiempo de atraque (horas por año)	0	2,104	34	129	83	855	1,331	4,536
Tiempo de trabajo en el atraque (horas por año)	0	1,685	27	103	66	685	1,066	3,634
Aumento estimado en el tiempo de atraque (horas)	0	1,026	0	0	0	0	172	1,198
Aumento estimado en el tiempo de trabajo (horas)	0	821	0	0	0	0	138	958
Aumento estimado en contenedores en TEU (TEU)	0	36,115	0	0	0	0	6,054	42,170
Capacidad de contenedores de los lados de muelle en TEU (TEUs)								202,000

Fuente: elaborado por el Equipo de Estudio

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 de manejo de un patio de contenedores se puede calcular a partir de los siguientes factores:

1. El número de espacios TEU en el suelo del almacenamiento de contenedores del patio de contenedores
2. La medida de la altura del apilado de contenedores
3. El Factor Pico del Patio de Contenedores (CY): la relación entre la cantidad máxima mensual manejada y la cantidad promedio mensual manejada
4. Los días de permanencia en el patio de contenedores
5. El número de días anual de operación del patio de contenedores
6. La tasa anual de rotación

El número de espacios TEU en el suelo del almacenamiento de contenedores del Puerto de Acajutla es de 1.390. Un sistema de carretillas pórico se adopta en el patio de contenedores, por lo que la altura máxima del apilado de contenedores debe ser de 3,0. La Máxima Capacidad de CY Muerta del Puerto de Acajutla es de 4.170 TEU/tiempo y por lo tanto la Máxima Capacidad de CY Trabajable es de 3.128 TEU/tiempo (el 75% de la Máxima Capacidad de CY Muerta) y la Máxima Capacidad de CY Sostenible es de 2.463 TEU/tiempo, suponiendo a 1,27 como factor pico del CY.

Según la máxima capacidad de CY sostenible por tiempo (2.463 TEU), la capacidad anual del puerto resulta en 183.000 TEU cuando el promedio de días de permanencia en CY para contenedores es de 4,9 días. Por otro lado, la Capacidad Portuaria declarada de la CEPA es de 145.000 TEU por año.

La Tabla 8.14 presenta los resultados de cálculo.

Tabla 8.14 Capacidad de Manejo de Contenedores

(Unidad: TEUs)

Patio de apilamiento	Sistema de manejo de patios	Máxima Capacidad de CY Muerta	Máxima Capacidad de CY Trabajable	Máxima Capacidad de CY Sostenible	Capacidad Anual de CY
Patio principal	Carretilla pórtico	4.170	3.128	2.463	183.000
Observaciones:	1. El número de espacios TEU en el suelo del almacenamiento de contenedores del patio de contenedores: 1.390 Espacios 2. La medida de la altura del apilado de contenedores: 3 niveles 3. El Factor de Pico del Patio de Contenedores (CY): 1,27 4. Los días de permanencia en el patio de contenedores: 4,9 días 5. El número de días anual de operación del patio de contenedores: 365 días 6. La tasa anual de rotación: 74,5				

Fuente: elaborado por el Equipo de Estudio

La CEPA tiene previsto introducir medidas para aumentar el volumen de carga de contenedores a través del Puerto de Acajutla. Con estas medidas, el patio puede ser utilizado para manejar 183.000 TEU por año. Será posible garantizar la capacidad de 26.000 TEU/año (75% × 35.000 TEUs) 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, y las dos carretillas pórtico renovadas se están mejorando para su utilización en 4 niveles. Esto aumentará la capacidad del patio a alrededor de 61.000 TEU/año (75% × 81.500 TEUs), alcanzando su capacidad total en aproximadamente 270.000 TEU por año (véase la Figura 8.6).

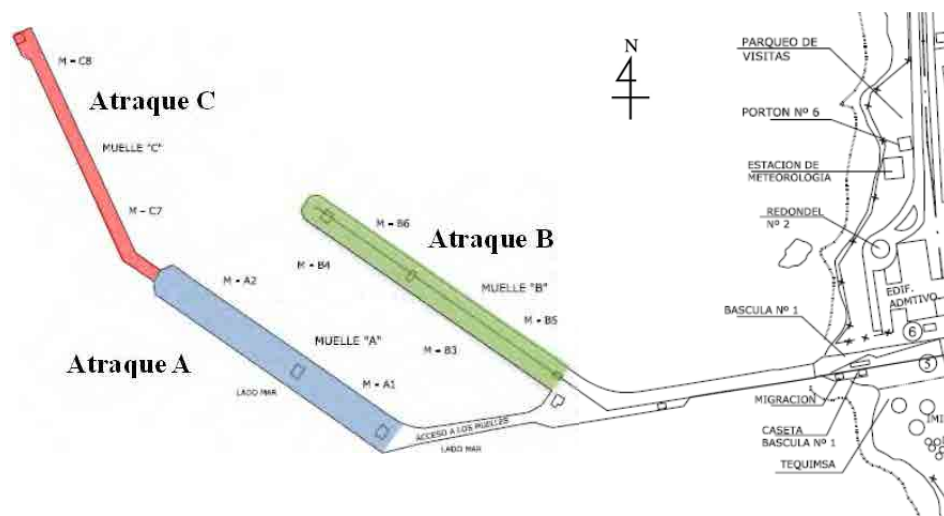


Figura 8.6 Distribución del Patio de Contenedores

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

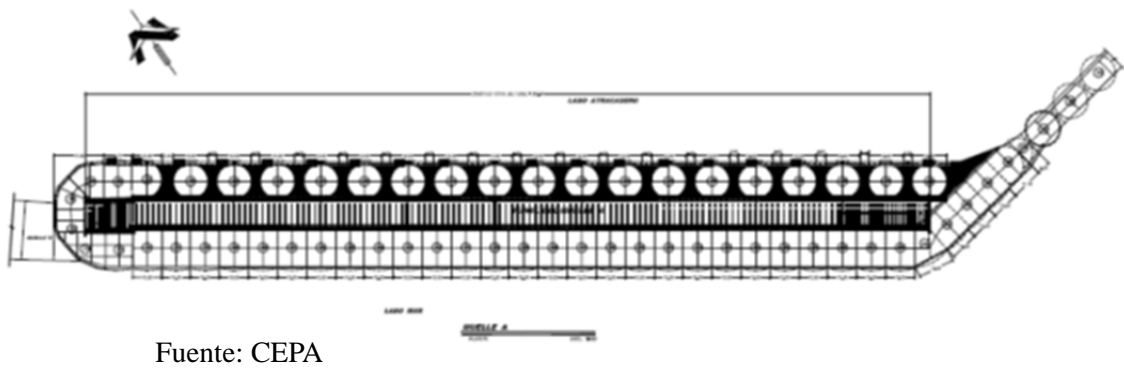
1) Los atraques del Puerto de Acajutla

El Puerto de Acajutla tiene tres atraques: A, B y C. El atraque más antiguo se construyó hace 53 años y el atraque más nuevo hace 39 años. Sus estructuras son de tipos de célula, de pila de tubos de acero y de cajón. Las ubicaciones de los atraques se indican en la Figura 8.7. Una vista general del plano y la sección transversal de cada atraque se muestran en la Figura 8.8, la Figura 8.9 y la Figura 8.10. Asimismo, las características de las instalaciones portuarias en el Puerto de Acajutla se presentan en la Tabla 8.15.



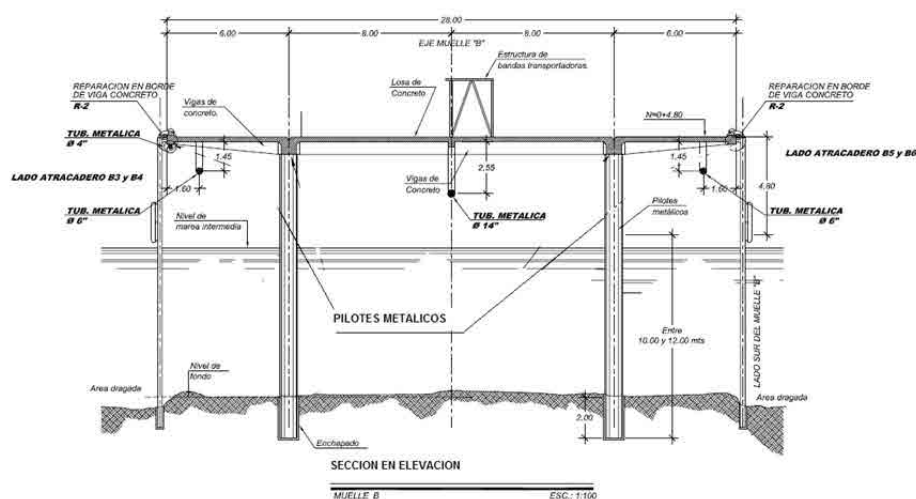
Fuente: CEPA

Figura 8.7 Ubicación de cada atraque



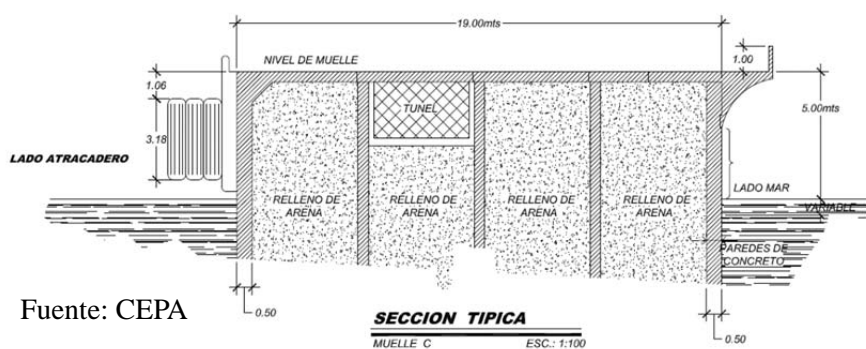
Fuente: CEPA

Figura 8.8 Vista General del Plano del atraque A



Fuente: CEPA

Figura 8.9 Sección Transversal del atraque B



Fuente: CEPA

Figura 8.10 Sección Transversal del atraque C

Tabla 8.15 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 de la JICA

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 como se muestra en la Figura 8.11.



Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

Figura 8.11 Continuo óxido de color naranja rojizo 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 como se observa en la Figura 8.12, sin embargo, se asume que se origina en la pintura anticorrosiva base color negro que se ha descascarado.

La Figura 8.13 muestra el descascarado de la superficie lateral del hormigón de losa debajo del atraque A.

La Figura 8.14 muestra que no observan ni rajaduras ni óxido de la superficie pintada del atraque C que mira hacia el mar exterior.

La Figura 8.15 muestra la inspección del martillo sobre las pantallas de acero en el atraque A.



Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

Figura 8.12 Situación de las pilas de tubos de acero en el atraque B



Figura 8.13 Hormigón descascarado en el atraque A



Figura 8.14 Pared de hormigón mirando hacia el mar exterior en el atraque C



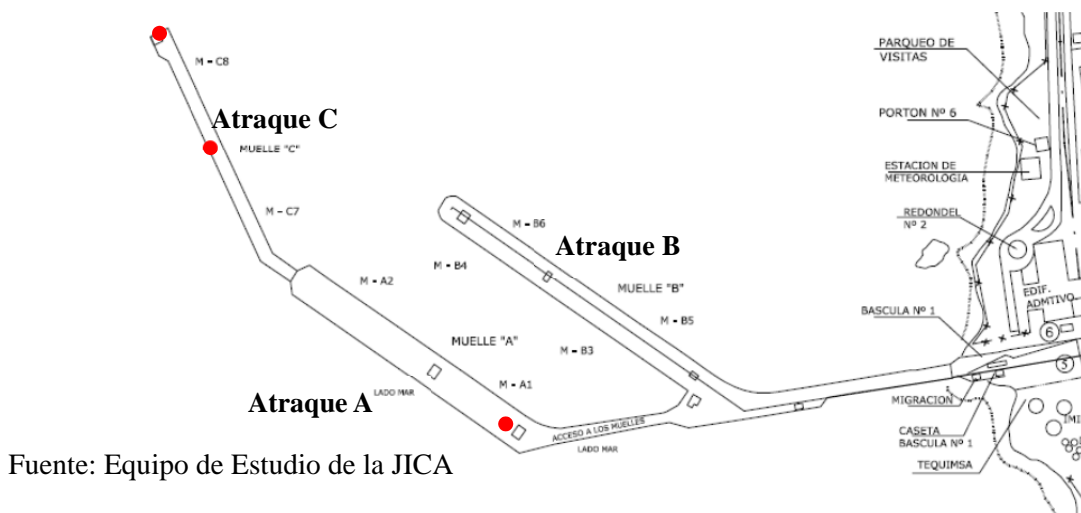
Figura 8.15 Inspección de martillo sobre las pantallas de acero en el atraque A

b) Ensayo del martillo Schmidt

La medición de la fuerza del hormigón se realizó con un martillo Schmidt sobre la viga de hormigón del cimientó de la losa del atraque A y una porción de hormigón de la plataforma en

el atraque C. La Figura 8.16 enseña las ubicaciones de los ensayos. Las posiciones para realizar los ensayos del martillo Schmidt se muestran en la Figura 8.17. La posición para el atraque A se muestra en la Figura 8.18 y la posición para el atraque C se presenta en la Figura 8.19.

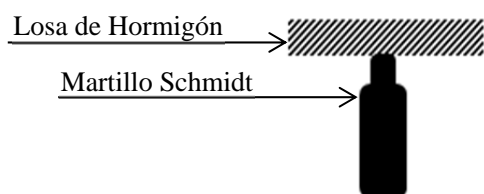
Los resultados de los ensayos del martillo Schmidt se presentan en la Tabla 8.16. Los ensayos se realizaron en 15 puntos de cada lugar. Los cinco puntos donde los valores obtenidos fueron extremadamente bajos o altos fueron excluidos y luego el valor promedio se obtuvo a partir de los diez puntos restantes.



Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

Figura 8.16 Puntos de ensayo realizados con el martillo Schmidt

Atraque A:



Atraque C:

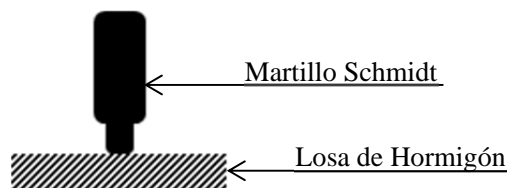


Figura 8.17 Posiciones del martillo Schmidt



Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

Figura 8.18 Posición del martillo Schmidt para el atraque A



Figura 8.19 Posición del martillo Schmidt para el ataque B

Tabla 8.16 Resultados de los ensayos con el martillo Schmidt

Punto	Nº	Rebote ($\alpha = 90^\circ$)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
Muelle A (Pie de la Viga entre Células)	1	46	390
	2	48	420
	3	46	390
	4	50	460
	5	39	280
	6	44	360
	7	45	370
	8	45	370
	9	50	460
	10	48	420
	11	50	460
	12	44	360
	13	47	410
	14	51	480
	15	48	420
391			
Promedio de los 10 puntos			
Muelle C (Borde del Cimiento en el centro de la anchura)	1	43	440
	2	44	460
	3	52	580
	4	40	390
	5	48	530
	6	46	490
	7	44	460
	8	40	390
	9	44	460
	10	44	460
	11	43	440
	12	46	490
	13	49	540
	14	44	460
	15	49	540
469			
Promedio de los 10 puntos			
Muelle C (Centro del Cimiento del lado del mar exterior)	1	46	490
	2	33	290
	3	41	410
	4	33	290
	5	28	220
	6	33	290
	7	28	220
	8	28	220
	9	28	220
	10	28	220
	11	19	-
	12	28	220
	13	33	290
	14	45	480
	15	28	220
248			
Promedio de los 10 puntos			

Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

c) Resultados de la Encuesta

Los resultados de la encuesta se presentan en la Tabla 8.17. La Tabla 8.18 muestra la valoración en consideración de los resultados de la encuesta.

Tabla 8.17 Resultado de la Encuesta sobre las Inspecciones Visuales y de Martillo para el Estudio de Diagnóstico sobre los Grados de Deterioro de las Instalaciones del Puerto de Acajutla

Encuesta sobre el Deterioro		Atraque A	Atraque B	Atraque C
Datos examinados		13 de abril de 2013	13 de abril de 2013	13 de abril de 2013
Inspección Visual	Estructura de acero	Pantallas de acero: Se observa un continuo óxido de color naranja rojizo. (Figura 8.11)	Pilas de tubos de acero: No se observa ningún óxido. (Figura 8.12)	—
	Estructura de hormigón	Superficie lateral del hormigón de losa: Se observan descascarados y desprendimientos parciales. (Figura 8.13)	Hormigón de losa: No se observan ni rajaduras ni óxido.	Superficie lateral del hormigón: No se observan ni rajaduras ni óxido. (Figura 8.14)
Ensayo de Martillo	Estructura de acero	Pantallas de acero: Se observa oxidación intensa. (Figura 8.15)	—	—
	Estructura de hormigón	—	—	Superficie lateral del hormigón: No se observa ninguna sección débil.
Ensayo con un Martillo Schmidt	Resultado	391 kg/cm ² (Figura 8.16)	—	469 kg/cm ² (Arriba) 248 kg/cm ² (Centro) (Figura 8.17)
	Miembro	Viga PC entre células	—	Superficie de la losa superior
	Dictamen	Bueno	—	Bueno

Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

Tabla 8.18 Valoración de la Vida Útil Restante basada en los Resultados de la Encuesta sobre las Instalaciones del Puerto de Acajutla

Ítem para la Valoración		Atraque A	Atraque B	Atraque C
Nivel de deterioro	Estructura de acero	Pantallas de acero: El rendimiento de los miembros se considera reducido.	Pila de tubos de acero: No se observa ninguna deformación.	—
	Estructura de hormigón	Superficie lateral del hormigón de losa: El rendimiento de los miembros se considera reducido. Pie de la losa: No se observa ninguna deformación.	Hormigón de losa: No se observa ninguna deformación.	Superficie lateral del hormigón: No se observa ninguna deformación.
Instalaciones	Estructura de acero	Parte de las pantallas de acero: El rendimiento de la instalación se considera deteriorado.	Pila de tubos de acero: No se observa ningún deterioro en el rendimiento de la instalación, sin embargo, se requiere una observación continua.	—
	Estructura de hormigón	Superficie lateral del hormigón de losa: El rendimiento de la instalación se considera deteriorado.	Hormigón de losa: No se observa ningún deterioro en el rendimiento de la instalación, sin embargo, se requiere una observación continua.	Superficie lateral del hormigón: No se observa ningún deterioro en el rendimiento de la instalación, sin embargo, se requiere una observación continua.
Vida Útil Restante	Estructura de acero	Pantalla de acero: Se observa un deterioro en el rendimiento y se requiere una inspección inmediata a fin de garantizar la seguridad.	Pila de tubos de acero: No se observa ninguna deformación aunque 44 años han pasado desde su construcción; se debe continuar la inspección periódica bajo la gestión actual de mantenimiento.	—

Ítem para la Valoración		Atraque A	Atraque B	Atraque C
Vida Útil Restante	Estructura de hormigón	Superficie lateral del hormigón de losa: Se observa un deterioro en el rendimiento y se requiere una inspección inmediata a fin de asegurar la seguridad.	Hormigón de losa: No se observa ninguna deformación aunque 44 años han pasado desde su construcción; se debe continuar la inspección periódica bajo la gestión actual de mantenimiento.	Superficie lateral del hormigón: No se observa ninguna deformación aunque 39 años han pasado desde su construcción; se debe continuar la inspección periódica bajo la gestión actual de mantenimiento.
Contramedida	Estructura de acero	Pantallas de acero: Se requiere una reparación inmediata en la sección de diseño.	Pila de tubos de acero: Se requiere acumular datos mediante inspecciones periódicas para una futura contramedida.	—
	Estructura de hormigón	Superficie lateral del hormigón de losa: Se requiere una reparación inmediata en la sección de diseño original.	Hormigón de losa: Se requiere acumular datos mediante inspecciones periódicas para una futura contramedida.	Superficie lateral del hormigón: Se requiere acumular datos mediante inspecciones periódicas para una futura contramedida.
Estado de mantenimiento	Estructura de acero	Pantallas de acero: Actualmente están siendo reparadas a fin de cumplir la norma del diseño original.	Pila de tubos de acero: No se está realizando ninguna obra especial de reparación.	—
	Estructura de hormigón	Superficie lateral del hormigón de losa: Está programada para ser reparada a fin de cumplir la norma del diseño original.	Hormigón de losa: No se está realizando ninguna obra especial de reparación.	Superficie lateral del hormigón: No se está realizando ninguna obra especial de reparación.

Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

d) 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 en el 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 (véase la Figura 8.20). Este plan incluye la construcción de un gasoducto desde el muelle C a fin de suministrar gas natural como combustible.



Fuente: Puerto de Acajutla 1961-2013, 52 Años

Figura 8.20 Planta de Generación de Energía Eléctrica Planificada

(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. La Figura 8.21 muestra la red de carreteras de entrada y salida del Puerto de Acajutla. 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.



Fuente:
Puerto de Acajutla 1961-2013,
52 Años

Figura 8.21 Red de Carreteras de entrada y salida del Puerto de Acajutla

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 lenta. 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 (véase la Figura 8.22).



Figura 8.22 Ubicación del Puerto de La Unión

(2) Instalaciones del puerto

El Puerto de La Unión consiste en un atraque de 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 de buques de pasajeros (longitud total de 240 m y profundidad de 9,5 m). Las principales máquinas de carga y descarga consisten en cinco carretillas pórtico, 10 camiones y 5 grúas portacontenedores. Una grúa pórtico está programada a procurarse. Hay un paso que tiene aproximadamente 22 km. Inmediatamente después de su construcción, la sedimentación se volvió un problema grave, reduciendo la profundidad del pasaje que era -14 m inmediatamente después de su finalización a -7,3 m en algunos lugares. Esto significa que el canal de navegación debe dragarse (véase la Tabla 8.19 y la Figura 8.23).

Tabla 8.19 Principal Instalación del Puerto de La Unión

Instalación Portuaria	Longitud/Área (m)	Profundidad (m)	Tipo de Pasajero/Carga
Atraque para Contenedores	340	15	Contenedor
Atraque Multipropósito	220	14	Carga general, Granel seco
Pasajero y Atraque Ro-Ro	240	9.5	Pasajero, Carga Ro-Ro

Fuente: CEPA

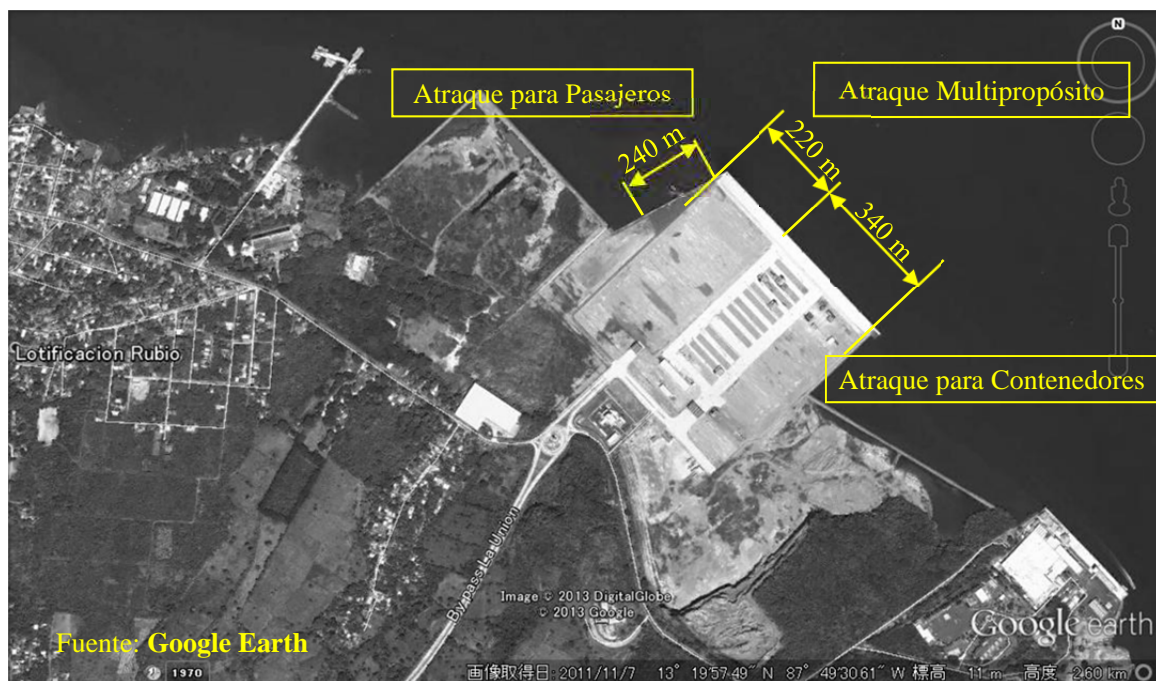


Figura 8.23 Plano del Puerto de La Unión

(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. La Tabla 8.20 muestra el tráfico de carga. 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. El puerto manejó carga general en 2010 y 2011, pero ninguna en 2012. En granel seco se limitó a importaciones en 2012, cuando se operaron 37.540 toneladas.

Tabla 8.20 Tráfico de Carga del Puerto de La Unión

Tipo de Carga	Año		
	2010	2011	2012
Importación			(Unidad: tonelada)
Carga General	600	40,073	0
Contenedor	449	1,328	14,800
Granel Seco	15,861	0	37,540
Importación Total	16,910	41,401	52,340
Exportación			(Unidad: tonelada)
Carga General	0	601	0

Contenedor	155	818	66,084
Granel Seco	2,605	0	0
Exportación Total	2,760	1,419	66,084
Importación + Exportación Total	19,670	42,820	118,424

Fuente: Estadísticas del Puerto de La Unión 2010 a 2012

La Tabla 8.21 muestra la capacidad de manejo de contenedores. La operación se inició en 2010, y en 2012 se manejaron 18.398 TEU. 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.

Tabla 8.21 Tráfico de Contenedores del Puerto de La Unión

Tipo de Carga			
	2010	2011	2012
Contenedor (Unidad: TEU's)			
Importación	765	2,446	10,317
Exportación	121	1,512	8,081
Total	886	3,958	18,398

Fuente: Estadísticas del Puerto de La Unión 2012

2) Recalada de barcos

En 2012, 57 buques de carga recalaron en el puerto. La mayoría fueron buques portacontenedores con 48 buques, seguidos por 5 buques de carga general y 4 buques a granel seco. El tipo medio 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 (véase la Tabla 8.22).

Tabla 8.22 Recalada de Barcos en el Puerto de La Unión en 2012

Ítems	Tipo de Carga			
	Carga General	Contenedor	Granel Seco	Total
Recalada de Buques en Muelle por DWT y Números				
DWT	11,197	893,470	148,487	1,053,154
DWT (Promedio)	2,239	18,614	37,122	-
Números de Buques	5	48	4	57

Fuente: Estadísticas del Puerto de La Unión 2012

(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. La Figura 8.24 muestra el plano de ampliación propuesto.

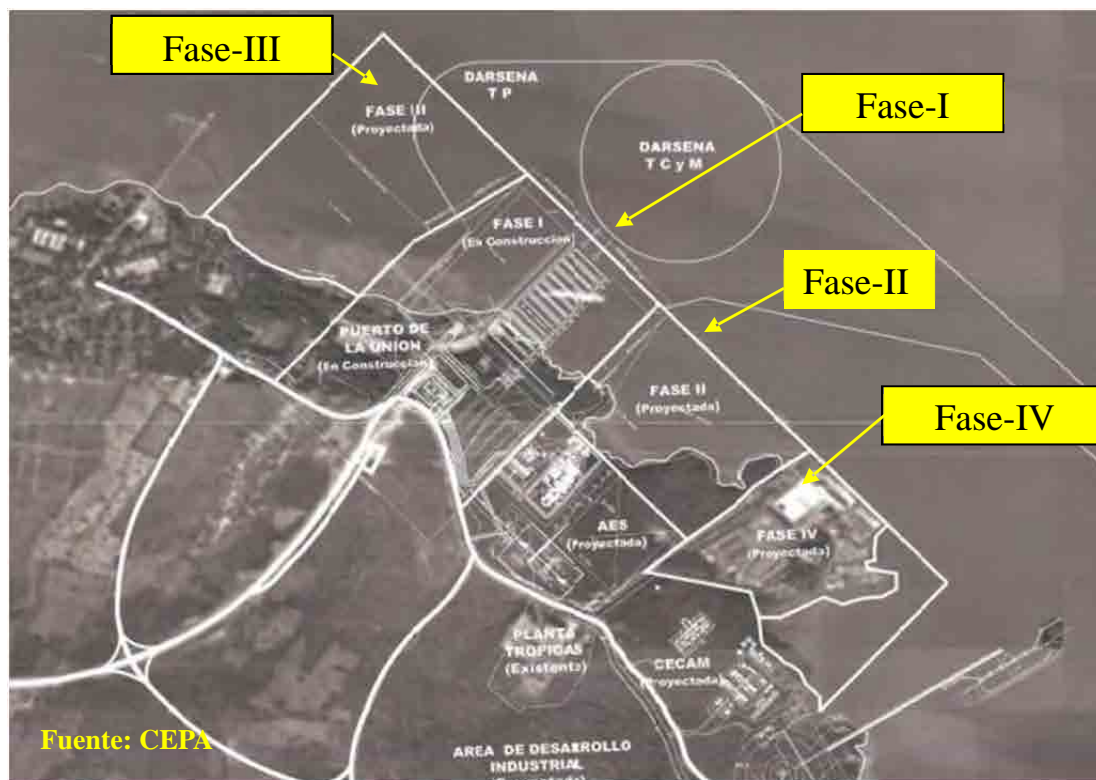


Figura 8.24 Plano de Desarrollo del Puerto de La Unión

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. Una comparación de los puertos desde tales puntos de vista se presenta en las Tablas 8.23 a 8.28.

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 fluctúan entre US\$3.000 y US\$3.999, aunque Honduras está entre US\$2.000 y US\$2.999 y Nicaragua está entre US\$1.000 y US\$1.999.

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.

Todos los puertos menos el Puerto de Acajutla no tienen problemas con respecto a la tranquilidad de las aguas portuarias, sin embargo, todos los puertos necesitan tomar medidas para mantener una profundidad apropiada de las aguas portuarias;

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 (INCOF) que es una agencia gubernamental juega un papel de regulador de dicho puerto. El Puerto Caldera SPC y el Puerto Caldera SPMC 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 recalieron 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 recalieron 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 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 las grúas 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.

Tabla 8.23 Situaciones Económicas de los países del CA5

	Guatemala	El Salvador	Honduras	Nicaragua	Costa Rica
Área	108,889 km ²	21,040 km ²	112,492 km ²	129,541 km ²	51,100 km ²
Población	14.71 millones ¹⁾	6.23 millones ¹⁾	7.75 millones ¹⁾	5.87 millones ¹⁾	4.72 millones ¹⁾
Principales Industrias	Agricultura y textiles	Agricultura y confección	Agricultura, silvicultura, pesca y ganadería	Agricultura, ganadería y confección	Agricultura, manufactura y turismo
PIB	US\$46,910 millones ²⁾	US\$23,054 millones ²⁾	US\$17,200 millones ²⁾	US\$7,297 millones ²⁾	US\$41,004 millones ²⁾
Per cápita	US\$3,188 ²⁾	US\$3,728.6 ²⁾	US\$2,105.0 ²⁾	US\$1,239.2 ²⁾	US\$8,678 ²⁾
Monto de Exportación	US\$10,450 millones ²⁾	US\$5,308.8 millones ²⁾	US\$7,204.3 millones ²⁾	US\$4,507 millones ²⁾	US\$10,408 millones ²⁾
Principales Mercancías de Exportación	Prendas de vestir, productos de trabajo textil y de tejido, café, piedras preciosas, metales preciosos, azúcar y banano	Prendas de vestir, café y azúcar	Café, banano, camarón cultivado y peces de agua dulce cultivados	Café, carne de res, oro y azúcar	Circuitos integrados, piezas de máquinas de procesamiento automático de datos, banano y piña
Principales Socios de Exportación	EE.UU., los países de América Central, la UE, México y Panamá	EE.UU., los países de América Central, Alemania y Canadá	EE.UU., los países de América Central, la UE y Japón	EE.UU., El Salvador, Venezuela, Honduras y Costa Rica	EE.UU., Holanda, China y los países de CA
Monto de Importación	US\$16.613 millones ²⁾	US\$10,118.2 millones ²⁾	US\$10,337.6 millones ²⁾	US\$6,125.4 millones ²⁾	US\$16,219.5 millones ²⁾
Principales Mercancías de Importación	Productos alimenticios, manufacturas minerales, manufacturas electrónicas, productos químicos y productos de trabajo textil y de tejido	Materias primas y en proceso tales como el aceite, los fertilizantes, los productos al consumidor y bienes de capital tales como vehículos	Combustibles, maquinaria, productos electrónicos y productos químicos	Productos al consumidor, materias en proceso y productos petrolíferos	Combustibles, circuitos integrados y vehículos
Principales Socios de Importación	EE.UU., México, China, los países de América Central y la UE	EE.UU., los países de América Central, China y Japón	EE.UU., los países de América Central, la UE y Japón	EE.UU., Venezuela, Costa Rica, México y Guatemala	EE.UU., México, China y Japón
Recalada de Barcos	2,723 ³⁾	742 ³⁾	2,165 ³⁾	569 ³⁾	3,322 ³⁾
Volumen de Carca de Importación	9,987 toneladas ³⁾	4,607 toneladas ³⁾	7,427 toneladas ³⁾	2,883 toneladas ³⁾	7,926 toneladas ³⁾
Volumen de Carga de Exportación	5,751 toneladas ³⁾	1,199 toneladas ³⁾	5,630 toneladas ³⁾	768 toneladas ³⁾	6,766 toneladas ³⁾
	¹⁾ Estadísticas Nacionales (2011) ²⁾ Banco Central (2011) ³⁾ COCATRAM (2012)	¹⁾ Banco Mundial (2011) ²⁾ Banco Central (2011) ³⁾ COCATRAM (2012)	¹⁾ Banco Mundial (2011) ²⁾ Banco Central (2011) ³⁾ COCATRAM (2012)	¹⁾ Banco Mundial (2011) ²⁾ Banco Central (2011) ³⁾ COCATRAM (2012)	¹⁾ Banco Mundial (2011) ²⁾ Banco Central (2011) ³⁾ COCATRAM (2012)

Fuente: Ministerio de Asuntos Exteriores de Japón

Tabla 8.24 Condiciones de Ubicación de los Puertos de los Países del CA5 en la Costa del Pacífico

Puerto	Quetzal		Acajutla		La Unión		San Lorenzo		Corinto		Caldera	
Hinterland (distancia aproximada)												
Distancia de la Capital (km)	98		100		200		108		160		80	
Distancia a la Carretera Principal (km)	40		5		10		4		140		15	
Distancia a la Frontera Norte (km)	260		50		300		60		100		250	
Distancia a la Frontera Sur (km)	150		320		45		100		290		400	
Distancia Náutica (milla náutica / hora por 20 nudos)	Nm/	h	Nm/	h	Nm/	h	Nm/	h	Nm/	h	Nm/	h
Manzanillo (México)	874	44	937	47	1,078	54	1,080	54	1,095	55	1,316	66
Quetzal	-		81	4	221	11	224	11	238	12	472	24
Acajutla	81	4	-		166	8	169	8	184	9	420	21
La Unión	221	11	166	8	-		35	2	89	4	344	17
San Lorenzo	224	11	169	8	35	2	-		91	5	346	17
Corinto	238	12	184	9	89	4	91	5	-		276	14
Caldera	472	24	420	21	344	17	346	17	276	14	-	
Balboa (Panamá)	886	44	833	42	757	38	760	38	689	34	471	24

Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

Tabla 8.25 Condiciones Físicas de los Puertos de los Países del CA5 en la Costa del Pacífico (actualizada)

Puerto	Quetzal	Acajutla	La Unión	San Lorenzo	Corinto	Caldera
Condiciones Naturales						
Ubicación	En la costa del Pacífico	En la costa del Pacífico	Bahía de Fonseca	Bahía de Fonseca	Estuario de El Realejo	Bahía de Caldera
Tranquilidad		Oleaje	Tranquilo	Tranquilo	Tranquilo	Tranquilo
Amplitud de marea (m)		2.61 ²⁾	1.68 ²⁾	1.8 ¹⁾	2.27 (Muerta) ³⁾ 3.11 (Viva) ³⁾	0.3 (Muerta) ⁴⁾ 2.5 (Viva) ⁴⁾
Sedimentación	Sedimentación	Sedimentación	Sedimentación	Sedimentación	Sedimentación	Sedimentación
Canal	-	-	-	-	-	-
Ubicación	Aproximación	-	Externo e Interno	Entrada a lo más profundo dentro una bahía	Externo e Interno	Aproximación
Longitud (km)			22 (17 y 5)	32	6.5 (3.4/3.1) ¹⁾	13.0 (MLW) ⁴⁾
Ancho (m)	210 ¹⁾	-	137/140	120 a 200 ¹⁾	150/115 ¹⁾	-
Profundidad (m)	15,0 (HWS) ¹⁾	-	14.0 (-7.3 en la parte de menor profundidad)	9.0 (MLLW) ¹⁾ 10.6 (MHW) ¹⁾	14.6/13.35 (MSL) ¹⁾	-
Muelle para Uso por Buques Portacontenedores						
Tipo	Muelle Marginal	Tipo muelle	Muelle Marginal	Tipo Muelle Separado	Muelle Marginal	Muelle Marginal
Nombre	Atraque comercial ¹⁾	A1, A2, B3, B4, B5, B6, C7 y C8	Atraque de contenedores	Atraques 1 y 2	Atraques 2, 3 y 4	Atraques 1 y 2
Longitud Total	810 ¹⁾	1,243 ²⁾	340 ²⁾	29/6	610 ³⁾	490 ⁴⁾
Profundidad (m)	11.00 (CDL) ¹⁾	12.0-14.0 ²⁾	15.0 ²⁾	10.67 (9.6 a 10.5 en 2008) ¹⁾	10.30 a 11.30 ³⁾	7.5 a 11.00 ⁴⁾
Calado Máximo (m)	11.10 (MLWS) ¹⁾	11.89 (contenedor) ¹⁾		9.45 (MLW) ¹⁾	11.5 ¹⁾	10.0 ¹⁾
LOA Máxima (m)		174 ¹⁾		200 ¹⁾	200 ¹⁾	205 ¹⁾
Grúa de Muelle	5 grúas pórtico (40 t y 20 t)	Grúa móvil ¹⁾	Ninguna	Ninguna	1 Grúa (45 t) ³⁾	1 grúa de muelle
Capacidad de Patio (TEU)	1,974 ¹⁾	3,753 ¹⁾		-	1,500 ¹⁾	700 ¹⁾

Elaborado con fuentes tales como la Guía para Entrada en Puertos (2013-2014)¹⁾, publicaciones de y entrevista con la CEPA²⁾, la Empresa Portuaria Nacional (EPN)³⁾, el Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico (INCOP)⁴⁾ y la Empresa Portuaria Quetzal (EPQ)⁵⁾ así como información de otras organizaciones

Tabla 8.26 Gestión y Operación Portuaria

Puerto	Quetzal	Acajutla	La Unión	San Lorenzo	Corinto	Caldera
Autoridad Portuaria/Órgano de Gestión Portuaria						
	Empresa Portuaria Quetzal(EPQ)	Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma (CEPA)	Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma (CEPA)	Empresa Nacional Portuaria (ENP)	Empresa Portuaria Nacional (EPN)	Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico (INCOP)
Operador del Terminal						
	EPQ.	CEPA Estibado por empresas privadas.	CEPA Estibado por empresas privadas.	ENP.	EPN Estibado por tres empresas privadas.	Puerto Caldera SPC y SPGC
Restricción						
	- 24 horas.		- Los buques pueden navegar el canal dos horas antes o después de la marea alta. - La profundidad mínima del canal es de 7,3 m.	- 24 horas. - Los buques de calado de 9,5 m o más pueden tener que esperar una marea favorable. - Ninguna restricción al llegar a áreas de fondeadero o de estación piloto.	- 24 horas. - Entrada está restringida de acuerdo a la marea y el calado del buque. - Límite de velocidad es de 8 nudos en la Bahía de Corinto y de 3 nudos en la vecindad de atraques y otra nave. - No hay ninguna restricción por la noche.	- Ninguna. - Los buques pueden entrar o salir en cualquier momento.
Otros						
	- Durante un período de congestión, se puede indicar a los buques con un calado no mayor de 4,50 m dirigirse a un atraque de auxilio a fin de asignar los espacios a buques de calado más profundo.			- La ENP está considerando introducir incentivos tarifarios.	- La exoneración de la cuota de entrada al puerto que se otorga a buques portacontenedores se dejó sin efecto en 2012. - El costo de almacenaje de contenedores se elevó para aliviar la congestión. - Una nueva ley que permite concesionar operación portuaria se puede aprobar en el congreso para 2013.	- Durante el período de la obra de dragado, el tiempo de espera en promedio fue de más de 40 horas, sin embargo, ha disminuido entre 10 y 14 horas actualmente. - Tasas de ocupación de atraque en 2012: N° 1 (84%), N° 2 (48%) y N° 3 (24%). - Política prioritaria para buques de pasajeros.

Fuente: Guía para Entrada en Puertos, y entrevista

Tabla 8.27 Características de los Puertos de los Países del CA5 en la Costa del Pacífico según Recalada de Buques y Manejo de Carga

Características del Puerto	Quetzal		Acajutla		La Unión		San Lorenzo		Corinto		Caldera	
Recalada de Barcos	1,247		552				190		402		611	
Convencional	85	6.8%	28	5.1%	5	8,8%	14	7.4%	106	26.4%	33	5.4%
Frigoríficos	174	14.0%									25	4.1%
Contenedor	517	41.5%	268	48.6%	48	84,2%			150	37.3%	284	46.5%
Ro-Ro	84	6.7%	55	10.0%			57	30.0%	70	17.4%	74	12.1%
Granel Líquido	94	7.5%	80	14.5%			17	8.9%			12	2.0%
Granel Sólido	204	16.4%	114	20.7%	4	7,0%	60	31.6%			112	18.3%
Petróleo							42	22.1%	61	15.2%		
Crucero	42	3.4%							15	3.7%	51	8.3%
Otros	47	3.8%	7	1.3%							20	3.3%
Importación (1,000 toneladas)	5,797		2,829		52		880		2,014		3,241	
Carga General	399	6.9%	140	5.0%			59	6.7%	36	1.8%	225	6.9%
Carga de Contenedores	1,024	17.7%	789	27.9%	15	28.9%			439	21.8%	911	28.1%
Carga Ro-Ro	44	0.7%	16	0.6%					26	1.29%	57	1.8%
Granel Líquido	1,074	18.5%	513	18.1%			790	89.8%	871	43.3%	141	4.4%
Granel Sólido	3,207	55.3%	1,371	48.5%	37	71.2%	31	3.5%	642	31.9%	1,907	58.8%
Otros	49	0.9%										
Exportación (1,000 toneladas)	2,698		1,129		66		1,508		689		700	
Carga General	66	2.4%	10	0.9%			6	0.4%	48	6.9%	90	12.9%
Carga de Contenedores	1,020	37.8%	490	43.4%	66	100%			339	49.2%	609	86.9%
Carga Ro-Ro	2	0.1%	0	0.0%	-				0	0.0%	0	0.1%
Granel Líquido	113	4.2%	285	25.3%	-		53	3.5%	80	11.6%	1	0.1%
Granel Sólido	1,060	39.3%	344	30.4%	-		1,449	96.1%	223	32.3%		
Otros	437	16.2%			-							

Fuente: COCATRAM y Estadísticas del Puerto de La Unión

Tabla 8.28 Características del Manejo de los Contenedores en los Puertos de los Países del CA5 en la Costa del Pacífico (2012)

Actividades de Contenedores (Rendimiento /1000TEU)	Quetzal		Acajutla		La Unión		San Lorenzo		Corinto		Caldera	
Descarga/Cargado	117,052	36.1%	78,247	48.6%	10.317-	56,1 %	-	-	42,070	47.0%	89,360	48.5%
Descarga/Vacío	55,124	17.0%	6,247	3.9%	-	-	-	-	4,477	5.0%	7,850	4.3%
Carga/Cargado	101,755	31.4%	35,307	21.9%	8.081-	43,9 %	-	-	22,578	25.2%	50,562	27.4%
Carga/Vacío	50,576	15.6%	41,180	25.6%	-	-	-	-	20,413	22.8%	36,543	19.8%
Local/Descarga/Cargado	103,846	34.0%	76,164	48.3%	-	-	-	-	40,250	46.3%	89,360	48.5%
Local/Descarga/Vacío	54,423	17.8%	5,026	3.2%	-	-	-	-	4,475	5.1%	7,850	4.3%
Local/Carga/Cargado	96,744	31.7%	35,307	22.4%	-	-	-	-	21,799	25.1%	50,562	27.4%
Local/Carga/Vacío	50,576	16.6%	41,180	26.1%	-	-	-	-	20,413	23.5%	36,543	19.8%
Tránsito/Descarga/Cargado	3,793	43.1%			-	-	-	-	748	99.9%		
Tránsito/Descarga/Vacío					-	-	-	-				
Tránsito/Carga/Cargado	5,011	56.9%			-	-	-	-	1	0.1%		
Tránsito/Carga/Vacío					-	-	-	-				
Transbordo/Descarga/Cargado	9,413	93.1%	2,083	63.0%	-	-	-	-	1,072	57.9%		
Transbordo/Descarga/Vacío	701	6.9%	1,221	37.0%	-	-	-	-	2	0.00%		
Transbordo/Carga/Cargado					-	-	-	-	778	42.1%		
Transbordo/Carga/Vacío					-	-	-	-				

Fuente: COCATRAM y Estadísticas del Puerto de La Unión

8.3 Actividades de Contenedores de la Región de América Central

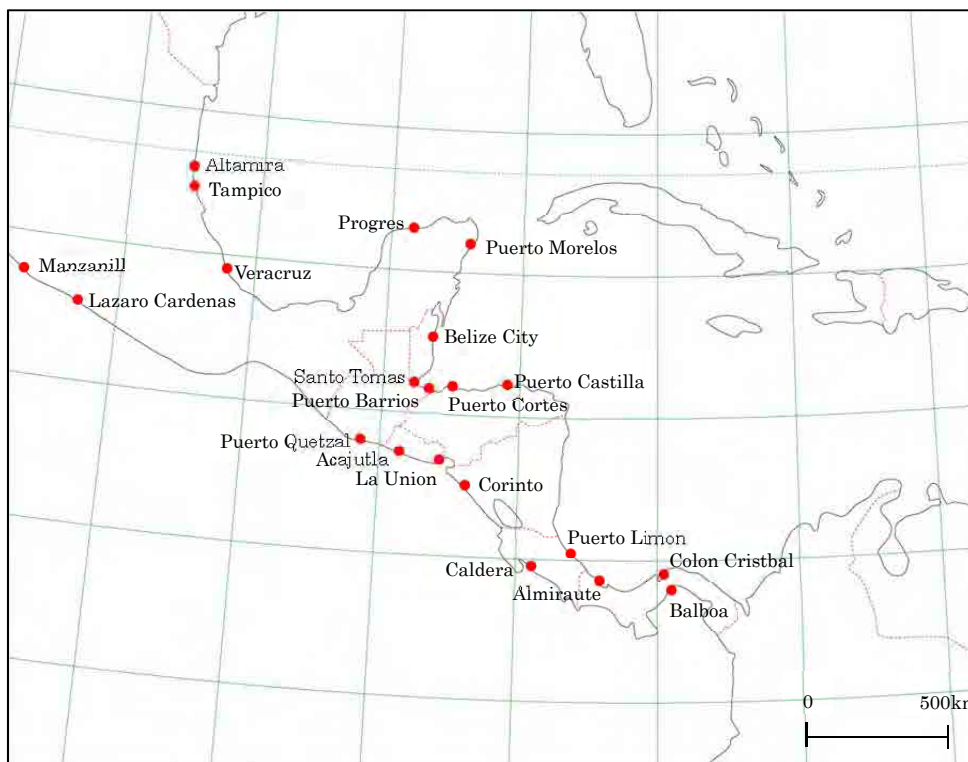
8.3.1 Tráfico de contenedores de los puertos de América Central

(1) Nuevas características del tráfico de contenedores de los puertos 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 tráfico de contenedores de los puertos en la Figura 8.25 desde 2001 se presenta en la Tabla 8.29. 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 que esta tabla indica 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.

El fortalecimiento de las funciones como ejes centrales de los puertos en México y Panamá así como el aumento de las actividades de contenedores a lo largo de la costa del Pacífico son características notables de los puertos de la región de América Central en los últimos años.



Nota: Los puertos de Ensenada y Mazatlán están situados en la costa Norte de Manzanillo

Figura 8.25 Puertos de contenedores en la región de América Central

Tabla 8.29 Tráfico de contenedores de los puertos en la región de América Central

Nombre del Puerto	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ensenada (M/P)		57,503	49,210	39,795	75,105	127,360	127,271	110,423	116,041	143,660
Mazatlán (M/P)	18,315	12,900	16,394	16,128	18,170	30,946	29,349	27,938	27,938	21,730
Manzanillo (M/P)	457,946	638,597	707,404	830,777	873,976	1,252,215	1,409,614	1,409,782	1,110,356	1,509,378
Lázaro Cárdenas (M/P)		174	1,646	43,445	132,479	160,696	270,238	524,791	591,467	796,011
Altamira (M/A)	206,864	225,937	256,417	297,017	322,458	342,656	407,657	431,208	386,161	473,152
Tampico (M/A)	29,531	18,848	14,347	9,966	9,001	10,243	11,040	11,152	5,936	2,229
Veracruz (M/A)	543,327	548,422	571,765	591,736	631,858	671,281	729,717	716,046	564,314	662,537
Progreso (M/A)	65,353	59,140	60,369	68,165	71,851	75,939	75,584	66,477	53,517	56,434
Puerto Morelas (M/A)	7,250	6,958	7,515	7,508	8,245	8,917	7,942	7,586		
Belize City (B/A)	27,074	30,312	33,789	35,565	36,388	37,527	39,191	38,211	31,344	31,919
Puerto Quetzal (G/P)	126,006	130,645	166,112	183,353	223,902	230,426	257,289	280,281	212,857	254,525
Santo Tomás de Castilla (G/A)	201,090	229,516	312,154	411,153	323,045	333,816	376,660	381,199	375,823	431,001
Puerto Barrios (G/A)	188,044	220,000	242,112	232,242	229,448	236,003	218,888	248,797	317,646	326,834
Acajutla (E/P)	17,674	43,135	65,576	92,857	103,483	123,329	144,458	156,323	126,369	145,774
Puerto Cortes (H/A)	338,900	352,984	399,839	466,697	468,563	507,946	553,139	572,382	484,148	538,853
Puerto Castilla (H/A)	64,424	58,346	69,451	88,792	84,450	85,714	83,296	97,420	87,572	81,014
Corinto (N/P)	12,000	8,875	10,936	15,675	18,002	46,088	58,614	58,879	55,742	64,816
Caldera /P©		38,211	57,275	66,744	51,857	68,649	133,718	169,827	127,658	155,307
Puerto Limon ©/A	563,825	564,357	622,404	647,616	672,020	765,672	842,903	835,144	748,029	858,176
Balboa (P/P)	358,868	377,774	457,134	465,091	663,762	988,583	1,833,778	2,167,700	2,011,778	2,758,506
Almirante (P/A)	17,827	15,344	13,948	16,781	13,226	10,897	12,947	9,477	19,468	23,018
Colón-Cristóbal (P/A)	948,635	943,159	1,512,365	1,943,712	2,386,844	2,025,702	2,219,982	2,945,302	2,563,106	2,288,734
Total	4,218,969	4,581,137	5,648,162	6,570,815	7,418,133	8,140,605	9,843,275	11,266,345	10,017,270	11,623,608
México	1,354,602	1,568,479	1,685,067	1,904,537	2,143,143	2,680,253	3,068,412	3,305,403	2,855,730	3,665,131
Belize	27,074	30,312	33,789	35,565	36,388	37,527	39,191	38,211	31,344	31,919
Guatemala	515,140	580,161	720,378	826,748	776,395	800,245	852,837	910,277	906,326	1,012,360
El Salvador	17,674	43,135	65,576	92,857	103,483	123,329	144,458	156,323	126,369	145,774
Honduras	403,324	411,330	469,290	555,489	553,013	593,660	636,435	669,802	571,720	619,867
Nicaragua	12,000	8,875	10,936	15,675	18,002	46,088	58,614	58,879	55,742	64,816
Costa Rica	563,825	602,568	679,679	714,360	723,877	834,321	976,621	1,004,971	875,687	1,013,483
Panamá	1,325,330	1,336,277	1,983,447	2,425,584	3,063,832	3,025,182	4,066,707	5,122,479	4,594,352	5,070,258
Océano Pacífico	1,016,825	1,307,814	1,531,687	1,753,865	2,160,736	3,028,292	4,264,329	4,905,944	4,380,206	5,849,707
	24%	29%	27%	27%	29%	37%	43%	44%	44%	50%
Caribbean Sea	3,202,144	3,273,323	4,116,475	4,816,950	5,257,397	5,112,313	5,578,946	6,360,401	5,637,064	5,773,901
	76%	71%	73%	73%	71%	63%	57%	56%	56%	50%

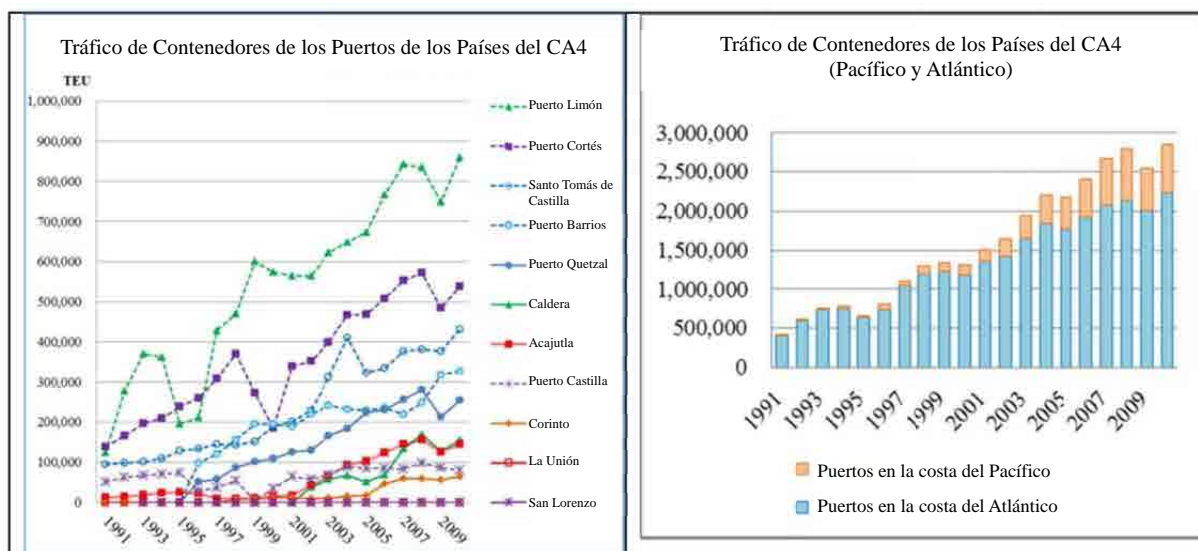
Fuente: Container International Online y Container International Year Book

(2) El tráfico de contenedores de los puertos en los países del CA5

Los once puertos que manejan contenedores se ubican en los países del CA5 (Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica), y el tráfico de contenedores de estos países entre 2001 y 2010 también se muestra en la Tabla 8.29. El manejo de contenedores en estos puertos ha venido aumentando en últimos años. El tráfico total de contenedores de estos puertos en 2010 alcanza 2.856.300 TEU que es aproximadamente dos veces más que el tráfico realizado en 2001. En 2010, el Puerto Limón con un tráfico de 858.176 TEUs ocupa el primer lugar entre los puertos de contenedores en los países del CA5. El Puerto Cortés, el Santo Tomás de Castilla y el Puerto Barrios que se ubican en la costa del Mar Caribe lo siguen, aunque el Puerto Quetzal que es el primer puerto de contenedores en la costa del Pacífico es el quinto puerto más grande de contenedores entre los países del CA5. Aproximadamente tres cuartas partes del tráfico de contenedores de los puertos en los países del CA5 se manejan en los puertos de la costa del Mar Caribe y alrededor de una cuarta parte se maneja en los puertos en la costa del Pacífico. La porción que ocupan los puertos en la costa del Pacífico está aumentando como se muestra en la Figura 8.26.

El Puerto Quetzal en Guatemala es el puerto más grande de contenedores entre los puertos en la costa del Pacífico. El Puerto Caldera en Costa Rica, el Puerto de Acajutla en El Salvador y el Puerto Corinto en Nicaragua lo siguen. El Puerto San Lorenzo en Honduras manejó

contenedores en 2011, sin embargo, no manejó ningún contenedor en 2012. El Puerto de La Unión en El Salvador inició su servicio regular de contenedores en 2011, sin embargo, el servicio está suspendido por ahora en 2013.

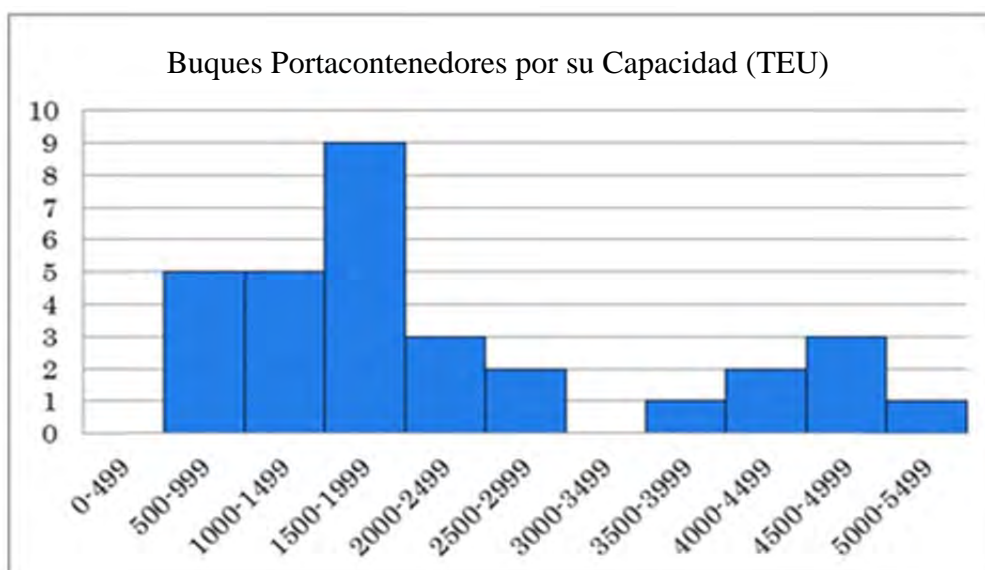


Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

Figura 8.26 Puertos de Contenedores de los Países del CA5 en la Costa del Pacífico

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. La distribución de la capacidad de buques se muestra en la Figura 8.27.

En la publicación *Estándares Técnicos para Puertos e Instalaciones Portuarias* (2007, el Ministerio de Territorio, Infraestructura, Transporte y Turismo de Japón) se presentan como valores estándar las dimensiones principales de buques portacontenedores elaboradas en base a un análisis estadístico de las dimensiones de los buques existentes con un índice de cobertura de 75%. La categoría de capacidades en la Tabla 8.30 no es coherente con la categoría de la Figura 8.27, sin embargo, 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 recalar en los puertos cuando estos buques entran al puerto en condiciones de media carga.



Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

Figura 8.27 Distribución de la Capacidad de Buques Usados

Tabla 8.30 Valor estándar de las Dimensiones de Buques Portacontenedores

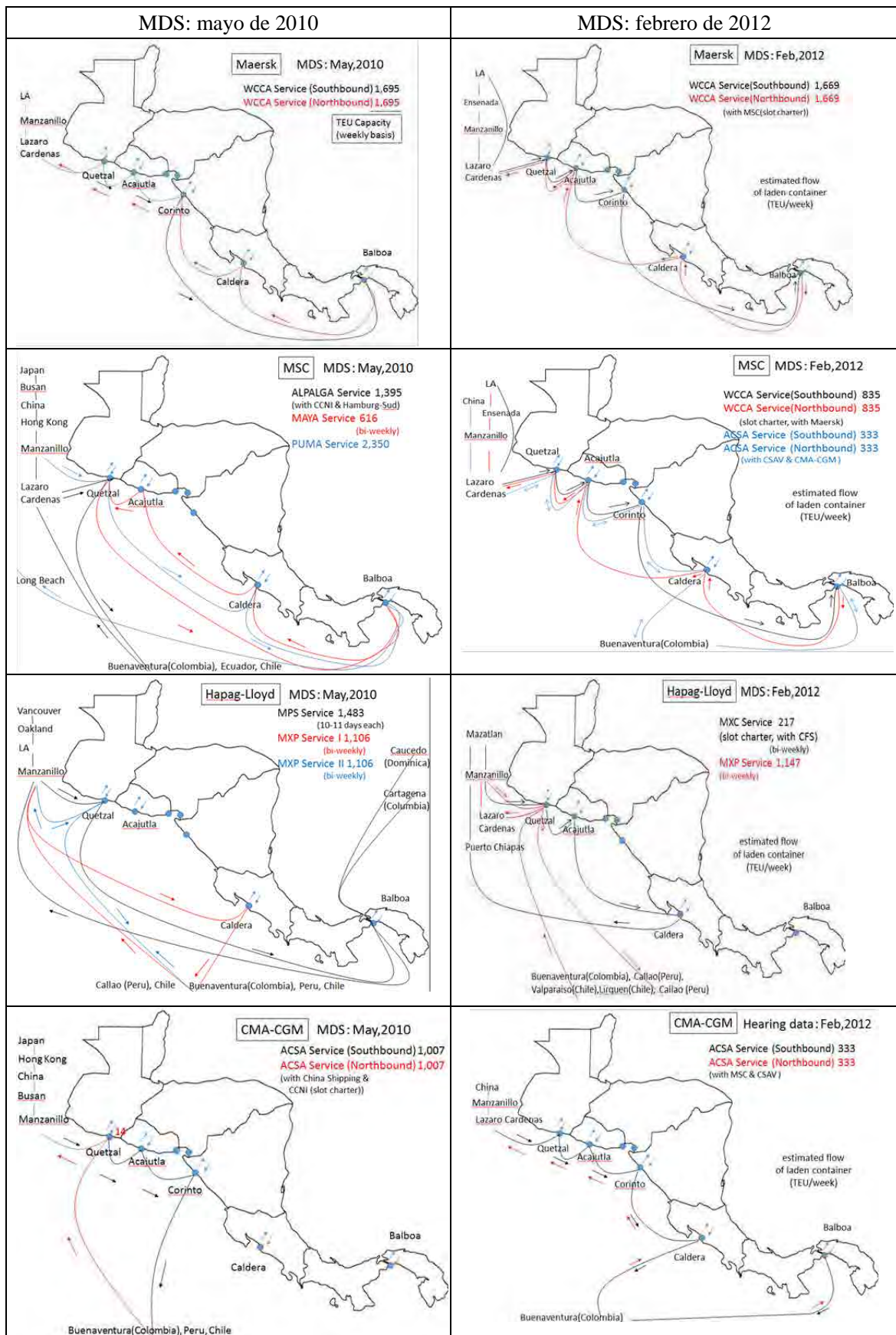
Tonelaje de Peso Muerto DWT (t)	Eslora total Loa (m)	Eslora entre perpendiculares Lpp (m)	Manga de trazado B (m)	Calado a carga completa d (m)	Referencia: Capacidad de Transporte en Contenedores (TEU)
10,000	139	129	22.0	7.9	500–890
20,000	177	165	27.1	9.9	1,300–1,600
30,000	203	191	30.6	11.2	2,000–2,400
40,000	241	226	32.3	12.1	2,800–3,200
50,000	274	258	32.3	12.7	3,500–3,900
60,000	294	279	35.9	13.4	4,300–4,700
100,000	350	335	42.8	14.7	7,300–7,700

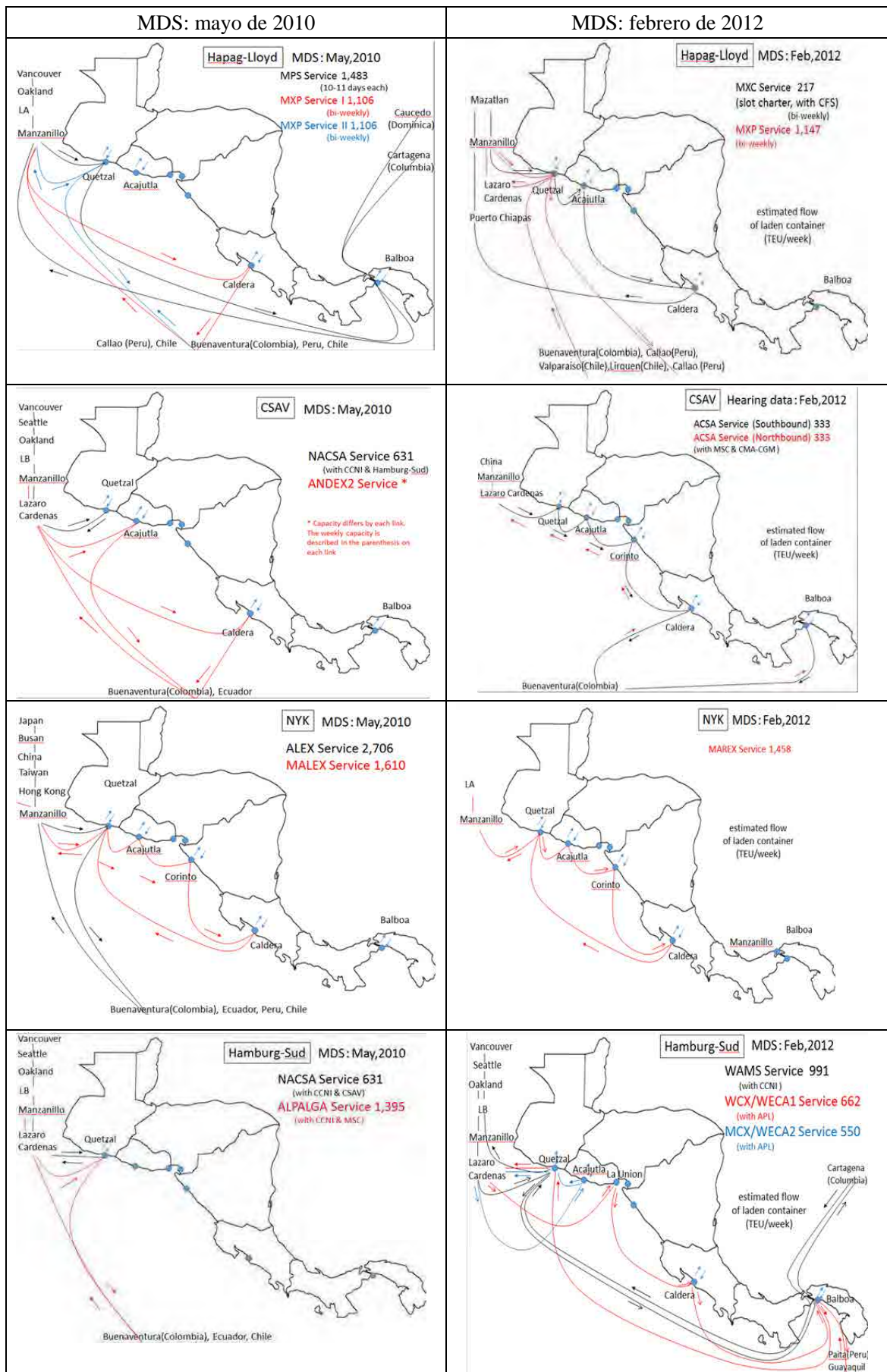
Estándares Técnicos para Puertos e Instalaciones Portuarias (Ministerio de Territorio, Infraestructura, Transporte y Turismo de Japón, 2007)

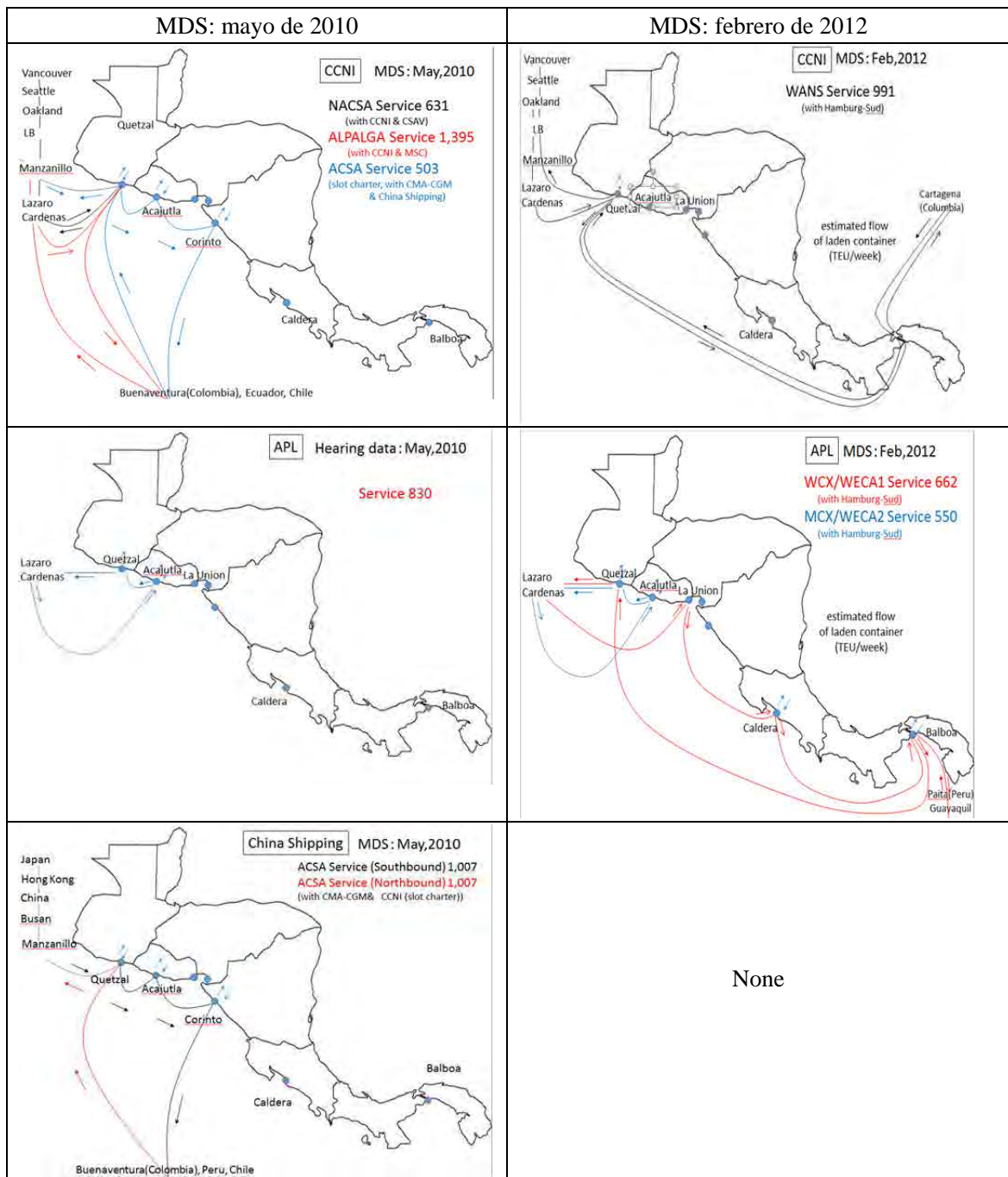
8.3.2 Movimiento de los buques portacontenedores en la región de América Central

Los datos de movimiento de los buques portacontenedores provienen de los datos de MDS, que abarcan diversas informaciones sobre el movimiento de los buques portacontenedores para cada buque, tales como el nombre del servicio, los puertos de recalada y su orden, los nombres de los transportadores que operan el buque, y las empresas socias y las empresas fletantes de espacio si existen, así como la frecuencia del servicio, la capacidad de TEU del buque y la velocidad del buque.

Según los datos de MDS en mayo de 2010 y febrero de 2012, las rutas de servicio de cada compañía naviera se presentan en la Figura 8.28. Esta figura indica que todas las compañías navieras cambiaron sus rutas de servicio entre mayo de 2010 y febrero de 2012, excepto Maersk. Algunas compañías no sólo cambiaron sus rutas sino también sus socios. Resulta que la ruta de servicio es muy variable en la región de la costa Oeste de América Central.







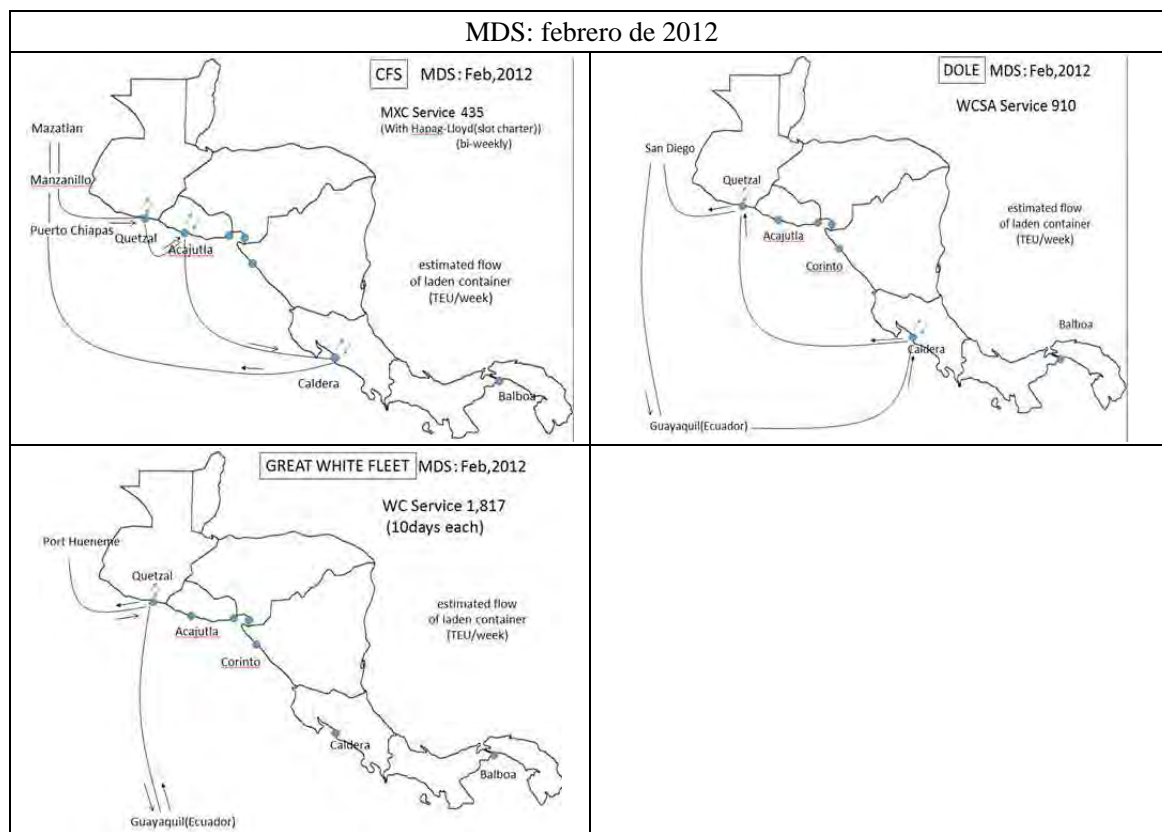


Figura 8.28 Movimiento de buques portacontenedores de cada compañía naviera

La Tabla 8.31 presenta los cambios en el número de los servicios de contenedores que recalán 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.

Tabla 8.31 Cambios en el número de los servicios de contenedores que recalán en los puertos

MDS, mayo de 2010

Puerto de Recalada (CA – lado del Pacífico)	Servicio	Compañía naviera	TEU promedio de buques porta- contenedores	Frecuencia del servicio
Acajutla Puerto Quetzal	–	APL	830	52
Acajutla Caldera	ANDEX 2	CSAV	1,695	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto	ACSA	CMA-CGM CSCL CCNI (Fletamento de espacio)	2,516	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Caldera	MAREX	NYK	1,610	52
Acajutla Puerto Quetzal Caldera Balboa	MAYA	MSC	1,232	26
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Caldera Balboa	WCCA	MAERSK LINE	1,695	52
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 Caldera Balboa	PUMA	MSC	2,350	52
Puerto Quetzal Caldera	MXP	HAPAG-LLOYD	2,211	26
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

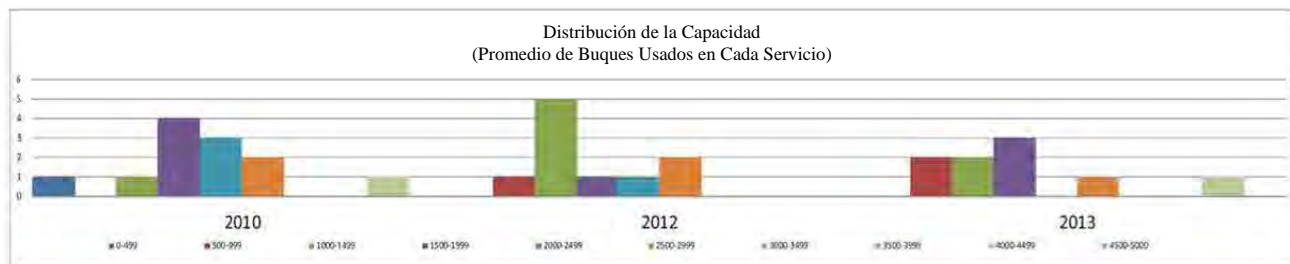
MDS, febrero de 2012

Puerto de Recalada (CA – lado del Pacífico)	Servicio	Compañía naviera	TEU promedio de buques porta- contenedores	Frecuencia del servicio
Acajutla Puerto Quetzal	MCX/WECA 2	APL HAMBURG-SUD	1,100	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Caldera Balboa	ACSA	CMA CGM MSC CSAV WCCA MAERSK LINE MSC (Fletamento de espacio)	1,000 2,504	52 52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Caldera	MAREX	NYK	1,458	52
Acajutla Puerto Quetzal Caldera	MXC	CFS HAPAG-LLOYD (Fletamento de espacio)	1,304	26
La Unión Puerto Quetzal Caldera Balboa	WCX/WECA	APL HAMBURG-SUD	1,324	52
Puerto Quetzal	WC	GREAT WHITE FLEET	2,625	36
	WAMS	HAMBURG-SUD CCNI	1,982	52
	MXP	HAPAG-LLOYD	2,294	26
Puerto Quetzal Caldera	WCXA	DOLE	910	52
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 Puerto Quetzal Balboa	WCX	APL	1,310	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Caldera	TIKAL/WCCA	CMA-CGM CSAV	1,553	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto	MAREX/CCE	NYK HAPAG-LLOYD	2,517	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Balboa	WCCA	MAERSK LINE MSC (Fletamento de espacio) Evergreen (Fletamento de espacio)	1,922	52
Acajutla Puerto Quetzal San Lorenzo Corinto Caldera	WCA	Evergreen X-Press Feeders Hamburg-Sud (Fletamento de espacio)	905	52
Puerto Quetzal	WSA2	COSCO Evergreen PIL WAN HAI	4,420	46
Puerto Quetzal Caldera	WCSA	DOLE	910	52
Puerto Quetzal Balboa	WAMS	Hamburg-Sud CCNI Great White Fleet (Fletamento de espacio)	1,820	52
Caldera Balboa	PAN/CHL	MAERSK LINE	1,122	52
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

Distribución de la Capacidad
(Promedio de Buques Usados en Cada Servicio)



Varios tipos de buques portacontenedores con capacidad de 204 TEU a 4.420 TEU se usaron en cada servicio. Los buques portacontenedores que recalaron 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 recalaron en el Puerto Quetzal. Estos buques portacontenedores manejan carga Asiática que se transborda en el Puerto Quetzal.

8.3.3 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 otros 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 Quetzal

Guatemala tiene problemas de seguridad incluyendo la influencia de la Mafia. Sin embargo, compañías navieras pueden dar preferencia al Puerto Quetzal en lugar del Puerto de La Unión si el costo de transporte terrestre al Puerto Quetzal fuera más económico que el costo al Puerto de La Unión.

b) 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.

c) 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. Los ahorros de tiempo aumentan las ganancias.

d) Puerto San Lorenzo

El Puerto San Lorenzo no tiene ninguna instalación terrestre, y la profundidad del canal y de su muelle es de solo 9,5 m.

e) Puerto Corinto

El Puerto Corinto no cuenta con enchufes reefer, y toma mucho tiempo para cargar o descargar contenedores porque la grúa está fuera de servicio actualmente.

f) Puerto Caldera

El Puerto Caldera tiene tres atraques de 490 m de longitud y 7,5 m a 11 m de profundidad. Las instalaciones son pobres a pesar de su estatus como puerta de entrada al Océano Pacífico. En el Puerto Caldera, los buques a menudo esperan para atracar. Por ejemplo, los buques a menudo esperan de 2 a 3 días y un buque esperó hasta por 10 días. La primera prioridad para atracar se otorga a los cruceros siguiendo luego los buques portacontenedores, por lo que una compañía naviera decidió pasar por el Puerto Caldera y otra compañía naviera usa buques pequeños.

Un granelero que estuvo descargando en el atraque N° 1 (10,7 m) fue movido al atraque N° 2 (8,5 m) para permitir a un buque portacontenedor en espera atracar en el atraque N° 1, porque dicho granelero tenía un calado suficientemente pequeño como para atracar en el atraque N° 2. El costo del cambio de atraque corre a cargo del buque portacontenedor.

El Puerto Caldera, también, tiene una escasez de ventanas de atraque.

(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, luego de revisar entrevistas adicionales, análisis de datos estadísticos y debates con la CEPA. 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 8.29. 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

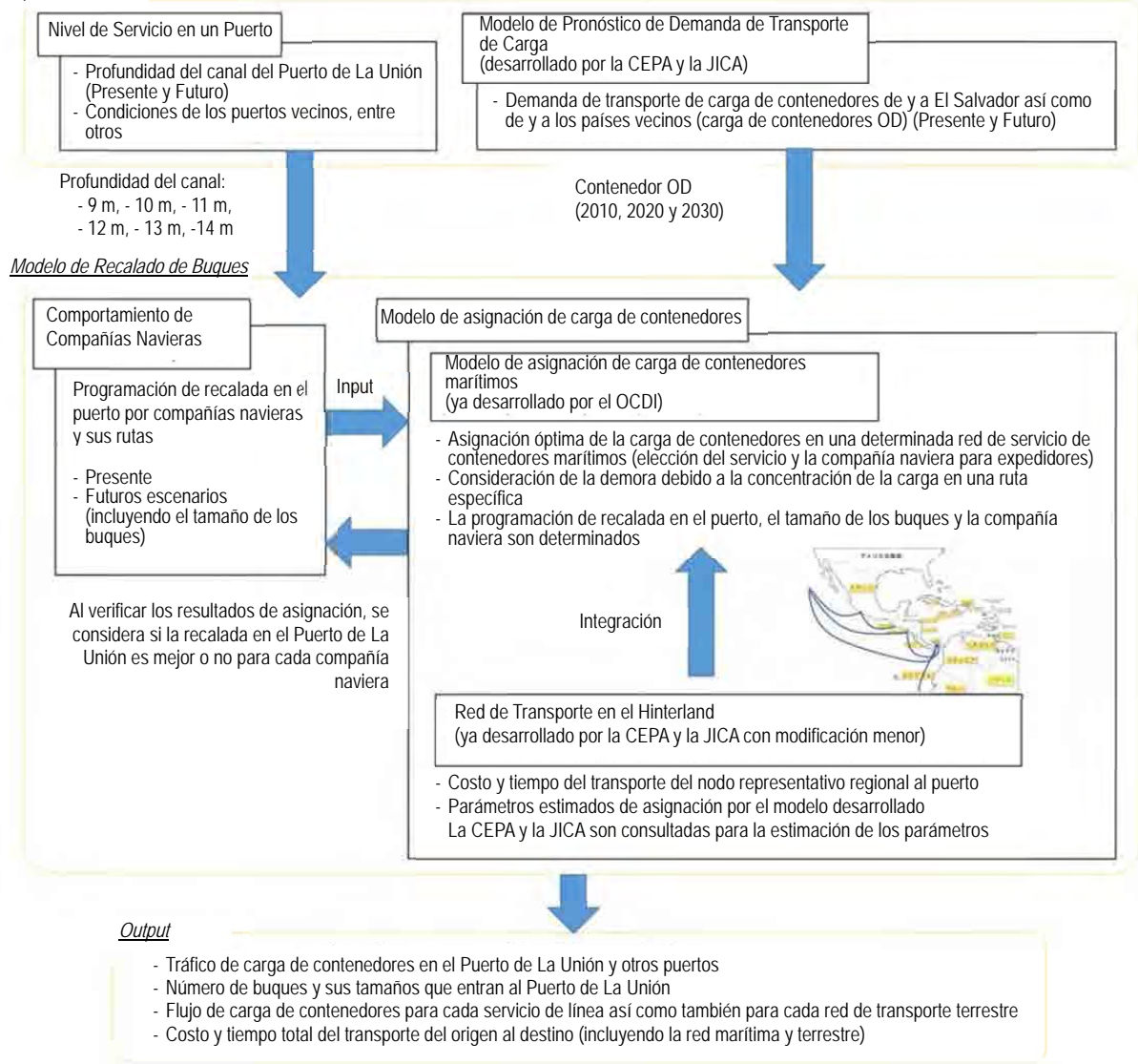


Figura 8.29 Estructura completa del modelo de recalado de buques

(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, como está descrito en 8.3.1. Un ejemplo de los datos se muestra en la Tabla 8.32. 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 recalán en los mismos puertos. De esta forma, se estructura la red de transporte marítimo.

Todos los servicios están separados por compañías navieras para el input del modelo de asignación de carga de contenedores. En cuanto al servicio exclusivo que es suministrado por una empresa, toda la capacidad de los buques será asignada a la empresa en cuestión. Con respecto al servicio que es operado por empresas múltiples (pueden ser determinadas de la información sobre “socios” en la base de datos de MDS), la capacidad de los buques se divide de acuerdo al número de colaboradores y de las empresas fletantes de espacio. Se asume que no existe ninguna reconciliación ex post de espacio en proporción a la demanda real entre compañías navieras (es decir, la capacidad de los buques se divide estrictamente entre cada empresa).

En concreto, la capacidad de los buques se divide en partes iguales por el número de socios incluyendo la empresa operadora. En cuanto al servicio con la empresa fletante o las empresas fletantes de espacio, se supone que la capacidad de los buques es la mitad de la capacidad del operador. Por ejemplo, para un servicio con un operador, tres socios y dos empresas fletantes de espacio, las capacidades asignadas consisten en el 20% de la capacidad para el operador y cada socio y 10% de la capacidad para cada empresa fletante de espacio.

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.

La metodología para la futura configuración de una red de transporte se describe en el siguiente capítulo.

Tabla 8.32 Ejemplo de la base de datos sobre buques portacontenedores de MDS

(fuente: banco de datos sobre buques portacontenedores de MDS)

IMO	NAME	FNAME	ROUTE	ROUTE	AROUTE	SERVICE	VESSEL	PARTN	ALLIANG	SLOT	OPERATOR	CORP
7607247	KARUNIA JAYA I	INDUNA	74	41	SING/INDO	OK SHPP	4	-	-	-	OK SHPP	CAYAHA SAMUDER
7802756	BREANT	-	41	21	GER/FIN	STELLA LINES - GE	1	-	-	-	STELLA LINES	STELLA LINES
7120720	ANJA FUNK	LEVER	41	21	EUR/LAT/RUS	AHLERS	1	-	-	-	AHLERS	AHLERS
7116834	RIO MAGDALENA	ARGOSY	29	16	USEC/C AM	HYSEA SHPP	1	-	-	-	HYSEA SHPP	HYSEA SHPP
7027722	HALCON DEL MAR	LORELEI	34	61	VEN COASTAL	CABOVEN - 1	1	-	-	-	CABOVEN	KING OCEAN

SERV	OWNER	BENOWN	BOWNER	FLA	TE	TYF	DW	SPEE	YEA	UPDATE	PORT
208	KARUNIA TIRTA BUANA	OK SHPP	SING	INDO	115	FC	2555	12	1977	2007/9/4	SNG/JAK/SUR/SEM/SNG
52	LILLGAARD	LILLGAARD	FIN	UK	262	RR	3328	13.5	1979	2007/12/5	BMN/HMB/KTK/BMN
28	ARABELLA ENT	-	PAN	172	SC	3570	15	1971	2001/5/22	ROT/ANT/RIG/SPB	
12	MALGRAT DE MAR COR	HYSEA INVEST	US	PAN	181	BB	2500	14.5	1972	2009/1/29	PMT/PCT/STM/PMT
52	AQUILLA SHPP	KING OCEAN	US	VEN	124	FC	2210	15.5	1970	2006/7/6	PCB/MCB/PCB/LGR/GUT/ELG/PCB

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 como se muestra en la Tabla 8.33. 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.

Tabla 8.33 28 compañías de transporte de contenedores en el modelo

(fuente: Equipo de Estudio de la JICA)

Nº	Grupo	Nombre del grupo	Alianza	Transportadores incluidos	Capacidad anual de los buques (1.000 TEU, 2010)*	Porción en el mundo
1	Grupo A	Maersk	-	Maersk Line, Norfolkline Ferries, Safmarine Container Lines, MCC Transport, Mercosul Line	16,199	10.7%
2	Grupo B	MSC	-	Mediterranean Shipping Co. (MSC)	13,353	8.8%
3	Grupo C	CMA-CGM	-	CMA-CGM, ANL Container Line, China Navigatiron Co. (CNC Line), Campagrie Marocaine de Navigation (Comanav), Delmas, MacAndrews, Gemartrans, OT Africa Line, US Lines	9,441	6.3%
4	Grupo D	Evergreen	-	Evergreen Marine, Italia Marittima (LT), Jatsu Marine	5,408	3.6%
5	Grupo E	Hapag-Lloyd	Grand Alliance	Hapag-Lloyd, CP Ships	3,538	2.3%
6	Grupo F	APL	New World	APL	4,016	2.7%
7	Grupo G	CSAV	-	CSAV (Compañía Sud Americana de	2,548	1.7%

Nº	Grupo	Nombre del grupo	Alianza	Transportadores incluidos	Capacidad anual de los buques (1.000 TEU, 2010)*	Porción en el mundo
				Vapores), CSAV Norasis Liner Services		
8	Grupo H	Cosco	CKYH	Cosco Container Lines, Shanghai Panasia	5,387	3.6%
9	Grupo I	Hanjin	CKYH	Hanjin Shipping, Senator Lines	3,062	2.0%
10	Grupo J	CSCL	-	China Shipping Container Lines (CSCL), Shanghai Puhai	3,094	2.0%
11	Grupo K	MOL	New World	Mitsui-OSK Lines, Meimon Taiyo Ferry, Shosen Mitsui Ferry	3,395	2.2%
12	Grupo L	NYK	Grand Alliance	Nippon Yusen Kaisha (NYK), Tokyo Senpaku Kaisha (TSK), NYK-Hinode Line, NYKLauritzenCool, Kinkai Yusen	2,806	1.9%
13	Grupo M	OOCL	Grand Alliance	Orient Overseas Container Line (OOCL)	3,376	2.2%
14	Grupo N	Hamburg-Sud	-	Hamburg-Sud, Alianza Transportes Maritimos, Crowley Liner Services, Ybarra y Cia Sudamérica	3,199	2.1%
15	Grupo O	K-Line	CKYH	Kawasaki Kisen Kaisha, Kawasaki Kinkai Kisen Kaisha	3,172	2.1%
16	Grupo P	Yang Ming	CKYH	Yang Ming Marine Transport Corp, Kuang Ming Shipping	2,962	2.0%
17	Grupo Q	ZIM	-	Zim Integrated Shipping Services, Gold Star Line, Laurel Navigation	2,019	1.3%
18	Grupo R	HMM	New World	Hyundai Merchant Marine	2,442	1.6%
19	Grupo S	PIL	-	Pacific International Lines (PIL), Advance Container Line, Pacific Direct Line Ltd.	2,185	1.4%
20	Grupo T	UASC	-	United Arab Shipping Co. (UASC)	1,021	0.7%
21	Grupo U	CCNI		Compañía Chilena de Navegación Interoceánica (Chile)	508	0.34%
22	Grupo V	CFS		Caribbean Feeder Service (EE.UU.)	150	0.10%
23	Grupo W	DOLE		Dole Fresh Fruit Co. (EE.UU.)	257	0.17%
24	Grupo X	Great White Fleet		Great White Fleet (Bélgica)	126	0.08%
25	Grupo Y	Network SHPP		Network Shipping (EE.UU.), Horn Line (Alemania)	58	0.04%
26	Grupo Z	NORDANA		Nordana Line (Dinamarca), Gulf Africa Line (Galborg PTE Ltd., Singapur)	97	0.06%
27	Grupo AA	Seaboard		Seaboard Marine (EE.UU.), Seaboard International Shipping (Canadá)	703	0.47%
28	Grupo AB	Streamline		Streamline Shipping (R.U.)	46	0.03%
Otros					56,464	37.4%
Total					151,033	100.0%

*Estimación a partir de los datos de MDS por el equipo de la JICA

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, varios puertos se añaden o eliminan. Los detalles se describen en el Anexo D2.

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 8.30 y la Tabla 8.34.

Además, la mayoría de los destinos finales (counter-port) de los servicios de línea en el Golfo de México son puertos de los EE.UU. en el Golfo, por lo que el Puerto de Houston se amplía para incluir a los puertos de Galveston y Freeport (Texas, EE.UU.), y el Puerto de Nueva Orleans (Luisiana, EE.UU.) así como el Puerto de Gulfport (Misisipi, EE.UU.) se añaden como solo un puerto. Como resultado, el número de puertos que están incluidos en el modelo revisado es de 164 como se muestra en la Figura 8.31. La lista de todos los puertos se presenta en la Tabla D2.2 en el Anexo D2.



Figura 8.30 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)

Tabla 8.34 Puertos en América Central incluidos en el modelo y su tráfico
(fuente: elaborado por los autores a partir de la base de datos CI-online y Drewy Maritime Research, 2011)

Nº	Nombre del puerto	País	País/región en la GTN	Tráfico anual (1.000 TEU, 2010)	Contenedor de transbordo (1.000 TEU, 2010)	Tasa de transbordo
581	Puerto Quetzal	Guatemala	América Central	265***	32***	11.9%***
582	Acajutla	El Salvador	América Central	147***	0	0.0%
583	La Unión	El Salvador	América Central	0	0	-
584	San Lorenzo	Honduras	América Central	0	0	-
585	Corinto	Nicaragua	América Central	65***	1.2	1.9%***
586	Caldera	Costa Rica	América Central	155***	0	0.0%
59	Balboa	Panamá	América Central	2,759	2,621	95.0%
60	Manzanillo (Panamá)/ Cristóbal/ Colón	Panamá	América Central	2,289	1,562	68.2%
61	Puerto Limón	Costa Rica	América Central	858	261*	30.5%*
62	Puerto Cortés	Honduras	América Central	539	164*	30.5%*
621	St. Tomás de Castilla/ Puerto Barrios	Guatemala	América Central	732***	109***	15.0%***

* estimado en base a la tasa de transbordo promedio por región mostrada en Drewy Maritime Research (2011)

*** COCATRAM,

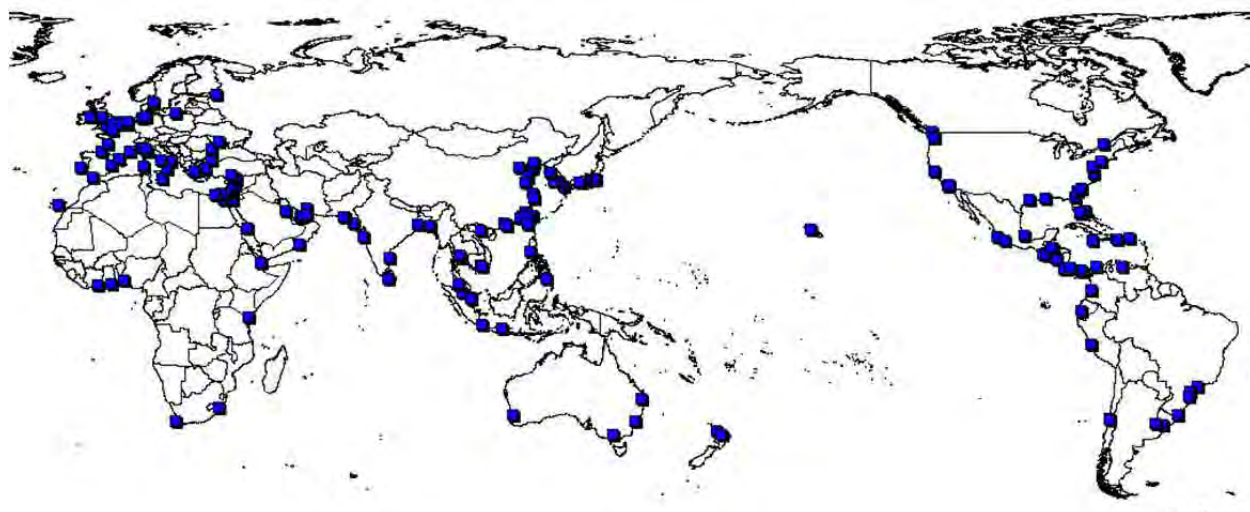


Figura 8.31 Todos los puertos tratados en el modelo

(fuente: Equipo de Estudio de la JICA)

Tabla 8.35 presenta las proporciones (índices de cobertura) en términos de la capacidad de TEU de los buques portacontenedores que recalaban en los puertos que están incluidos en la red de transporte del modelo. Como se muestra en la tabla, para los puertos de los países del CA4 en la costa del Pacífico así como también el Puerto Caldera en Costa Rica, los índices de cobertura de la red del modelo son del 100%. Asimismo, se observa que los índices de cobertura para los puertos de los países del CA4 (es decir, Puerto Cortés, Puerto Castilla, San Tomás de Castilla y

Puerto Barrios) en la costa del Atlántico y el Puerto Limón en Costa Rica aumenta dramáticamente y se aproxima al 100% cuando las ocho compañías navieras adicionales se consideran.

Tabla 8.35 Proporciones (índices de cobertura) en términos de la capacidad de TEU de los buques portacontenedores que recalaron en los puertos que están incluidos en la red de transporte del modelo

Puerto	País	Porción de las 20 Compañías Navieras Más Grandes	Porción de 28 Compañías Navieras
Los Ángeles	EE.UU. (Pacífico Sur)	76.7%	95.0%
Long Beach	USA (Pacífico Sur)	63.1%	94.2%
Manzanillo	México	87.4%	97.5%
Lázaro Cárdenas	México	90.9%	98.3%
Puerto Quetzal	Guatemala	88.8%	100.0%
Acajutla	El Salvador	94.6%	100.0%
Corinto	Nicaragua	93.3%	100.0%
Caldera	Costa Rica	90.6%	100.0%
Balboa	Panamá	97.1%	99.3%
Colón/Manzanillo/Cristóbal	Panamá	89.4%	93.7%
Limón	Costa Rica	53.8%	87.7%
Puerto Cortés/Puerto Castilla	Honduras	56.7%	95.2%
Santo Tomás de Castilla/ Puerto Barrios	Guatemala	63.7%	98.5%
Veracruz	México	77.8%	86.3%
Houston/Galveston/Freeport (EE.UU.)	EE.UU. (Golfo)	71.8%	82.2%
Nueva Orleans/ Gulfport	EE.UU. (Golfo)	70.8%	80.2%
Miami	EE.UU. (Atlántico Sur)	85.2%	96.5%
Nueva York/Nueva Jersey	EE.UU. (Atlántico Sur)	85.6%	86.8%
Promedio Mundial		81.9%	83.0%

Cálculo realizado por un equipo de la JICA usando la base de datos sobre buques portacontenedores de MDS

De la lista de los puertos de recalada para cada servicio, los puertos que no están incluidos en el modelo son eliminados. Asimismo, para algunos servicios en que un puerto ubicado al final de la lista no coincide con el puerto ubicado al principio de la lista, el puerto al principio de la lista se añade al final de la misma. Por último, 809 vueltas están incluidas en el modelo.

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 8.32.

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.

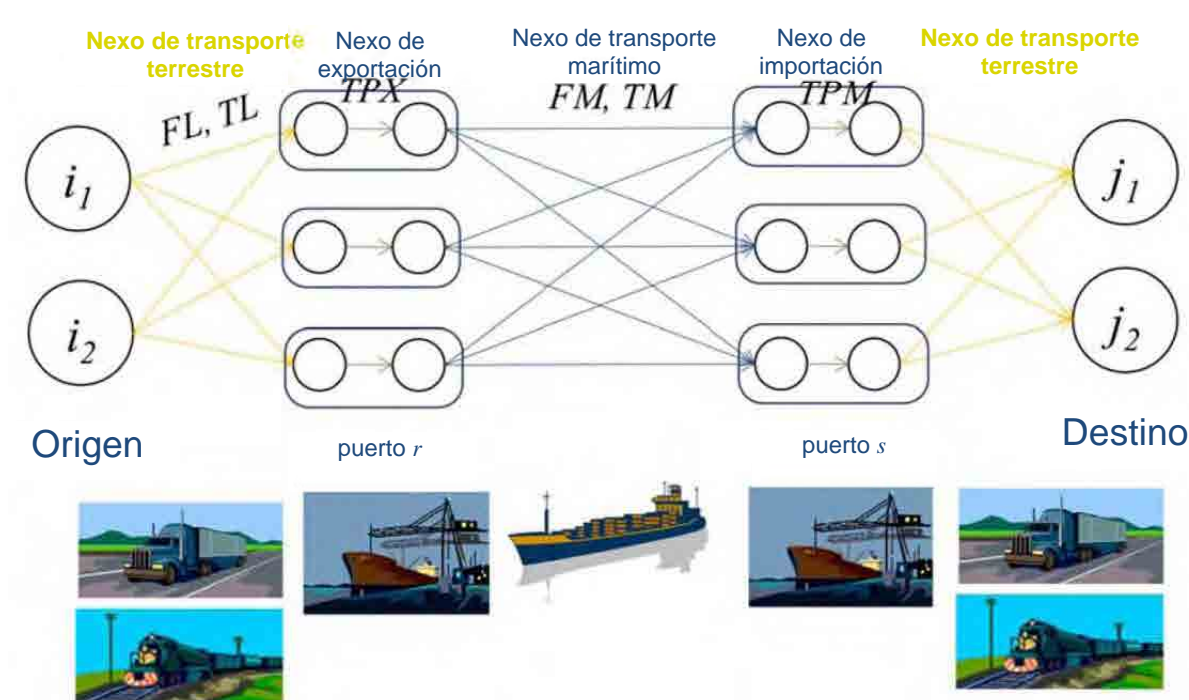


Figura 8.32 Red de transporte considerada en el modelo de asignación de carga de contenedores

(Fuente: Equipo de Estudio de la JICA)

8.6.2 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 para exportación r así como del puerto para importación s a la región de destino j , GPX_r : costo general del puerto para exportación r , GM_{rs} : costo general del transporte marítimo del puerto para exportación r al puerto para 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,

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

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

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

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

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.

8.6.3 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. El detalle del submodelo de transporte marítimo se describe en el Anexo D2.

8.6.4 Costo de flete marítimo

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. En primer lugar, el costo monetario de transporte marítimo se calcula (el detalle se describe en el Anexo D2), y el costo de flete marítimo se estima a partir de la información de los costos como siguen.

La industria de transporte de contenedores marítimos es un mercado de oligopolio, por lo que generalmente el costo de flete no es igual al costo marginal de transporte. Sin embargo, si asumimos que el mercado se encuentra en una competencia de Bertrand en que compañías compiten con bajos precios más que con las capacidades, es bien conocido que el precio es igual al costo marginal. De aquí en adelante, se asume que el mercado de transporte de contenedores marítimos se establece individualmente para cada combinación de los puertos de origen y destino, aunque los mercados se relacionen entre sí. El mercado individual de transporte de contenedores marítimos que conecta los puertos de exportación e importación específicos puede ser relativamente fácil de entrar y salir para las compañías navieras que ya operan buques portacontenedores en la región; por lo tanto, se considera que el precio de equilibrio (es decir, costo de flete marítimo) se parece al precio que se alcanza en la competencia perfecta.

Otro punto es que el costo marginal de transporte puede ser diferente para cada compañía naviera en el precio de equilibrio, principalmente porque los tamaños de los buques y las rutas de transporte varían entre las compañías. Algunas compañías navieras pueden desear fijar que sus precios sean inferiores a los costos marginales de otras compañías navieras, para que dichas compañías dejen del mercado (la teoría del “precio límite”). Sin embargo, en el mercado de transporte de contenedores marítimos, es fácil de entrar y salir como fue mencionado

anteriormente, por lo que puede que la estrategia del precio límite no sea lo mejor para las compañías bajo la suposición de que cada mercado tiene un precio único de equilibrio.¹

De la deliberación anterior, el precio de equilibrio (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. El costo marginal de transporte se define como

$$MC_{grs} = \sum_{a \in k_g} \frac{d}{dx_a} c_a(x_a) \quad \text{si } TM_{grs} = TM_{rs}, \text{ o} \quad (10)$$

$$MC_{grs} = 0 \quad \text{si } TM_{grs} > TM_{rs}, \quad (11)$$

donde k_g : ruta para minimizar el tiempo de transporte del puerto para exportación r al puerto para importación s de la compañía naviera g , TM_{grs} : tiempo mínimo de transporte del puerto para exportación r al puerto para importación s de la compañía naviera g y c_a : función del costo del nexo a . Específicamente,

$$k_g = \arg \left[\min_{k'} \left\{ \sum_{a \in k'} t_a(x_a) \right\} \right], \quad \forall k' \in K_g^{rs}, \text{ y} \quad (12)$$

$$TM_{grs} = \sum_{a \in k_g} t_a(x_a), \quad (13)$$

donde K_g^{rs} : ruta establecida del puerto para exportación r al puerto para importación s de la compañía naviera g y t_a : tiempo de transporte del nexo a . Se explican en el Anexo D2 la función del costo y el tiempo de transporte para cada nexo.

8.6.5 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 nexo 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,

¹ Es posible relajar el supuesto de que cada mercado tiene un precio único de equilibrio. En este caso, se puede asumir el mercado de oligopolio con productos diferenciados. Por ejemplo, un modelo logit que considera múltiples precios (y tiempos de transporte) en un mercado se puede aplicar como en Shibasaki y colaboradores, 2012. A fin de simplificar el modelo, no se considera en este informe.

$$TL_{ir} = TD_{ir} + \alpha \cdot TB_{ir} \text{ (también, } TL_{sj} = TD_{sj} + \alpha \cdot TB_{sj} \text{), y} \quad (14)$$

$$FL_{ir} = CD_{ir} + \alpha \cdot CB_{ir} \text{ (también, } FL_{sj} = CD_{sj} + \alpha \cdot CB_{sj} \text{),} \quad (15)$$

donde TD_{ir} , TD_{sj} : tiempo de conducción del nexo de transporte terrestre (hora), TB_{ir} , TB_{sj} : tiempo de cruce fronterizo del nexo de transporte terrestre (hora), CD_{ir} , CD_{sj} costo de conducción del nexo de transporte terrestre (US\$/TEU), CB_{ir} , CB_{sj} : costo de cruce fronterizo del nexo de transporte terrestre (US\$/TEU) y α : coeficiente del transporte bajo control aduanero. El coeficiente del transporte bajo control aduanero, α , es un parámetro de ajuste, porque TB_{ir} , TB_{sj} y CB_{ir} , CB_{sj} están considerados como el tiempo y el costo para la elaboración de documentos y el despacho de aduanas en la exportación y la importación, más no en el tránsito. Los resultados serán comparados más tarde en varios escenarios de α .

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} , del origen i al destino j se estima usando los siguientes pasos. En primer lugar, se estima la demanda de transporte de carga de contenedores marítimos, q_{grs} , del puerto para exportación r al puerto para importación s . Luego, se estima la demanda de transporte de carga incluyendo el transporte terrestre.

(1) Contenedor marítimo O-D

1) Carga O-D entre países o regiones

El volumen de carga O-D entre países o regiones está disponible en la base de datos de World Trade Service (WTS) que está proporcionado por IHS Inc. La base de datos de WTS proporciona una matriz O-D anual de la carga de contenedores marítimos del mundo en base a TEU en 2010 entre 100 países o regiones, incluyendo la división costera para los principales países tales como los Estados Unidos (Atlántico Norte, Atlántico Sur, Grandes Lagos, Golfo, Pacífico Norte y Pacífico Sur), Canadá, México, Colombia, Francia, España y Rusia. La matriz O-D se agrega en 51 países o regiones para el próximo paso del procesamiento de los datos.

2) División en una matriz O-D por puerto

La matriz O-D para cada país o región se divide en una matriz O-D para cada puerto según la proporción del puerto en el país o región en términos del tráfico de carga local que está cargada (es decir, no vacía), que se estima a partir de los datos CI-online (para la cantidad total del tráfico de carga de contenedores por puerto) y un informe de Drewry en 2011 (para la tasa de contenedores de transbordo y vacíos). Al multiplicar la proporción del puerto, por favor tenga en cuenta que el volumen de carga O-D entre los puertos en el mismo país debe ser de cero porque el modelo considera sólo la carga internacional de contenedores.

3) División de los contenedores de América Central en una matriz O-D por puerto

En la base de datos de WTS, la región de América Central que incluye siete países (Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá) se trata como una región; por lo tanto, se debe dividir primero por costa más los EE.UU., México y Colombia como fue mencionado anteriormente. Luego, se divide por puerto.

Los datos sobre las regiones socias del comercio internacional por puerto están disponibles sólo para dos puertos de Guatemala (es decir, el Puerto Santo Tomás de Castilla y el Puerto Quetzal) como se muestra en la Tabla 8.36, por lo que el siguiente proceso debe ser adoptado:

- a) Se asume que la proporción de los contenedores por región socia es igual a la proporción de toda la carga como se muestra en la Tabla 8.36, porque sólo los datos para toda la carga están disponibles.
- b) Según los datos de COCATRAM, el Puerto Santo Tomás de Castilla representó el 18,1% (151.255 TEU) para la exportación y 14,8% (154.412 TEU) para la importación de todos los contenedores cargados que se manejaron en los puertos a lo largo de la costa del Atlántico en América Central (desde Guatemala hasta Panamá, a excepción de la carga de transbordo) en 2010, aunque el Puerto Quetzal representó el 22,5% (71.613 TEU) para la exportación y 33,7% (88.604 TEU) para la importación de todos los contenedores cargados que se manejaron en los puertos a lo largo de la costa del Pacífico en América Central en 2010.
- c) Del supuesto y los datos presentados anteriormente, se calcula para cada región socia el volumen total de la carga de contenedores de exportación e importación (en base a TEU) en todos los puertos de contenedores a lo largo de cada costa. Como resultado, las proporciones para ambas costas por región socia se presentan en la Tabla 8.37.
- d) Respecto a otros puertos con excepción de los de Guatemala, se asume que la proporción de los contenedores para cada región socia es igual en cuanto a todos estos puertos que se encuentran ubicado a lo largo de la misma costa de América Central. Según la proporción que se presenta en la tabla y la proporción del tráfico de contenedores de cada puerto de la misma costa, el contenedor marítimo O-D de y a América Central se divide otra vez.
- e) Se asume que la demanda de transporte marítimo de contenedores dentro de América Central es cero en el caso del contenedor marítimo O-D original. Sin embargo, no es cero en el O-D elaborado para el modelo de asignación CEPA. Por lo tanto, el número total de contenedores por transporte marítimo dentro de América Central se divide en ambas costas y entre los puertos, bajo los supuestos de que ni los contenedores por transporte marítimo a lo largo de ambas costas ni aquellos dentro de los países del CA4 están en cero (es decir, todos los contenedores por transporte marítimo dentro de América Central se originan de o se destinan a Costa Rica o Panamá).

Tabla 8.36 Desglose por región socia de la carga que se maneja en 2 puertos guatemaltecos (2010)

- Puerto Santo Tomás de Castilla (toda la carga)

Región Socia	Importación		Exportación		Total
	MT	Proporción	MT	Proporción	MT
África	2,973	0.1%	4,610	0.2%	7,583
Asia	32,118	1.5%	88,952	3.9%	121,069
Caribeño	74,936	3.4%	235,227	10.2%	310,163
América Central	54,566	2.5%	15,510	0.7%	70,075
Europa	199,890	9.1%	151,102	6.5%	350,993
Costa Este de América del Norte	1,569,194	71.1%	1,735,902	75.2%	3,305,096
Costa Oeste de América del Norte	998	0.0%	475	0.0%	1,472
Oceanía	19,346	0.9%	480	0.0%	19,826
Costa Este de América del Sur	75,423	3.4%	25,704	1.1%	101,127
Costa Oeste de América del Sur	176,319	8.0%	51,209	2.2%	227,528
Total	2,205,763	100.0%	2,309,170	100.0%	4,514,933

- Puerto Quetzal (toda la carga)

Región Socia	Importación		Exportación		Total
	MT	Proporción	MT	Proporción	MT
África	61,590	1.2%	15,981	0.7%	77,571
Asia	844,706	16.6%	433,092	19.8%	1,277,797
Caribeño	46,642	0.9%	65,677	3.0%	112,319
América Central	247,870	4.9%	179,289	8.2%	427,159
Europa	420,237	8.2%	130,313	5.9%	550,550
Costa Este de América del Norte	490,725	9.6%	97,141	4.4%	587,866
Costa Oeste de América del Norte	958,735	18.8%	326,693	14.9%	1,285,428
Oceanía	436	0.0%	229	0.0%	665
Costa Este de América del Sur	110,192	2.2%	94,102	4.3%	204,294
Costa Oeste de América del Sur	1,914,503	37.6%	848,267	38.7%	2,762,769
Total	5,095,635	100.0%	2,190,782	100.0%	7,286,417

Fuente: la CEPA y la CPN

Tabla 8.37 Proporción de la carga de contenedores cargados de y a América Central en cada costa por región socia (en base a TEU, 2010)

Región Socia	Importación		Exportación	
	Costa del Atlántico	Costa del Pacífico	Costa del Atlántico	Costa del Pacífico
África	44.3%	55.7%	52.1%	47.9%
Asia	18.6%	81.4%	34.7%	65.3%
Caribeño	96.4%	3.6%	93.1%	6.9%
América Central	77.6%	22.4%	23.7%	76.3%
Europa	88.6%	11.4%	81.3%	18.7%
Costa Este de América del Norte	97.1%	2.9%	97.4%	2.6%
Costa Oeste de América del Norte	0.6%	99.4%	0.2%	99.8%
Oceanía	99.9%	0.1%	88.3%	11.7%
Costa Este de América del Sur	91.9%	8.1%	50.7%	49.3%
Costa Oeste de América del Sur	59.2%	40.8%	17.8%	82.2%

Fuente: estimación por el equipo de la JICA

(2) Contenedor O-D incluyendo transporte terrestre

La carga de contenedores O-D que se originan de o se destinan a los países del CA4 (de aquí en adelante CA4 O-D) se integran del contenedor marítimo O-D estimado en (1), aunque para otra carga O-D el contenedor marítimo O-D se usa sin ningún cambio. El proceso de división de CA4 O-D se manifiesta a continuación;

- 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%). La proporción para cada zona se presenta en la Tabla 8.38.
- 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.

Tabla 8.38 Proporción de cada zona por región socia (exportación e importación)

- Exportación

	Guatemala	El Salvador Oeste	El Salvador Este	Honduras Norte	Honduras Sur	Nicaragua
Golfo Árabe-Pérsico	94.0%	0.4%	0.0%	2.7%	1.1%	1.8%
Argentina	78.3%	16.7%	1.1%	2.5%	1.1%	0.3%
Australia	29.9%	19.1%	1.2%	5.9%	2.5%	41.2%
Brasil	55.8%	21.6%	1.4%	14.0%	6.0%	1.2%
Mediterráneo Central	38.7%	11.1%	0.7%	26.3%	11.3%	11.9%
Canadá	36.6%	17.1%	1.1%	2.1%	0.9%	42.2%
Cuenca del Caribe	56.0%	23.3%	1.5%	9.2%	3.9%	6.1%
Chile	84.7%	8.2%	0.5%	1.2%	0.5%	4.9%

China	40.3%	3.3%	0.2%	33.0%	14.1%	9.2%
Colombia	68.0%	6.0%	0.4%	13.5%	5.8%	6.4%
Ecuador	73.1%	9.1%	0.6%	4.7%	2.0%	10.6%
Egipto	65.5%	21.1%	1.3%	4.2%	1.8%	6.0%
Francia	15.4%	5.9%	0.4%	27.9%	12.0%	38.4%
Hong Kong	37.3%	26.3%	1.7%	14.8%	6.3%	13.7%
India	62.1%	5.5%	0.3%	4.3%	1.8%	25.9%
Indonesia	82.5%	15.1%	1.0%	0.4%	0.2%	0.7%
Israel	94.0%	0.4%	0.0%	2.7%	1.1%	1.8%
Japón	74.3%	8.4%	0.5%	6.5%	2.8%	7.4%
Kenia	67.4%	3.1%	0.2%	19.9%	8.5%	0.8%
Malasia	82.5%	15.1%	1.0%	0.4%	0.2%	0.7%
México	71.5%	11.2%	0.7%	5.9%	2.5%	8.1%
Europa del Norte	38.7%	11.1%	0.7%	26.3%	11.3%	11.9%
Nueva Zelanda	29.9%	19.1%	1.2%	5.9%	2.5%	41.2%
Otra África Oriental	67.4%	3.1%	0.2%	19.9%	8.5%	0.8%
Otra Costa Este de América del Sur	63.8%	7.6%	0.5%	3.9%	1.7%	22.5%
Otro Subcontinente Indiano	93.1%	1.4%	0.1%	2.6%	1.1%	1.7%
Otro Mediterráneo	94.0%	0.4%	0.0%	2.7%	1.1%	1.8%
Pakistán	93.1%	1.4%	0.1%	2.6%	1.1%	1.7%
Perú	93.4%	2.3%	0.1%	1.0%	0.4%	2.7%
Filipinas	82.5%	15.1%	1.0%	0.4%	0.2%	0.7%
Rumania	19.5%	2.2%	0.1%	54.7%	23.4%	0.0%
Rusia	39.2%	23.7%	1.5%	4.6%	2.0%	29.0%
Singapur	82.5%	15.1%	1.0%	0.4%	0.2%	0.7%
Corea del Sur	51.6%	9.9%	0.6%	23.8%	10.2%	3.9%
África austral	67.4%	3.1%	0.2%	19.9%	8.5%	0.8%
Taiwán	42.0%	13.3%	0.8%	11.0%	4.7%	28.2%
Tailandia	82.5%	15.1%	1.0%	0.4%	0.2%	0.7%
Turquía	94.0%	0.4%	0.0%	2.7%	1.1%	1.8%
Ucrania	19.5%	2.2%	0.1%	54.7%	23.4%	0.0%
Reino Unido	49.2%	6.6%	0.4%	22.5%	9.6%	11.7%
Estados Unidos	45.9%	27.4%	1.8%	11.8%	5.0%	8.1%
Venezuela	20.0%	3.5%	0.2%	0.3%	0.1%	75.8%
Vietnam	82.5%	15.1%	1.0%	0.4%	0.2%	0.7%
Mediterráneo Occidental	36.6%	24.3%	1.6%	12.5%	5.4%	19.6%
África Occidental	67.4%	3.1%	0.2%	19.9%	8.5%	0.8%

Importación

	Guatemala	El Salvador West	El Salvador East	Honduras North	Honduras South	Nicaragua
Golfo Árabe-Pérsico	63.4%	11.8%	0.8%	11.4%	4.9%	7.8%
Argentina	55.3%	16.1%	1.0%	11.5%	4.9%	11.0%
Australia	28.8%	44.0%	2.8%	11.6%	5.0%	7.8%
Brasil	45.2%	21.9%	1.4%	12.9%	5.5%	13.2%
Mediterráneo Central	47.1%	26.5%	1.7%	11.2%	4.8%	8.7%

Canadá	47.9%	21.9%	1.4%	10.9%	4.7%	13.3%
Cuenca del Caribe	40.1%	22.3%	1.4%	19.4%	8.3%	8.5%
Chile	42.7%	18.4%	1.2%	20.6%	8.8%	8.2%
China	48.3%	20.8%	1.3%	8.9%	3.8%	16.8%
Colombia	63.4%	12.9%	0.8%	14.1%	6.0%	2.7%
Ecuador	30.0%	40.2%	2.6%	14.8%	6.3%	6.2%
Egipto	45.3%	26.6%	1.7%	13.2%	5.7%	7.5%
Francia	38.3%	26.0%	1.7%	14.7%	6.3%	13.2%
Hong Kong	54.9%	18.3%	1.2%	12.6%	5.4%	7.6%
India	54.3%	9.9%	0.6%	12.1%	5.2%	17.8%
Indonesia	44.1%	18.3%	1.2%	13.6%	5.8%	16.9%
Israel	63.4%	11.8%	0.8%	11.4%	4.9%	7.8%
Japón	43.4%	22.1%	1.4%	10.3%	4.4%	18.4%
Kenia	40.7%	37.7%	2.4%	5.6%	2.4%	11.3%
Malasia	44.1%	18.3%	1.2%	13.6%	5.8%	16.9%
México	52.4%	23.0%	1.5%	8.9%	3.8%	10.4%
Europa del Norte	47.1%	26.5%	1.7%	11.2%	4.8%	8.7%
Nueva Zelanda	28.8%	44.0%	2.8%	11.6%	5.0%	7.8%
Otra África Oriental	40.7%	37.7%	2.4%	5.6%	2.4%	11.3%
Otra Costa Este de América del Sur	37.7%	24.4%	1.6%	13.7%	5.9%	16.8%
Otro Subcontinente Indiano	41.2%	42.9%	2.7%	5.6%	2.4%	5.2%
Otro Mediterráneo	63.4%	11.8%	0.8%	11.4%	4.9%	7.8%
Pakistán	41.2%	42.9%	2.7%	5.6%	2.4%	5.2%
Perú	39.7%	16.6%	1.1%	24.9%	10.7%	7.1%
Filipinas	44.1%	18.3%	1.2%	13.6%	5.8%	16.9%
Rumania	64.6%	2.6%	0.2%	20.1%	8.6%	3.9%
Rusia	45.7%	12.8%	0.8%	12.8%	5.5%	22.4%
Singapur	44.1%	18.3%	1.2%	13.6%	5.8%	16.9%
Corea del Sur	58.8%	12.4%	0.8%	4.5%	1.9%	21.5%
África austral	40.7%	37.7%	2.4%	5.6%	2.4%	11.3%
Taiwán	32.6%	41.0%	2.6%	11.4%	4.9%	7.5%
Tailandia	44.1%	18.3%	1.2%	13.6%	5.8%	16.9%
Turquía	63.4%	11.8%	0.8%	11.4%	4.9%	7.8%
Ucrania	64.6%	2.6%	0.2%	20.1%	8.6%	3.9%
Reino Unido	49.6%	22.2%	1.4%	9.2%	3.9%	13.6%
Estados Unidos	47.1%	25.4%	1.6%	12.9%	5.5%	7.5%
Venezuela	1.2%	13.3%	0.9%	3.5%	1.5%	79.6%
Vietnam	44.1%	18.3%	1.2%	13.6%	5.8%	16.9%
Mediterráneo Occidental	44.4%	20.7%	1.3%	11.1%	4.8%	17.7%
África Occidental	40.7%	37.7%	2.4%	5.6%	2.4%	11.3%

Fuente: estimado a partir de las Estadísticas del Comercio de las Naciones Unidas y los datos del comercio de SIECA

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

En el modelo, un equilibrio entre la capacidad del buque y la cantidad de contenedores transportados 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 transportará por transportadores que no se encuentran entre los 28 transportadores de contenedores presentados en la Tabla 8.33. 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, CHC_r (incluida en la Ecuación (D.26) y la Ecuación (D.27) en el Anexo D2), el tiempo de espera para la exportación, TPX_r (en la Ecuación (6)), y para la importación TPM_r (en la Ecuación (8)), así como también el tiempo de transbordo, TR_r (en la Ecuación (D.11)) en los puertos de los países del CA4 y otros puertos del mundo se especifican, como se presentan en la Tabla 8.39, a partir de los datos de la CEPA y otros fuentes de datos. En lugar, TL_r (tiempo de carga en el submodelo de transporte marítimo incluido en la Ecuación (D.8)) y TU_r (tiempo de descarga también en el submodelo de transporte marítimo incluido en la Ecuación (D.9)), que se elaboran para incluir el tiempo de carga y descarga en el cálculo considerando sólo la red de transporte marítimo, se fijan en un número suficientemente pequeño (en este modelo, 10^{-2} horas) pero no en cero. También, se asume siempre que el tiempo de anclaje del nexo de anclaje, TN_r (incluido en la Ecuación (D.10)), es de 12 (horas) para todos los puertos en todos los servicios.

Tabla 8.39 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
		CHC_r (US\$/TEU)	(m)	TPX_r (horas)	TPM_r (horas)	TR_r (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		100.00	*	48	24	*

*: varía según puerto

Fuente: estimación por el Equipo de Estudio de la JICA

8.7.3 Red de transporte marítimo

Ver el Anexo D2.

8.7.4 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 8.33). 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 (14)), y su costo, CD_{ir} y CD_{si} (en la Ecuación (15)), están fijados para coincidir con el modelo de asignación CEPA como se presenta en la Tabla 8.40. El tiempo de cruce fronterizo, TB_{ir} y TB_{si} (también, incluido en la Ecuación (14)), y su costo, CB_{ir} y CB_{si} (en la Ecuación (15)), se derivan del promedio de las horas en la “Elaboración de Documentos” (exportaciones e importaciones) del “sitio web de Doing Business”

(<http://www.doingbusiness.org/data/exploreeconomies/el-salvador#trading-across-borders>)

proporcionado por el Banco Mundial. El tiempo y costo estimado de cruce fronterizo se presenta en la Tabla 8.41. 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).

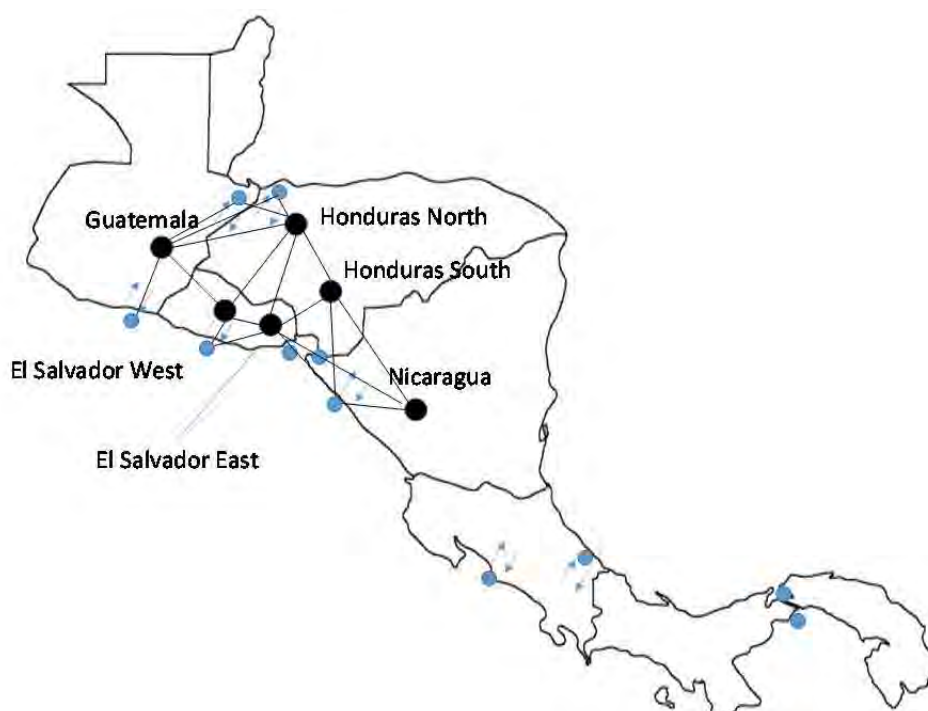


Figura 8.33 Red de transporte terrestre considerada en este proyecto

(Fuente: Equipo de Estudio de la JICA)

Tabla 8.40 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 Tomás	Acajutla	La Unión	Puerto Cortés	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 Tomás	Acajutla	La Unión	Puerto Cortés	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 8.41 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 Tomás	Acajutla	La Unión	Puerto Cortés	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 Tomás	Acajutla	La Unión	Puerto Cortés	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 Esquema de cálculo del modelo

El proceso actual de cálculo del modelo es como sigue.

(1) Cálculo inicial ($m = 0$)

- 1) El submodelo de transporte marítimo se calcula y el tiempo inicial de transporte marítimo, $TM_{rs}^{(0)}$, se estima como se describe en 8.6.3, ingresando el contenedor O-D inicial para cada puerto, $q_{grs}^{(0)}$.
- 2) El costo inicial de flete marítimo, $FM_{rs}^{(0)}$, se estima en base a la red de transporte marítimo como se describe en 8.6.4.
- 3) Al ingresar estas variables estimadas y la carga de contenedores O-D, Q_{ij} , el flujo de rutas de carga de contenedores, $F_{ijh}^{(0)}$, en la red intermodal (ver Ecuación (3) en 8.6.2) así como el tráfico de carga de contenedores para cada puerto (obtenido agregando F_{ijh} por puerto) se estiman según la metodología estocástica de asignación de redes.

(2) Calculo iterativo de número ordinal m y chequeo de convergencia

- 1) En el cálculo de la iteración previa de número ordinal ($m-1$), el contenedor O-D por puerto, $q_{grs}^{(m)}$, que denota el flujo del nexo marítimo en la red intermodal, se estima a partir del flujo de rutas, $F_{ijh}^{(m-1)}$.
- 2) Según el esquema parecido al cálculo inicial (es decir, (1) 1) a 3)), el flujo de rutas de carga de contenedores, $F_{ijh}^{(m)}$, se calcula ingresando el contenedor O-D para cada puerto, $q_{grs}^{(m)}$, y la carga de contenedores O-D, Q_{ij} . Sin embargo, el costo de flete marítimo, FM_{rs} , es muy fluctuante si esto se calcula mediante la Ecuación (9), según qué compañía naviera entra en el mercado a fin de brindar el servicio de línea. No se considera que refleje de manera apropiada el cambio actual del costo de flete marítimo, que debe cambiar continuamente desde el costo en el período anterior. Además, los autores desean enfocarse en el cambio de la carga de y a América Central. Por lo tanto, lo de iteración de número ordinal m (cuando m es más grande que uno), $FM_{rs}^{(m)}$, se estima como la siguiente ecuación, usando el costo de flete anterior, $FM_{rs}^{(m-1)}$.

$$FM_{rs}^{(m)} = \left\{ \frac{q_{rs}^{(m)}}{q_{rs}^{(m-1)}} \right\}^{\gamma_e} \cdot FM_{rs}^{(m-1)} \quad \text{para la carga de exportación de América Central,} \quad (9'-a)$$

$$FM_{rs}^{(m)} = \left\{ \frac{q_{rs}^{(m)}}{q_{rs}^{(m-1)}} \right\}^{\gamma_i} \cdot FM_{rs}^{(m-1)} \quad \text{para la carga de importación de América Central, and} \quad (9'-b)$$

$$FM_{rs}^{(m)} = FM_{rs}^{(m-1)} \quad \text{para otra carga,} \quad (9'-c)$$

donde γ_e, γ_i : parámetros de elasticidad del precio de la demanda para la carga de exportación e importación respectivamente. Estos parámetros están fijados para ser 0.00207 y 0.0394

respectivamente, en función de un cambio promedio del costo de flete marítimo según el cálculo que se basa en la Ecuación (9) cuando la demanda de cada mercado (es decir, cada puerto socio) se modifica en cuanto a la carga de y al Puerto de Acajutla.

- 3) Si el flujo de rutas de carga de contenedores, $F_{ijh}^{(m)}$, converge al compararlo en la iteración anterior, $F_{ijh}^{(m-1)}$, el cálculo iterativo termina. Si no, regresa a 3) después de $m = m + 1$.

8.8.2 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 que se define la probabilidad de escoger cada ruta; y a es un parámetro de ajuste sobre el transporte bajo control aduanero que se multiplica por el tiempo y costo de cruce fronterizo, como se describe en las Ecuaciones (14) y (15) 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.

8.8.3 Reproducibilidad del modelo

(1) Tráfico de carga de contenedores

Se muestra en la Figura 8.34 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).

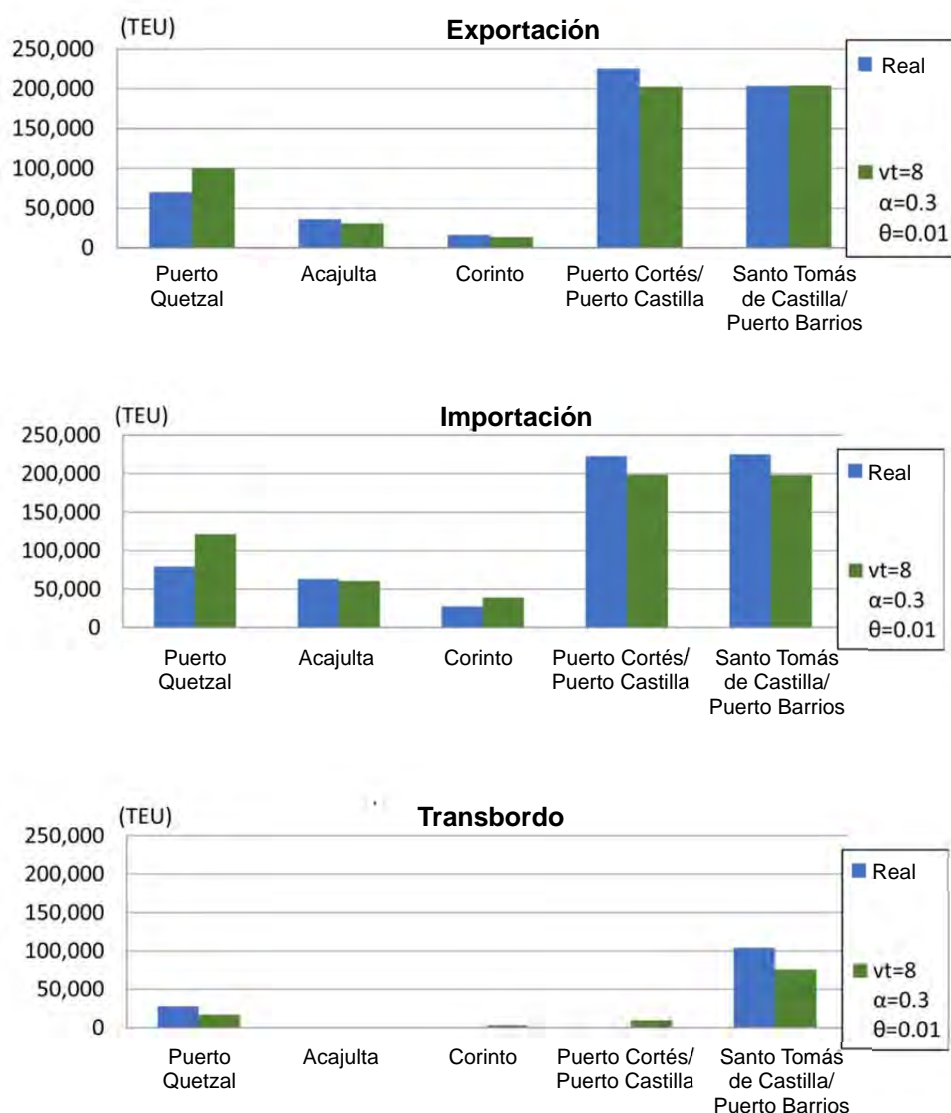


Figura 8.34 Tráfico de carga de contenedores reproducido por el modelo desarrollado en comparación con el tráfico real

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

(2) Proporción según país socio

La Tabla 8.42 presenta el volumen y proporción estimada de la carga de contenedores por país o región socia 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 8.42 se consideran razonables.

Tabla 8.42 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)

	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 Tomas 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 8.43 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 8.43 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 8.44 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 8.44, 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 8.44 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 8.35 un ejemplo de los resultados estimados en cuanto a 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.

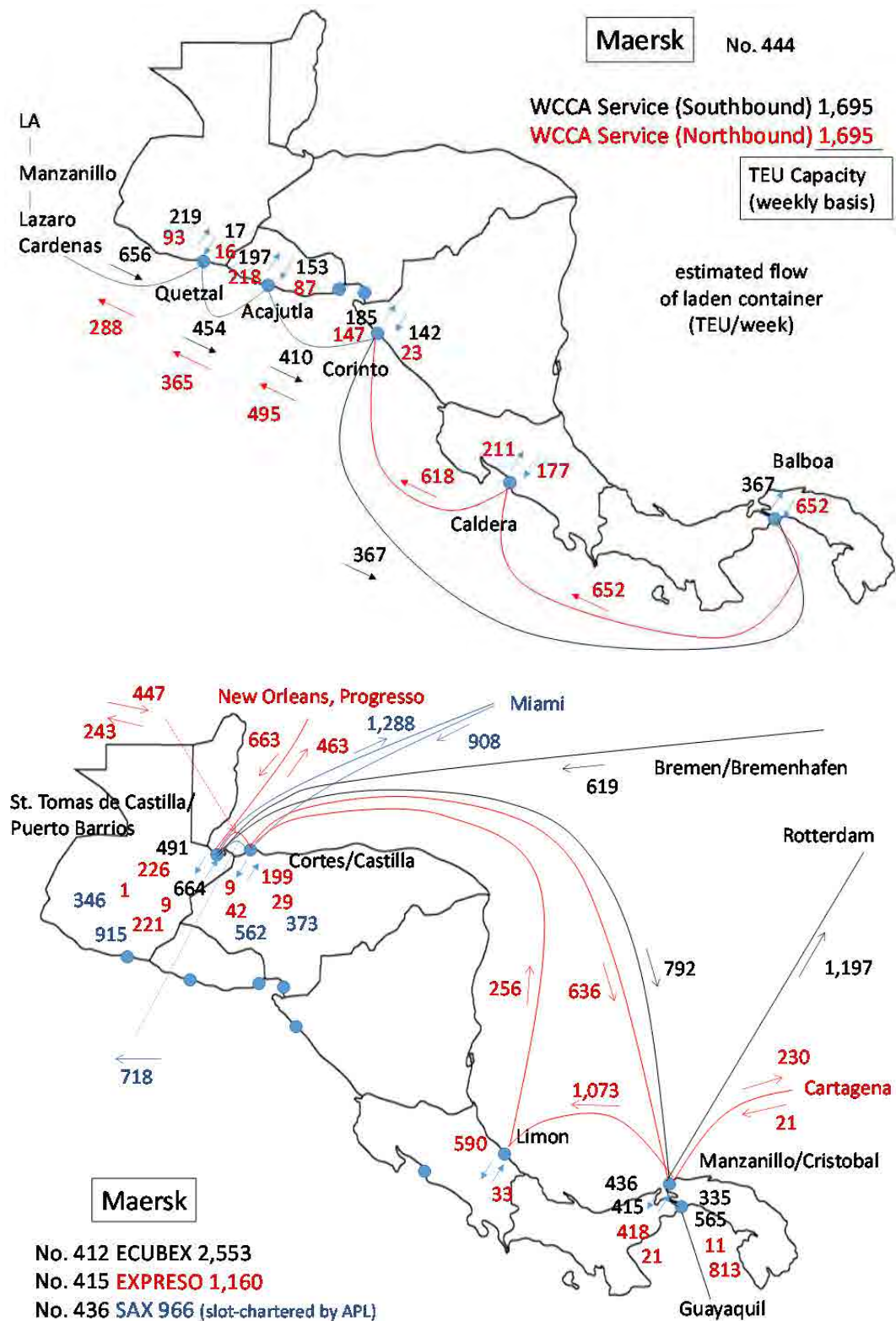


Figura 8.35 Ejemplo del flujo de los contenedores estimado según servicio de línea (Maersk, 2010)

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

8.8.4 Sensibilidad del output del modelo

Las Figura 8.36, Figura 8.37 y Figura 8.38 muestran las sensibilidades de parámetros desconocidos en cuanto al tráfico de carga de contenedores para cada puerto de los países del CA4.

(1) Sensibilidad sobre el valor del tiempo

La Figura 8.36 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.

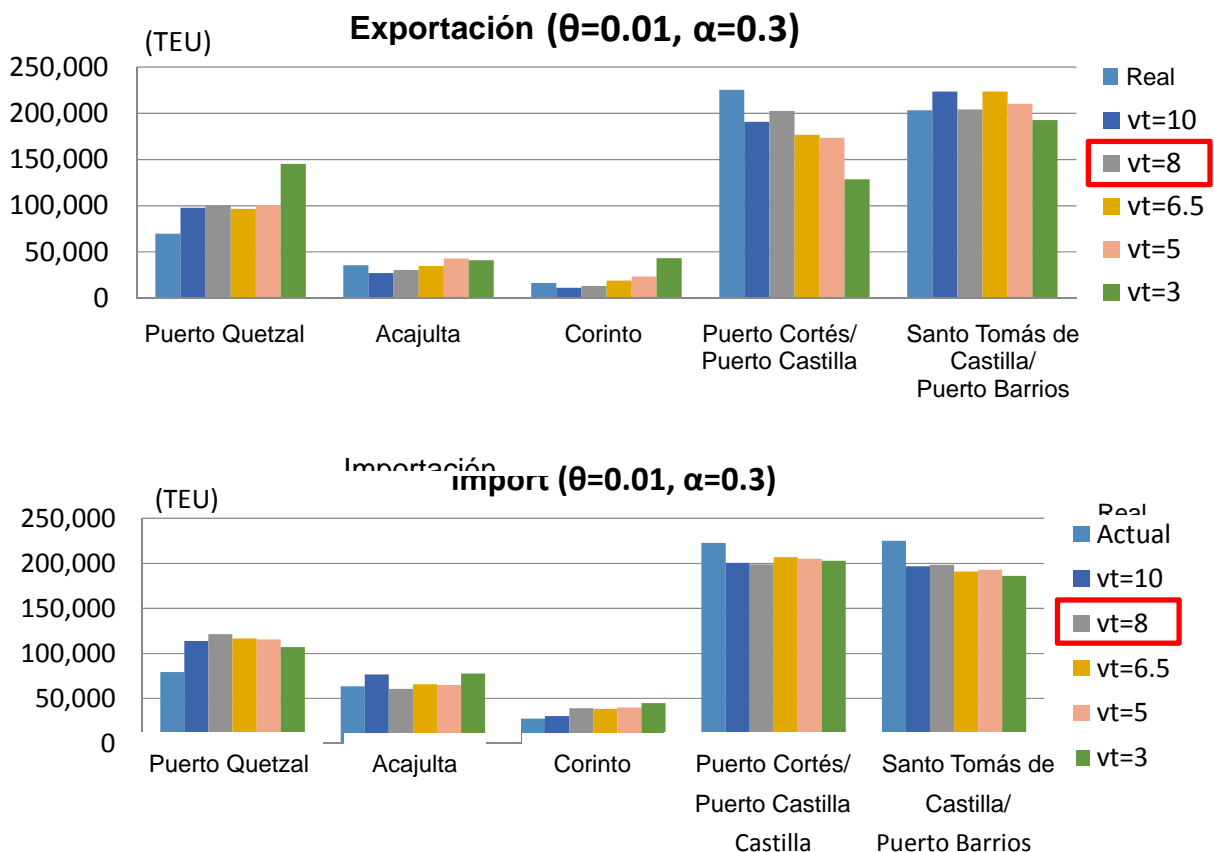


Figura 8.36 Sensibilidad de parámetros desconocidos [1] el valor de tiempo para expedidores vt y el tráfico de carga de contenedores por cada puerto de los países del CA4

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

(2) Sensibilidad al parámetro de la distribución

La Figura 8.37 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.

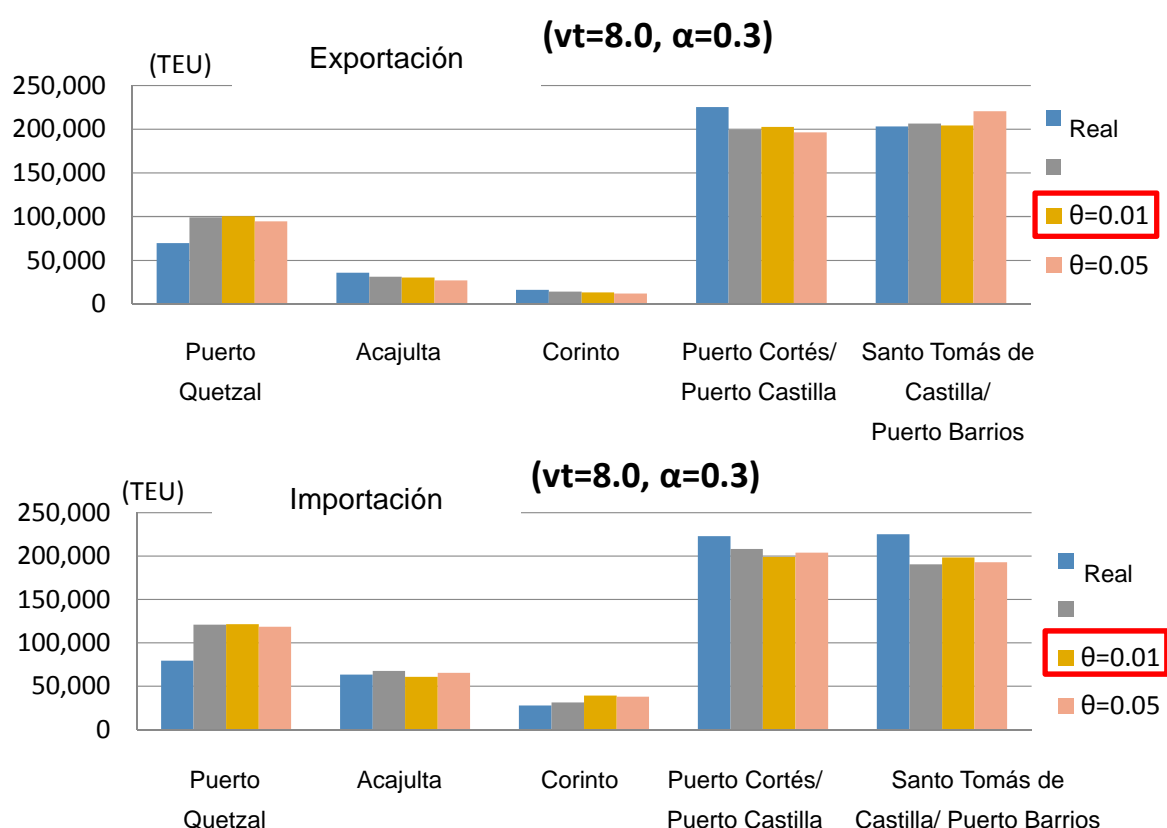


Figura 8.37 Sensibilidad de parámetros desconocidos [2] el parámetro de la distribución θ y el tráfico de carga de contenedores por cada puerto de los países del CA4

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

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

La Figura 8.38 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.

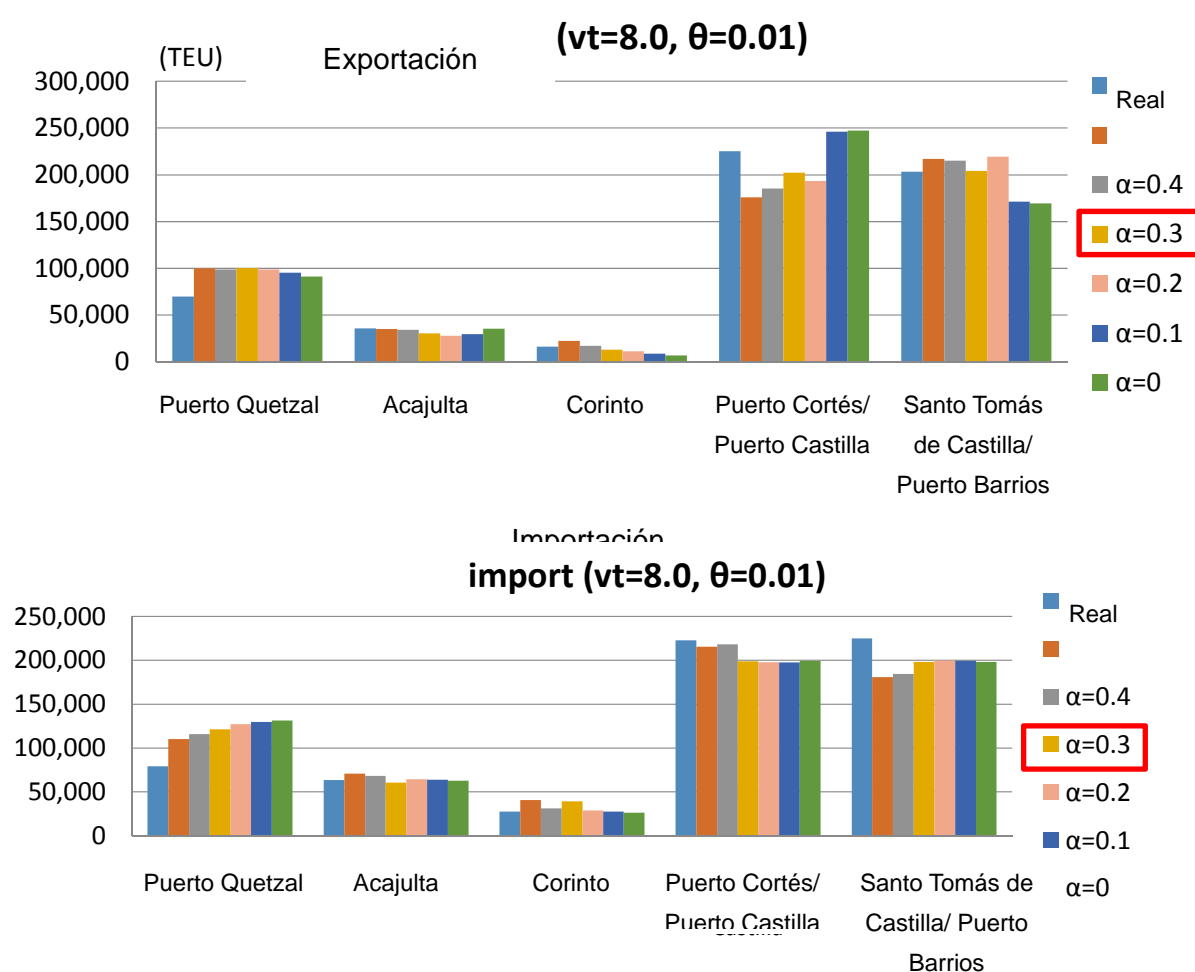


Figura 8.38 Sensibilidad de parámetros desconocidos [3] el parámetro de ajuste sobre el transporte bajo control aduanero α y el tráfico de carga de contenedores por cada puerto de los países del CA4

(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). 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 se enfoca en (8.1.5 (5)) porque se considera que la actual y futura limitación de su capacidad de manejo directamente influirá 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) 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 (8.3.2). 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 (8.3.3). 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.

Un pasaje es el canal que utilizan los buques para entrar o salir del puerto, y es esencial mantener la profundidad diseñada e instalar correctamente las balizas. Pero en el pasaje al Puerto de La Unión, se observan los efectos de sedimentación, y su profundidad se ha disminuido en comparación a cuando fueron terminadas las obras. La profundidad del canal confirmada en el estudio en campo ejecutado en abril de 2013 puso en claro que el canal interior había sido rellenado más que el canal exterior. La profundidad media del canal interior varía de -10 a -11 m, y el tramo menos profundo tiene -7,3 m por una distancia de 2 km de la No.3 a No.5. Adicionalmente, se registró una profundidad de -10 m entre el No.15 y No.17 en el canal exterior. Estos datos sugieren que el canal interior ha sido prácticamente cubierto hasta llegar a una altura original del fondo marino, lo que indica que la sedimentación en el canal es muy grave.

Para resolver este problema CEPA propone dragar el pasaje. Además, se ha instalado un total de 16 balizas, nueve en el canal exterior y siete en el canal interior, y una baliza en la punta de la Isla Zacatillo que sobresale hacia el canal. La Figura 9.1 muestra el pasaje del Puerto de La Unión.

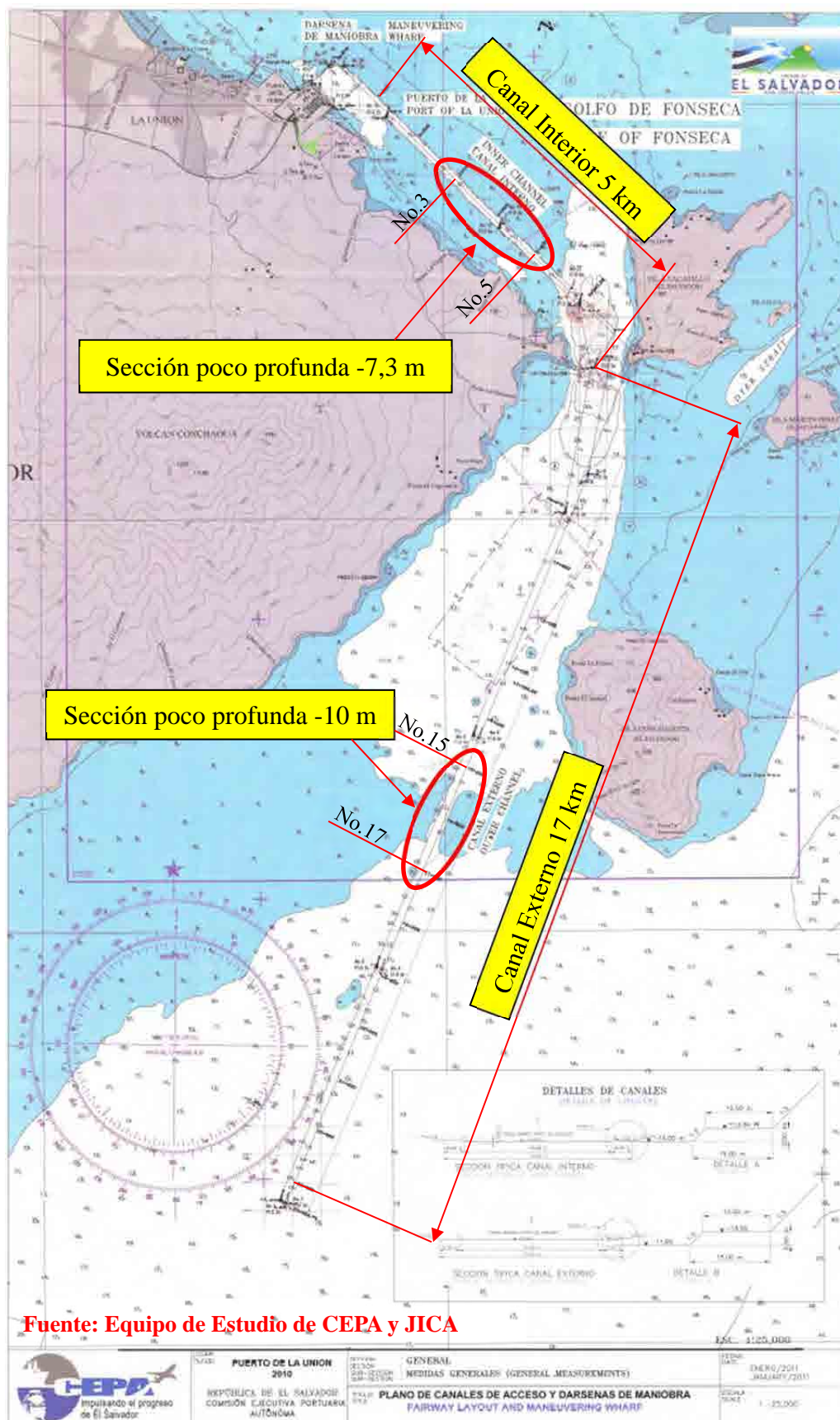


Figura 9.1 Canal de navegación del Puerto de La Unión

(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. Cuando una embarcación quiere entrar en el puerto, su agente de transporte debe enviar el aviso correspondiente proporcionando 12 datos, como son el nombre y la nacionalidad de la embarcación, el calado al entrar en el puerto, la longitud y la manga de la embarcación, así como el tiempo programado para la entrada, al Jefe de la Operación con 48 horas de antelación, y enviar también el documento de confirmación de llegada con una antelación de 24 horas. Antes de entrar en el canal de acceso, el buque que haya obtenido la debida autorización debe detenerse en la zona de fondeo especificado en la entrada del canal, y después de que se haya abordado el piloto, debe avanzar en el canal siguiendo las instrucciones de la torre de control hasta llegar al atracadero designado. Durante este proceso, los buques que salen deben detenerse para que el tráfico del canal de acceso sea en un solo sentido, y así evitar el cruce de los buques que entran y salen. Cuando un buque va a zarpar, los buques que entran se detienen y esperan en el lugar de fondeo. En la Tabla 9.1 se resumen las normas de navegación en el Puerto de La Unión descritas en el Manual de Operación de dicho Puerto.

Tabla 9.1 Normas de navegación en el Puerto de La Unión

Capítulo III: REGLAMENTOS SOBRE LA DOCUMENTACIÓN	
1.	Escala de los buques
2.	Presentación y contenido de la Escala del Buque
Al menos cuarenta y ocho (48) horas antes de la llegada del buque, el agente marítimo debe proporcionar al Puerto de La Unión, el aviso de la llegada del buque, el cual debe contener la siguiente información:	
2.1	Nombre y la bandera del buque
2.2	El Tonelaje de Registro Bruto (TRB), Tonelaje de Registro Neto (TRN) y el Peso Muerto (DW)
2.3	Calado de arribo, longitud y la manga.
2.4	Nombre del propietario o arrendatario.
2.5	Tiempo estimado de arribo (ETA).
2.6	Número de contenedores a embarcar y/o desembarcar.
2.7	Tonelaje de cargas a embarcar y/o desembarcar.
2.8	Lista de mercancías peligrosas a bordo a embarcar y/o desembarcar, y su clasificación internacional basada en el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (Código IMDG).
2.9	Número de pasajeros en tránsito.
2.10	Número de pasajeros a embarcar y/o desembarcar en el Terminal Portuario.
2.11	Plan de estiba de la carga a bordo.
2.12	Cualquier otra información pertinente relacionada con el manejo de la carga o la seguridad del buque en el terminal del Puerto.
Capítulo IV: PROGRAMA DE OPERACIONES	
SECCIÓN I REGLAMENTOS GENERALES RELACIONADAS CON LAS OPERACIONES	
1.	Programación de los servicios portuarios
1.1.	La asistencia a los buques será de 365 días del año, las 24 horas del día, sin interrupción, pero el área administrativa, y la recepción y entrega de la carga operarán de lunes a viernes en el siguiente horario: Lunes 08:00 a 17:00, De martes a jueves 07:00 a 17:00 horas, y los viernes 07:00 a 15:45.
1.2.	Para los servicios antes y después del horario, los días de descanso y las vacaciones, el usuario debe presentar una solicitud para ser aprobados con ocho (8) horas de anticipación al Jefe de Operaciones.
1.3.	El Administrador del Puerto puede modificar este horario en función de las necesidades operativas de la Terminal Portuaria, informando debidamente los cambios a los usuarios.
3.	La seguridad en el Puerto de La Unión está bajo el control de la CEPA, la División de Puertos y

<p>Aeropuertos de la Policía Nacional Civil, quienes conjuntamente contratarán los guardianes de la propiedad de las instalaciones para dar cumplimiento a las leyes internas y externas y velar por la seguridad del Puerto.</p> <p>5. Nadie podrá abordar al buque en la zona de fondeo o cuando éste va a entrar en el Puerto o en el Terminal antes de la recepción, a menos que haya sido previamente autorizada por el DLAMP y el capitán del buque, y ningún buque iniciará las operaciones después de haberse atracado en el Puerto sin antes haber sido recibido oficialmente por la AMP. Una vez que ha sido el concedido permiso, el buque emitirá un sonido largo para dar a conocer.</p>
<p>SECCIÓN II OPERACIONES PORTUARIAS</p>
<p>2. Los servicios ofrecidos por el PUERTO DE LA UNIÓN en la Terminal son los siguientes:</p> <p>2.1. Servicio a los buques</p> <p>Incluyen todos los servicios requeridos por los buques:</p> <p>2.1.1. Uso del Canal</p> <p>2.1.2. Pilotaje</p> <p>2.1.3. Ayuda a la navegación</p> <p>2.1.4. Escolta de remolcadores, atraque y desatraque</p> <p>2.1.5. Atraque / Zarpa</p> <p>2.1.6. Amarre y desamarre</p> <p>2.1.7. Permanencia en el muelle</p>
<p>SECCIÓN III REGLAMENTOS SOBRE LOS SERVICIOS A LOS BUQUES</p>
<p>1. Servicio de navegación y pilotaje</p> <p>1.1. Todos los buques que llegan al Puerto deben tener una Agencia Naviera que los representa, y su dirección en la Zona de practica debe ser dirigida por un piloto práctico de CEPA, asistida por el equipo remolque que se considere necesario, teniendo en cuenta que uno o varios remolcadores pueden estar involucrados en la operación, salvo en los buques que, debido a su propia naturaleza, sean considerados especiales. El Piloto Práctico durante la maniobra de atraque y de zarpa de un buque será el asesor del Capitán de dicho buque, siendo el segundo el responsable de la operación.</p> <p>1.2. El servicio de pilotaje incluirá también la navegación del buque a través de la entrada del canal de acceso, el anclaje, el amarre, el desamarre, zarpa, salida del canal de acceso, acercamiento, cambio de muelle y otras maniobras realizadas en la zona del puerto.</p> <p>1.3. Los buques deben fondear entre las coordenadas latitud 13°09'42"N y longitud 087°48'06"O, o en un perímetro aproximado de 1,5 millas náuticas alrededor de dicho punto, donde la profundidad es, en general, superior a 15 metros.</p> <p>1.4. Los buques deben fondear entre las coordenadas latitud 13°09'07"N y Longitud 87°48'01"O, o en un perímetro aproximado de 1,5 millas náuticas alrededor de dicho punto, donde la profundidad es en general superior a 15 metros.</p> <p>1.5. Sitio de abordaje</p> <p>En el caso de que exista una limitación para la navegación y servicios de pilotaje debido a las mareas, corrientes, vientos, calado, visibilidad o cualquier otra circunstancia, el agente marítimo y el Jefe de Operaciones del Puerto de La Unión, determinarán el tiempo del servicio que se le prestará.</p> <p>1.6. Limitaciones en la disponibilidad del servicio</p> <p>En el caso de que exista una limitación para los servicios de pilotaje debido a las mareas, corrientes, vientos, calado, visibilidad o cualquier otra circunstancia, el agente marítimo y el Jefe de Operaciones del Puerto de La Unión, determinarán el tiempo del servicio que se le prestará.</p> <p>1.7. Obligaciones del Piloto Práctico</p> <p>El que presta el servicio de practica debe entregar al Jefe de Operaciones del Puerto de La Unión el informe del piloto práctico firmado por el capitán del buque, una vez finalizada la operación.</p> <p>2. Servicio de remolque</p> <p>2.1. El uso del servicio de remolque será proporcionado por el Puerto de La Unión a los buques que cumplan los requisitos establecidas por las autoridades portuarias y marítimas.</p> <p>2.2. El uso del remolcador para las maniobras dentro de las zonas portuarias, estará sujeto a las normas y reglamentos expedidos por las autoridades del puerto y de otras leyes y reglamentos aplicables.</p>

- 2.3. Para acceder al canal del Golfo de Fonseca y después, la maniobra interior del puerto, los buques de más de (500 TRB), deben utilizar el Piloto Práctico certificado por AMP o registrado para ese efecto en la institución, y con la ayuda de uno o más remolcadores, en caso necesario, cuyas características mínimas serán establecidas conforme los criterios del Piloto Práctico, teniendo en cuenta las condiciones adversas de las mareas, corrientes, vientos, calado, visibilidad o cualquier otra circunstancia que afecte la seguridad de la maniobra, de los buques, de las instalaciones, de las personas o de los bienes.
- 2.4. Sin embargo, los buques de hasta (500 TRB), que requieran de operaciones de atraque, desamarre, y otras operaciones podrán hacerlo, sin el Piloto Práctico y el remolcador, bajo su propia responsabilidad con la previa autorización de la AMP y la Administración de Terminal, para proteger la infraestructura del muelle.
- 2.5. El Capitán o el Jefe en servicio que preste servicio de remolque debe entregar al Jefe de Operaciones del Puerto de La Unión el informe de cada maniobra de atraque y/o zarpa, una vez completada la operación.
3. Servicio de Atraque y Zarpa
 - 3.1. El Jefe de Operaciones del Puerto de La Unión determinará el lugar de atraque de los buques, teniendo en cuenta el tipo de operación, la longitud y el calado del buque, las zonas de almacenamiento y el tiempo de operación.
 - 3.2. Las comunicaciones durante las maniobras de atraque, zarpa, y movilización, se realizarán a través de la radio y las normas establecidas para los buques y muelles, Torre de Control y Piloto Práctico, remolcadores y embarcaciones auxiliares.
 - 3.3. El acercamiento vertical de los buques o de los artefactos navales atracados en el Puerto de La Unión, estará sujeto a la previa autorización por el Jefe de Operaciones del Puerto, para lo que los capitanes de los buques o sus representantes deben solicitar previamente la autorización, en la medida en que así lo exijan y permitan las circunstancias operativas. La responsabilidad de los daños y perjuicios que puedan sufrir los buques no será imputable, en ningún caso al Puerto de La Unión.
 - 3.4. A fin de garantizar la seguridad de los buques y su tripulación y la infraestructura de los muelles en el Puerto, se ha determinado que las maniobras de atraque y de zarpa serán temporalmente suspendidas cuando la velocidad del viento es superior a 20 nudos según el indicador de viento instalado en la Torre de Control y/o en el buque, y/o cuando las condiciones del mar alcanzan el Nivel II y la visibilidad es limitada debido a las condiciones adversas de lluvias intensivas. Salvo en situaciones de fuerza mayor o caso fortuito, en las que se hayan perdido o cortado las amarras del buque atracado, será necesario realizar maniobras extraordinarias para trasladar el buque a la zona de fondeo, conforme la decisión tomada de un consenso entre el Jefe de Operaciones, el capitán del buque y el Piloto Práctico.
 - 3.5. Servicio de amarre y desamarre
 - 3.6. El amarre es una operación cuyo objetivo es recoger las amarras del buque, y sujetarlas a los elementos dispuestos para ese fin, siguiendo las instrucciones del capitán del buque, en el sector de atraque designado por el Puerto de La Unión, en la posición más conveniente para facilitar las operaciones de amarre y desamarre.
 - 3.7. El uso del atracadero incluye desde la recepción de la primera amarra del buque en la bita, hasta el desamarre de la última amarra antes de zarpar.

CAPÍTULO XII: IMAGEN GENERAL DEL PLAN DEL PUERTO DE LA UNIÓN, LAS ÁREAS DEL PUERTO O TERMINAL PORTUARIO

SECCIÓN ÚNICA: CAMINOS DE ACCESO A LA TERMINAL DEL PUERTO

3. El Puerto de La Unión gestiona la infraestructura, estructura y superestructura, almacén de aduanas y otras zonas portuarias, que incluyen:
 - 3.1. El embarcadero y sus diferentes muelles o atracaderos, cuenca de retorno, canales de navegación, herramientas de ayuda a la navegación y demás bienes de la Terminal Portuaria, que se encuentran en las aguas de la Bahía de La Unión y el Golfo de Fonseca, en el Distrito de La Unión, Departamento de La Unión, que incluyen:
 - 3.1.1. Embarcaderos

Muelles	Longitud en metros	Profundidad de diseño en metros
Contenedores	360 metros	-15 metros
Multiuso	220 metros	-14 metros
Pasajeros/Ro-Ro	240 metros	-9,5 metros

3.1.2. Cuenca de retorno

La cuenca de retorno de influencia de la Terminal Portuaria está indicada en la carta náutica, mientras que las coordenadas de la zona está indicada en la misma carta tal como se expresa en la siguiente tabla (en coordenadas geodésicas):

MNO	13°20'12.50"N	087°49'18.30"O
MNE	13°19'59.20"N	087°49'05.60"O
B15A	13°19'53.01636"N	087°48'33.71170"O
B16A	13°20'22.54478"N	087°48'59.33086"O
B17A	13°20'22.59809"N	087°49'08.10787"O

MNO: Muelle Noroeste, MINE: Muelle Noreste

Esta área incluye el espacio necesario para la ejecución de los giros de los buques que atracan en los muelles. La principal cuenca de retorno se encuentra en la parte delantera del puerto y consta de un círculo de 600 metros de diámetro con una profundidad promedio de -14,00 metros.

3.1.3. Estación de practica y la zona de fondeo

Las zonas de espera y de fondeo están enmarcan en las cuatro coordenadas geográficas y su posición central de anclaje, de acuerdo a la siguiente representación gráfica:

Áreas de fondeo

13°09'00"N	13°09'48"N
87°48'52"O	87°48'52"O
13°09'15"N	13°09'18"N
87°48'48"O	87°47'32"O

3.1.4. Ayudas a la navegación

El Puerto tiene una Torre de Control, ubicada en el sexto piso del edificio administrativo, equipado con el Sistema de Control Tráfico de buques (VTS), que incluye la comunicación por radio en la banda marina (canal 16) y el receptor del “Sistema de Identificación Automática (AIS)”. La ayuda a la navegación con iluminación está compuesta por 16 balizas situadas en los canales de navegación, con cuatro millas náuticas de visibilidad, separadas unas de las otras con un intervalo de 4,5 kilómetros; de éstas, nueve boyas están en el canal exterior y emiten señales de radio con su ubicación geográfica mediante AIS y el “Sistema de Posicionamiento Global” (GPS). Asimismo, en el muelle existen tres marcas o señales especiales de seguridad, con el correspondiente faro para asistir la navegación con visibilidad de 10 millas náuticas de distancia ubicada en la Isla Zacatillo, con señal de radio emisión idéntica a la de las boyas.

3.1.5. Canal de Acceso

3.1.5.1. El canal de acceso al Puerto de La Unión tiene dos componentes: Los canales interno y externo, ambos están representados en la Carta Náutica 21529, AMÉRICA CENTRAL, GOLFO DE FONSECA, EL SALVADOR, HONDURAS, LA BAHÍA DE LA UNIÓN Y ACCESOS, publicada por la NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY, GOBIERNO DE LOS ESTADOS UNIDOS.

3.1.5.2. El canal de acceso al Puerto de La Unión tiene dos secciones: La primera se denomina el “Canal Interior” con una longitud de 5 kilómetros equivalente a 2,69 MN, una profundidad de diseño de 14,00 metros y un ancho de diseño de 140 metros; la anchura libre de la separación de las boyas oscila entre 106 y 110 metros. La segunda sección se denomina “Canal Exterior” con una longitud de 17,00 kilómetros equivalente a 9,17 MN, una profundidad de diseño original de 14,50 metros y una anchura de diseño de 137 metros; la anchura libre por la separación de las boyas varía de 106 a 110 metros. El canal está diseñado para un solo tráfico.

3.1.5.3. El cambio de dirección de los buques se realiza entre los canales de navegación exterior e interior situado entre la Punta de Chiquirín y la Punta Los Negritos de Isla Zacatillo, donde los buques deben girar alrededor del 56° hacia el Puerto para entrar en él. La profundidad natural en este punto oscila entre 20 y 25 metros.

3.1.5.4. Las embarcaciones y buques de mayor tamaño que entren en los canales de navegación deben solicitar permiso a la Torre de Control de CEPA del Puerto de La Unión, con el conocimiento de la Autoridad Portuaria Marítima local para tomar todas las precauciones necesarias y no interrumpir la navegación de los demás buques en su interior.

3.1.5.5. El viaje a través del canal de las embarcaciones no comerciales debe ser lo más perpendicular posible al eje longitudinal de la canal y tomando precaución necesaria

	para no interferir con los sistemas de navegación, que será a su propio riesgo.
3.1.5.6.	Los buques que naveguen por el canal deberán mantener, en la medida de lo posible y razonable, su tripulación y todo su equipo necesario preparados y dispuestos al anclar inmediatamente en el momento en que sea necesario, como en condiciones de emergencia.
3.1.5.7.	La navegación por el canal debe realizarse a velocidad mínima, a fin de que los buques pueden mantener su maniobrabilidad y una visibilidad de 3 MN, para la navegación segura del buque.
3.1.6.	Riesgos de navegación
3.1.6.1.	Los Riesgos de Navegación serán informados y controlados por la Autoridad Marítima de Puerto de El Salvador.
3.1.6.2.	El Puerto de La Unión mantendrá la profundidad en sus áreas de maniobra, atraque y desatraque. Asimismo, el Puerto informará a la Autoridad Portuaria Marítima y a los usuarios en general, el calado de operación en la zona y las variaciones que se produzcan debido a los cambios en la profundidad.

Fuente: “Manual de Operación del Puerto de La Unión”, CEPA

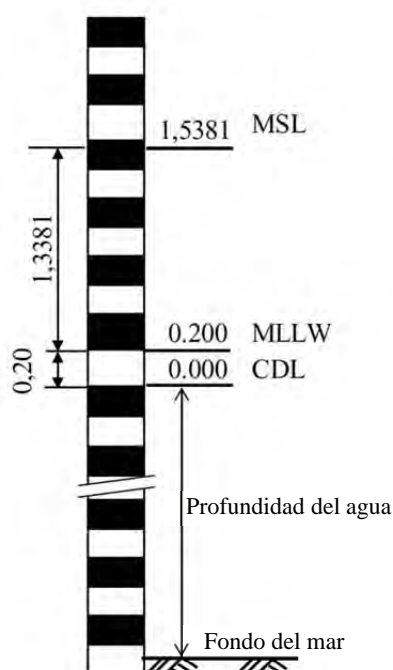
9.1.2 Condiciones de la marea

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. Los niveles de la marea en el Puerto de La Unión se muestran en la Tabla 9.2. El Chart Datum Level (CDL) utilizado como estándar para la profundidad de agua en las cartas marinas se establece en -1,5381 m desde el MSL por CNR. Se considera una tolerancia (factor de seguridad) de -0,2 m desde -1,3881 m desde el MLLW. La relación vertical se muestra en la Figura 9.2.

Tabla 9.2 Niveles de marea del Puerto de La Unión según CNR
(Unidad: metro)

		La Unión
Pleamares más altas observadas	HTO	1.9812
Altura media de las pleamares más altas	MHHW	1.2710
Pleamar media	MHW	1.1704
Nivel medio del mar	MSL	0.0000
Nivel medio de marea	MTL	-0.0518
Media baja de agua	MLW	-1.2771
Nivel medio de las bajamares más bajas	MLLW	-1.3381
Bajamares observadas	LTO	-2.2860

Fuente: CNR



Referencia de CNR		
CDL=MSL-1.3381 - SF		
Nivel Ref.	MSL	CDL
MSL	0.0000	1.5381
MLLW	-1.3381	0.2000
CDL	-1.5381	0.0000

Fuente:

- Preparada por el Equipo de Estudio con base en los datos de CNR.
- SF: Factor de seguridad

Figura 9.2 Referencia del Nivel Vertical

El nivel de la marea del Puerto de La Unión en 2013 se muestra en la Figura 9.3.

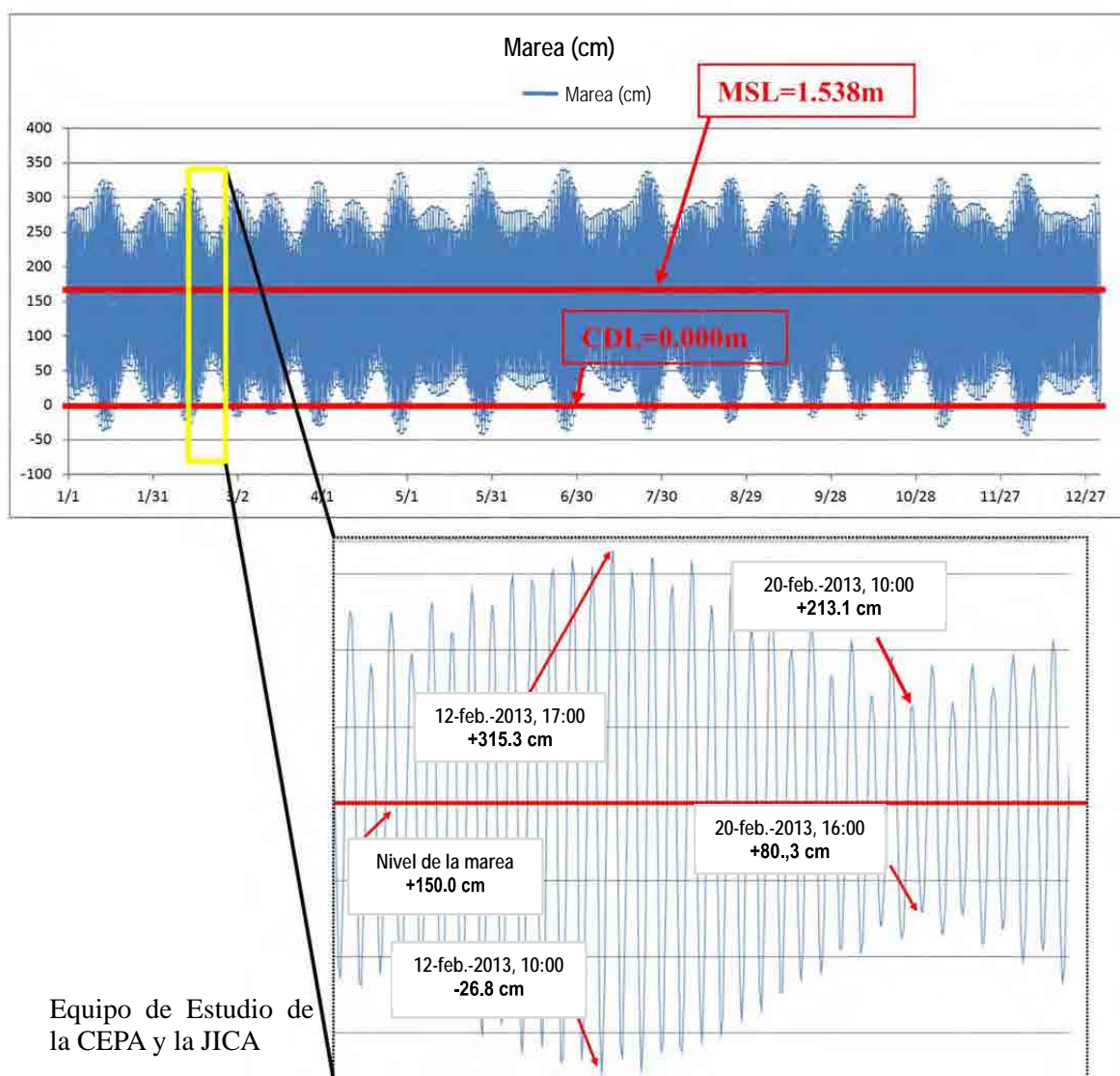


Figura 9.3 Niveles de marea del Puerto de La Unión en 2013

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, se calcularon tres elementos, a saber, el tiempo navegable según el calado, tiempo máximo de espera y el tiempo previsto de espera para las profundidades del canal de 9 m, 10 m, 11 m, 12 m, 13 m y 14 m.

El tiempo previsto de espera es uno de los datos que se introducen en el Modelo de Escala del Buque. También se requiere ingresar la capacidad de carga de contenedores que depende del tamaño del buque. Por lo tanto, se toma en cuenta la relación entre el tamaño y la capacidad de carga de contenedores del buque.

(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 profundidad del agua del canal de navegación se determina agregando las distintas profundidades de diseño del canal a los niveles de la marea indicados en la Tabla de Mareas del Puerto de La Unión en 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 (véase la Figura 9.4 y la Tabla 9.3).

El canal del Puerto de La Unión tiene una longitud de 22 km, y a un kilómetro aproximadamente incluyendo la parte frontal de la superficie de la pared del muelle al extremo final y la cuenca de retorno en esta superficie frontal, la profundidad es de un máximo de 11 m. El buque tarda aproximadamente 2,38 horas para navegar por el canal a 5 nudos, por lo que es necesario planificar la navegación antes que baje la marea.

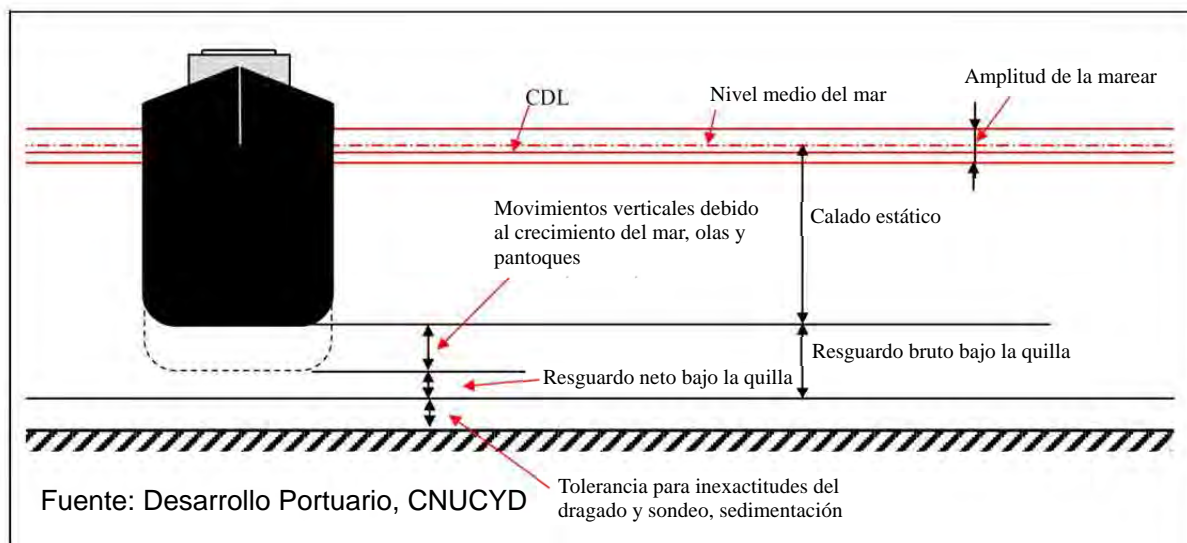


Figura 9.4 Definición de resguardo bajo la quilla

Tabla 9.3 Sugerencias sobre la tolerancia de resguardo bruto bajo la quilla de PIANC

Caso	Tolerancia de resguardo bruto bajo la quilla
a) Áreas del mar abierto expuestas a un fuerte y largo oleaje (mar de fondo) en la popa, alta velocidad del buque	20% del calado máximo
b) El canal y área de pesaje expuestos al oleaje fuerte y largo	15% del calado máximo
c) Canal menos expuesto	10% del calado máximo

Fuente: Desarrollo Portuario, CNUCYD

El cálculo anterior fue hecho para un total de ocho casos: canal con 7,3 m de profundidad (presente), y a cada un metro de profundidad entre -8,0 m y -14,0 m. Para cada una de estas profundidades del canal, se realizó el cálculo para diversos calados a aproximadamente 20 cm de intervalo: desde el calado más grande, en el cual la navegación es imposible, hasta el calado en que la navegación, inclusive el tiempo necesario para pasar a lo largo del canal, es imposible durante 12 horas. En los casos en que el canal no es navegable por más de 12 horas, se asume que los buques portacontenedores no arribarán al puerto, porque no es rentable económicamente.

Cuando el canal tiene una profundidad de 12 m, por ejemplo, el nivel más bajo de la marea en la que un buque con un calado de 12 m puede navegar a través del canal es de 1,2 m (la profundidad real del agua es 13,2 m), y cuando el nivel de la marea es menor, los buques no podrán navegar por el canal. Del mismo modo, el nivel de la marea de 0,1 m (la profundidad actual del agua es de 12,1 m) es el más bajo nivel de marea para un buque con un calado de 11 m, y un buque con 10 m de calado puede pasar a través del canal por debajo de un nivel de la marea de -1 m (la profundidad real del agua es de 11 m). En el Puerto de La Unión, el más bajo nivel de la marea es de aproximadamente 0,5 m (la profundidad actual de agua es de 11,5 m), de modo que un buque con un calado de menos de 10 m puede navegar por el canal en cualquier momento sin ser afectado por el nivel de la marea.

En la actualidad, el canal de navegación del Puerto de La Unión sólo es navegable por dos horas antes y después de la marea alta, o un total de cuatro horas. En este caso, el tiempo anual navegable se calcula en 2.920 horas (= 4 horas × 2 veces × 365 días). Por otro lado, el

tiempo anual navegable en un canal con 12 m de profundidad para un buque con 11 m de calado, en general, se estima en 7.840 horas, que es tres veces más aproximadamente que el caso actual del Puerto de La Unión. Esto significa que los buques que hacen escala en el Puerto de La Unión, sufriría grandes pérdidas económicas debido a las restricciones de navegación.

En el caso de que el canal tuviera suficiente profundidad en el Puerto de La Unión y se incrementa el número de buques que arriben hacia el futuro, la limitación de las horas navegables de cuatro horas significaría un impedimento para las funciones del puerto, estorbando el desarrollo no restringido de las actividades económicas, y provocando pérdida de los beneficios económicos que el Puerto de La Unión podría disfrutar, lo que, a su vez, significa una pérdida económica para la República de El Salvador. Por lo tanto, el paso al Puerto de La Unión debe ser gestionado a fin de garantizar la seguridad y de acuerdo con los principios del mercado. La Tabla 9.4 muestra los resultados del cálculo del tiempo navegable anual en el canal.

Tabla 9.4 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

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
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: Equipo de Estudio de la JICA

El tiempo medio diario navegable puede ser calculado utilizando la información que se muestra en la Tabla 9.4. Si la profundidad del canal es de -12 m y el calado de los buques es de -11 m, el tiempo medio navegable será de 20,45 horas al día (7.465 horas/365 días). 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 para obtener el rango de tiempo navegable descrito en la Figura 9.8 para obtener el tiempo real. En la Tabla 9.5 se presentan los resultados del cálculo de tiempo diario navegable según la profundidad del canal y el calado de los buques.

Tabla 9.5 Resultados del Cálculo del Promedio del Tiempo Navegable Diario
(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: Equipo de Estudio de la JICA

(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 de espera se define como el promedio de tiempo de espera hasta que un buque portacontenedores que haya llegado al azar, pueda entrar en el Puerto de La Unión. En la Figura 9.5 se presenta un esquema conceptual. Hay que tomar en cuenta que debido al tiempo de navegación en el canal de acceso, un buque no puede entrar en el canal 2,4 horas antes de que la profundidad real sea inferior a la profundidad navegable. En la Tabla 9.6 y la Figura 9.6 se muestran los tiempos de espera según la profundidad y el calado. Se observa que el calado se hace más grande cuanto mayor sea el tiempo previsto de espera.

El tiempo previsto de espera constituye uno de los datos que se introducen en el modelo de escala de los buques, lo cual sólo es considerado cuando un buque hace escala en el Puerto de La Unión.

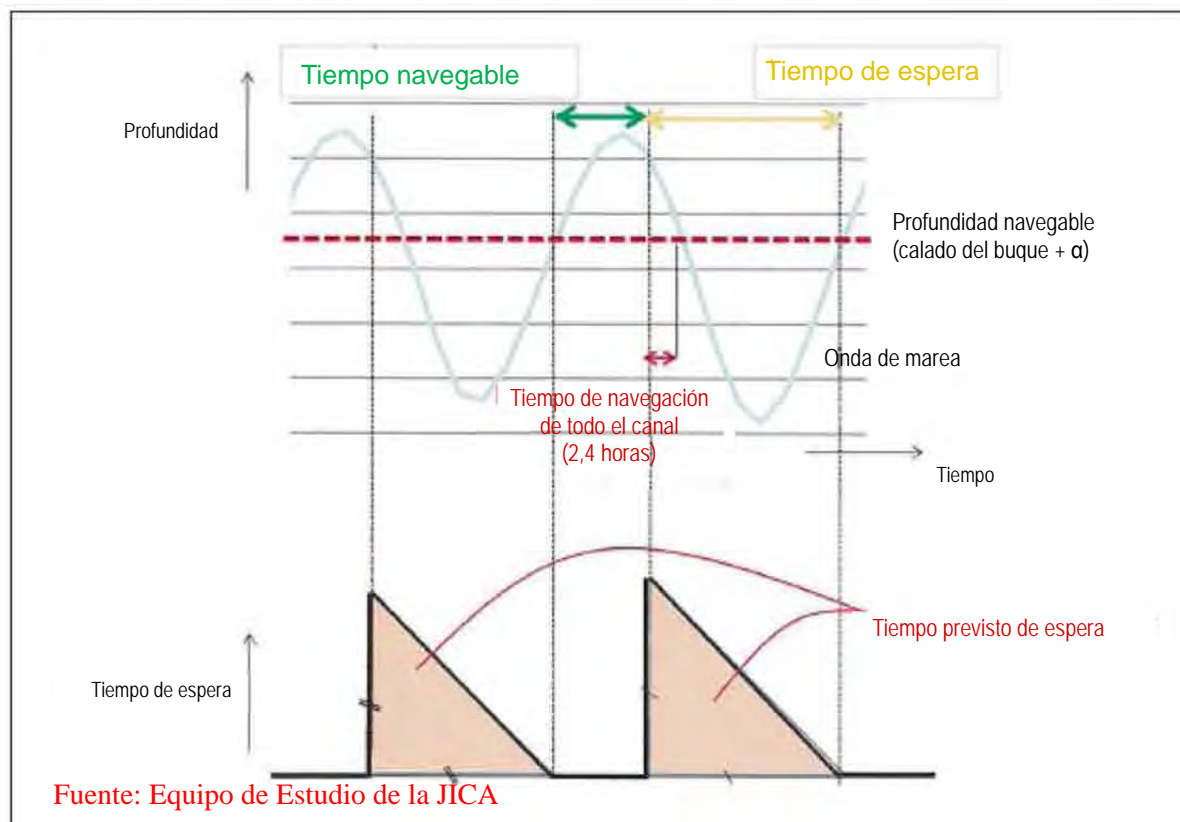


Figura 9.5 Esquema conceptual de cálculo del tiempo previsto de espera

Tabla 9.6 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: Equipo de Estudio de la JICA

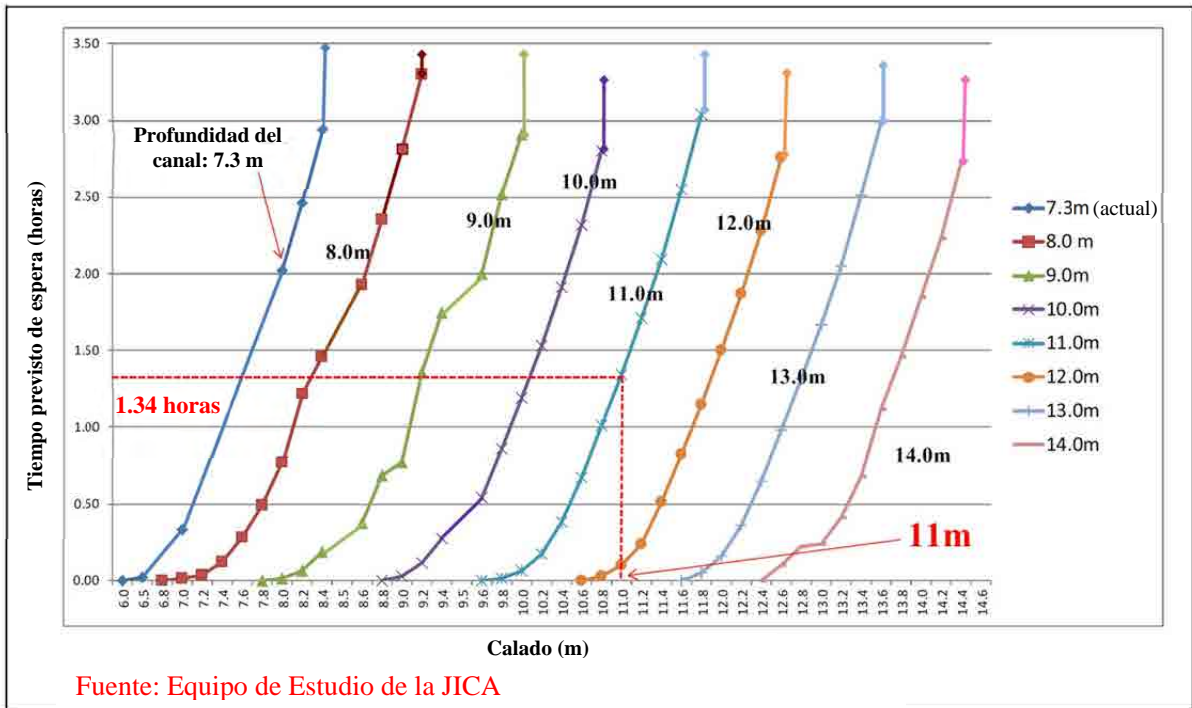


Figura 9.6 Resultados del cálculo de tiempo previsto de espera según la profundidad del canal

(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 Figura 9.7 muestra la relación entre el calado y la capacidad de carga de contenedores. La fórmula de correlación se expresa de la siguiente manera:

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

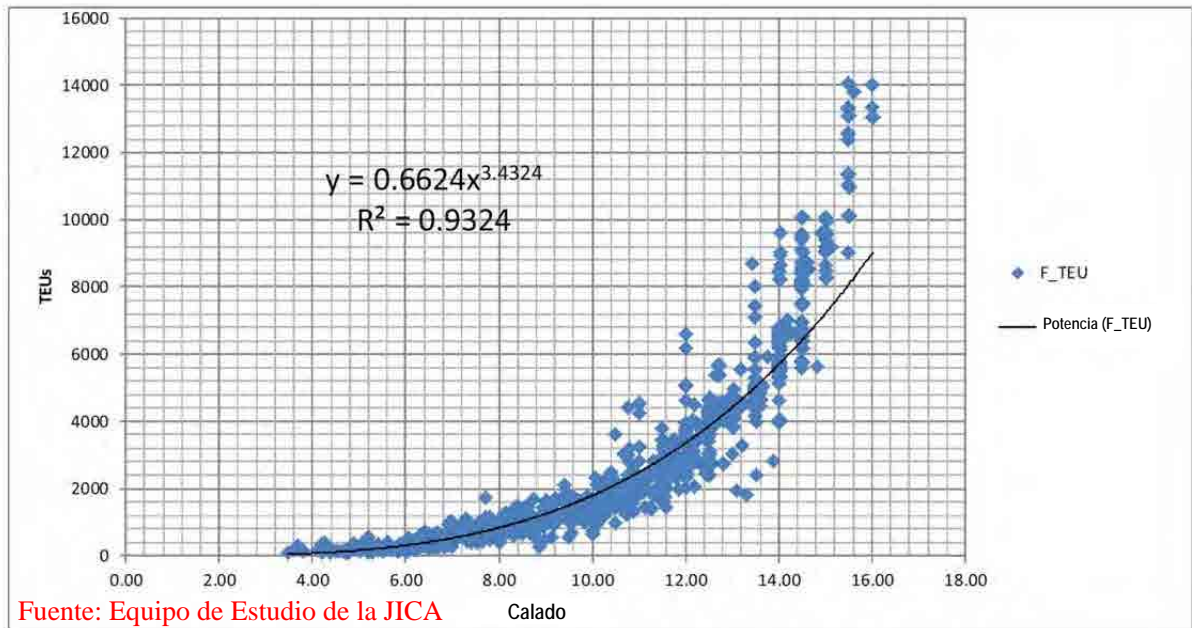


Figura 9.7 Relaciones entre el calado y capacidad de carga de contenedores en TEUs

- (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. Al introducir la fecha de arribo (año, mes, día), la profundidad del canal (en metros) y el calado del buque, la herramienta calcula y muestra el tiempo navegable que el buque puede utilizar el canal, y produce un gráfico mostrando el nivel de la marea más baja navegable. El resguardo bajo la quilla es ajustado a 10% del calado con carga completa según las guías de PIANC. En la Figura 9.8 se presenta la herramienta de salida del rango de tiempo navegable.

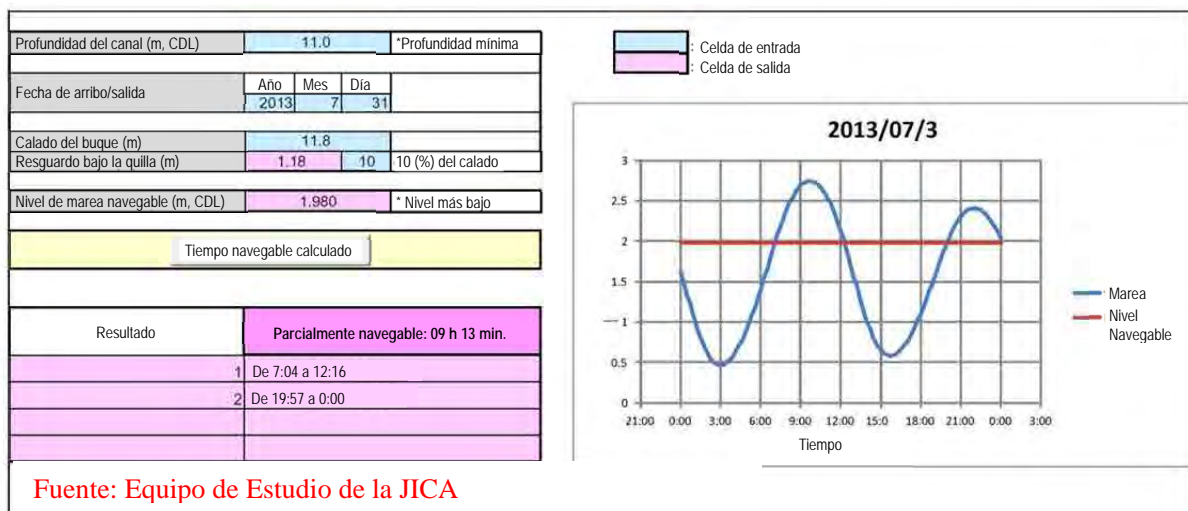
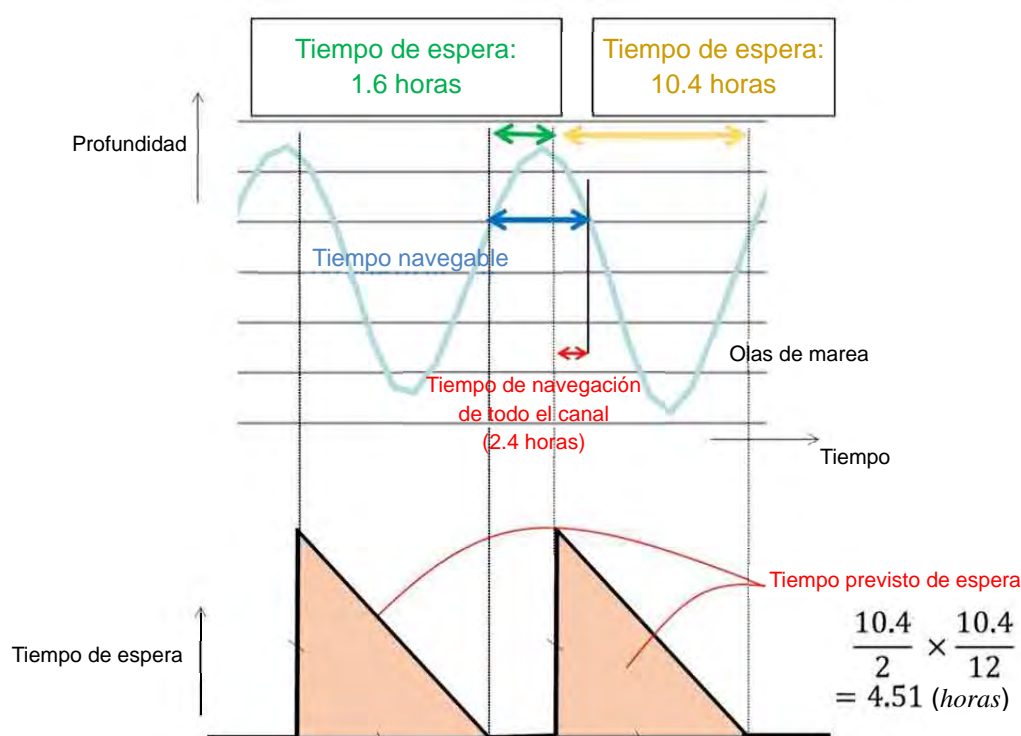


Figura 9.8 Herramienta de salida el rango de tiempo navegable

(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 9.9. Tal como se muestra en esta figura, el tiempo previsto de espera en las normas vigentes de navegación que permite 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 Tabla 9.6. 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 tres 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.



Fuente: Equipo de Estudio de la JICA

Figura 9.9 Resultados del cálculo del tiempo de espera previsto de acuerdo a las reglas de navegación existentes

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

9.2.1 Simulación de la recalada en el Puerto de La Unión al presente (al año 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 9.10. 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.

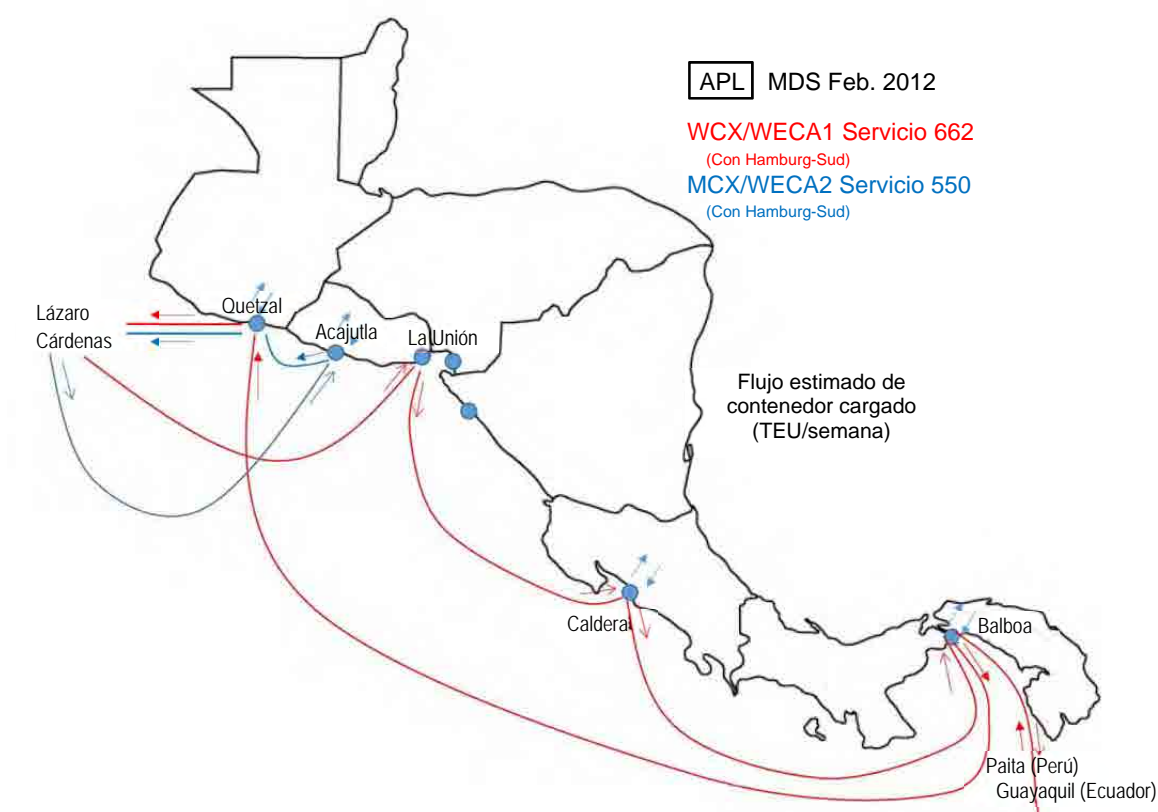


Figura 9.10 Ruta de Servicio operada por APL y Hamburg-Sud en 2012

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

En la Tabla 9.7 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, como se observa en la Tabla 8.21 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 9.7 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 (como se muestra en la Tabla 7.5) para cada uno de los países de CA4 por año y por importación/exportación. Cabe recordar que la demanda de transporte de mercancías de cualquier país del mundo que no sea 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, también. En la Tabla 9.8 se presenta la configuración de los escenarios en 2020 y 2030 para la simulación. Algunos coeficientes están sujetos a ser cambiados 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, algunos de ellos se basan en hipótesis. Por ejemplo, se asume que todos los puertos, excepto CA4 de 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 que se muestra en la Figura 9.7), 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. Concretamente, el tiempo de carga y de descarga de los contenedores en los puertos, definido en las ecuaciones (D.8) y (D.9) en el ANEXO D2 fue modificado para el Puerto de Acajutla, como:

$$t_u(x_a) = TL_a + TW_a \cdot \left\{ 1 + \left(\frac{XH_a - 200000}{1000000} \right) \right\} \quad \text{si } XH_a > 200000, \text{ ó}$$

$$t_u(x_a) = TL_a + TW_a \quad \text{si } XH_a \leq 200000, \text{ y} \quad (\text{D.8'})$$

$$t_u(x_a) = TU_a \cdot \left\{ 1 + \left(\frac{XH_a - 200000}{1000000} \right) \right\} \quad \text{si } XH_a > 200000, \text{ ó}$$

$$t_u(x_a) = TU_a \quad \text{si } XH_a \leq 200000, \quad (\text{D.9'})$$

Donde, XHa: Cantidad total de contenedores manipulados en el Puerto de Acajutla (TEU) incluyendo los contenedores vacíos. La tasa de los contenedores fue estimado a partir de la diferencia entre los contenedores de exportación y de importación salvadoreña. La tasa de los contenedores de exportación fue de 129,2% en 2010, de 33,3% en 2020, y de 12,2% en 2030, mientras que la de los contenedores de importación fue de 0,0% para todos estos años.

La tarifa de manejo de contenedores, CHCr, no ha sufrido cambios durante este período en todos los puertos, salvo para el Puerto de La Unión, donde se mostrará más adelante, una simulación de políticas de aumento de las tarifas.

Tabla 9.8 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 9.9. 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 detalles de la red se presentan en la Figura 8.28 del apartado 8.3.2).

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 9.10 muestra también el servicio de un transporte marítimo regular en 2012 que hicieron escala en el Puerto de La Unión. En la Figura 9.10. Se muestran los detalles de la red. Esto fue también un servicio de alimentación que conecta al Puerto de Lázaro Cárdenas de México, y al Puerto de Balboa de Panamá, a la ruta principal.

Tabla 9.9 Servicio de transporte regular existente en el Puerto de Acajutla al mes de mayo de 2010

(Fuente: Equipo de Estudio 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 9.10 Servicio de transporte regular existente en el Puerto de La Unión al mes de febrero de 2012

(Fuente: Equipo de Estudio 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 (ver también el punto 8.3 y el Anexo D3), una empresa tiene las siguientes opciones para responder al aumento de la demanda.

- 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 9.9);
- 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,
- 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 9.11 se resumen las posibles alternativas en el nivel de servicio que puede ser adoptado por cada empresa. Cabe recordar que:

- un buque de 3.350 TEU (con calado de 12 m) es considerado únicamente para cada servicio en el caso del año 2030, ya que se supone que el buque de este tamaño no puede atracar en ninguno de los puertos de Acajutla, Corinto, ni Caldera en 2020, por lo que el servicio del alimentador en la Costa del Pacífico de América Central no entrará en operación. Además, el buque de este tamaño sólo estará disponible cuando no hace escala en el Puerto de Acajutla, ya que no puede atracar allí, incluso en 2030;

- ii) para el servicio de MSC y NYK, estará dispuesta una alternativa para hacer escala en los puertos de Acajutla y La Unión. En este caso, considerando que aumentará el número de los puertos para realizar escala, el tiempo de espera para entrar en el canal de acceso al Puerto de La Unión debe mantenerse en menos de 0,2 horas, a fin de cumplir con el calendario de operación.

Tabla 9.11 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) 1,695 (10m, inicial) 2,480 (11 m) 3,350 (12 m)*	(104, 0) (52 (este-oeste), 52 (este)) (52 (oeste-este), 52 (oeste)) (0, 104)
MSC	1,232 (9 m, inicial) 1,790 (10 m) 2,480 (11 m) 3,350 (12 m)*	(26, 0) (52, 0) (52, 52)** (0, 52)
NYK	1,240 (9 m) 1,610 (10 m, inicial) 2,480 (11 m) 3,350 (12 m)*	(52, 0) (52 (este-oeste), 52(este))** (52(oeste-este), 52 (oeste))** (0, 52)
APL (1)	1,118 (9 m, inicial) 1,790 (10 m) 2,480 (11 m) 3,350 (12 m)*	(52, 0) (0, 52)
CMA-CGM/CSCL/CCNI	1,790 (10 m) 2,516 (11 m, inicial) 3,350 (12 m)*	(52, 0) (0, 52)
CSAV	1,790 (10 m) 2,599 (11 m, inicial) 3,350 (12 m)*	(23.1, 0) (0, 23.1)
APL(2)/Hamburg-Sud	1,324 (9 m, inicial) 1,790 (10 m) 2,480 (11 m) 3,350 (12 m)*	(0, 0) (0, 52)

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 9.12. 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 9.12). 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 9.12, 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 9.11). 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 9.12 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 Tabla 9.13 muestra un ejemplo del escenario de la red de transporte marítimo que se introduce en el modelo en el caso de que la profundidad del canal sea de 12 metros. En este caso, tres servicios operados por MSC, NYK y APL/Hamburg Sud harán escala en el Puerto de La Unión, mientras que el número de servicios en el Puerto de Acajutla no varía desde que en el año 2010. Se ha asumido que todos los buques que hacen escala en cualquiera de los puertos de Acajutla o La Unión serán más grandes, con una capacidad de por lo menos 2.480 TEU. El servicio prestado por el MSC será semanal. Por otra parte, el servicio prestado por MSC y NYK hará escala en ambos puertos de El Salvador. La Figura 9.11 también muestra un ejemplo de la red de transporte marítimo introducido en el modelo de los puertos CA4 en la Costa del Pacífico.

Tabla 9.13 Ejemplo del escenario de la red de transporte marítimo introducido en el modelo
(Para una profundidad de -12 m)

Compañía naviera	Capacidad en TEU	Frecuencia anual	
		Acajutla	La Unión
Maersk	2,480	104.0	0.0
MSC	2,480	52.0	52.0
NYK	2,480	52.0(O)	52.0(E)
APL	2,480	52.0	0.0
CMA-CGM/CSCL/CCNI	2,516	52.0	0.0
CSAV	2,599	23.1	0.0
APL/Hamburg Sud	2,480	0.0	52.0

Fuente: Estimación del Equipo de Estudio de JICA

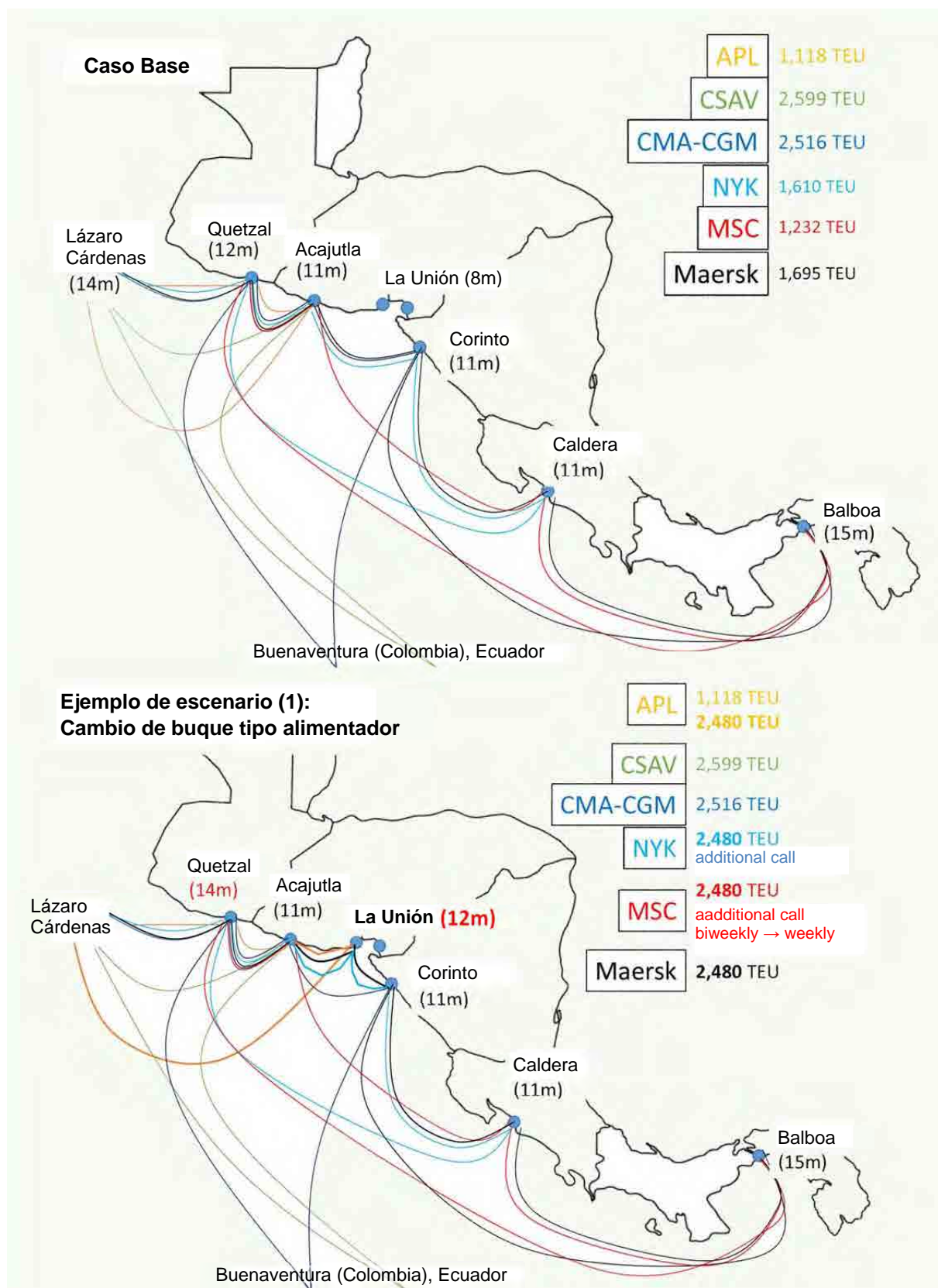


Figura 9.11 Base y caso ejemplar de la red de transporte marítimo (solamente los servicios de escala en los puertos de Acajutla y La Unión)

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 cálculo 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 no demasiado pequeño o 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 2020 fueron seleccionados como “escenarios factibles” los cuales se consideran posibles de realizar, 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 9.12 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 se observa en la Figura 9.13 en el Puerto de La Unión con la misma cantidad mostrada en el año 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 indicadas en las ecuaciones (D.8') y (D.9') en el apartado 9.2.2 (2)) parece ser muy eficaz en el modelo de cálculo en 2030.

La Tabla 9.14 muestra los ejemplos de las zonas alejadas de los puertos salvadoreños estimados por el modelo. El rendimiento de la cantidad de contenedores de carga para cada ejemplo se muestra con el nombre del escenario (“S20-2-4 (11 m)” y “S30-5-5 (14 m)”) en las Figuras 9.12 y 9.13, respectivamente. Se observa que la zona de influencia (hinterland) del Puerto de La Unión se extiende no sólo en El Salvador sino también en los países vecinos, especialmente, Honduras. Esta tendencia aparece más notable en los contenedores importados. También, cuanto mayor sea la profundidad del canal en el Puerto de La Unión, el puerto parece ser más atractivo para la carga externa. En realidad, se estima que el 10,6% de los contenedores importados del norte de Honduras y el 15,6% de aquellos del sur de Honduras pasará desplazará al puerto salvadoreño (es decir, el Puerto de Acajutla, en este caso) en el año 2010 según nuestro cálculo (que se pueden deducir de los resultados que se muestran en la Tabla 8.43 del apartado 8.8.3(2)). Así, el porcentaje de puertos salvadoreños (Acajutla + La Unión) de Honduras del Norte y Sur será del 12,9% y 21,8%, respectivamente, en S20-2-4 (11 m) y del 20,3% y 26,1% en S30-5-5 (14 m).

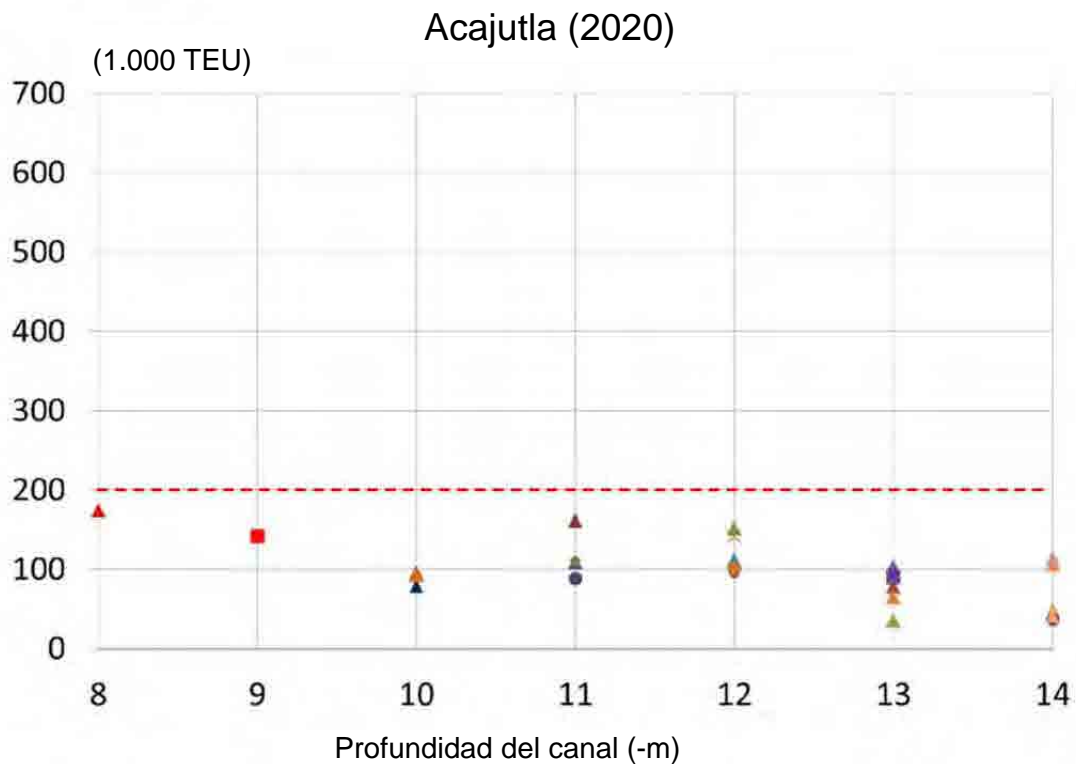
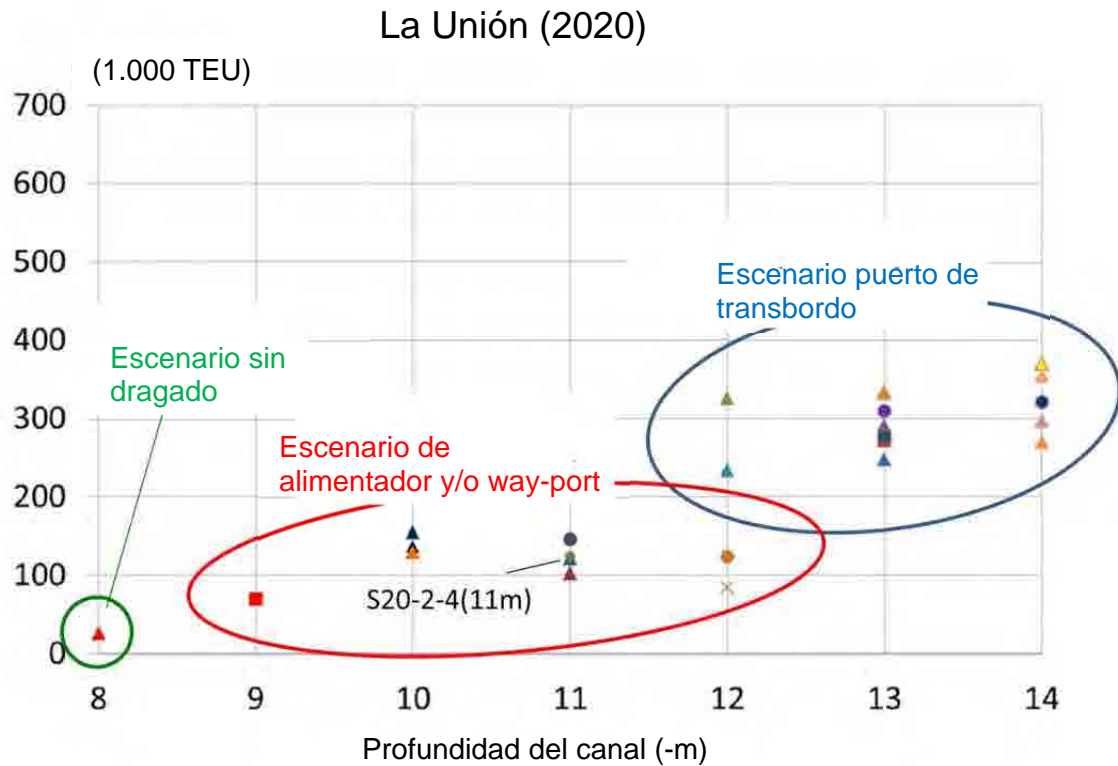


Figura 9.12 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2020

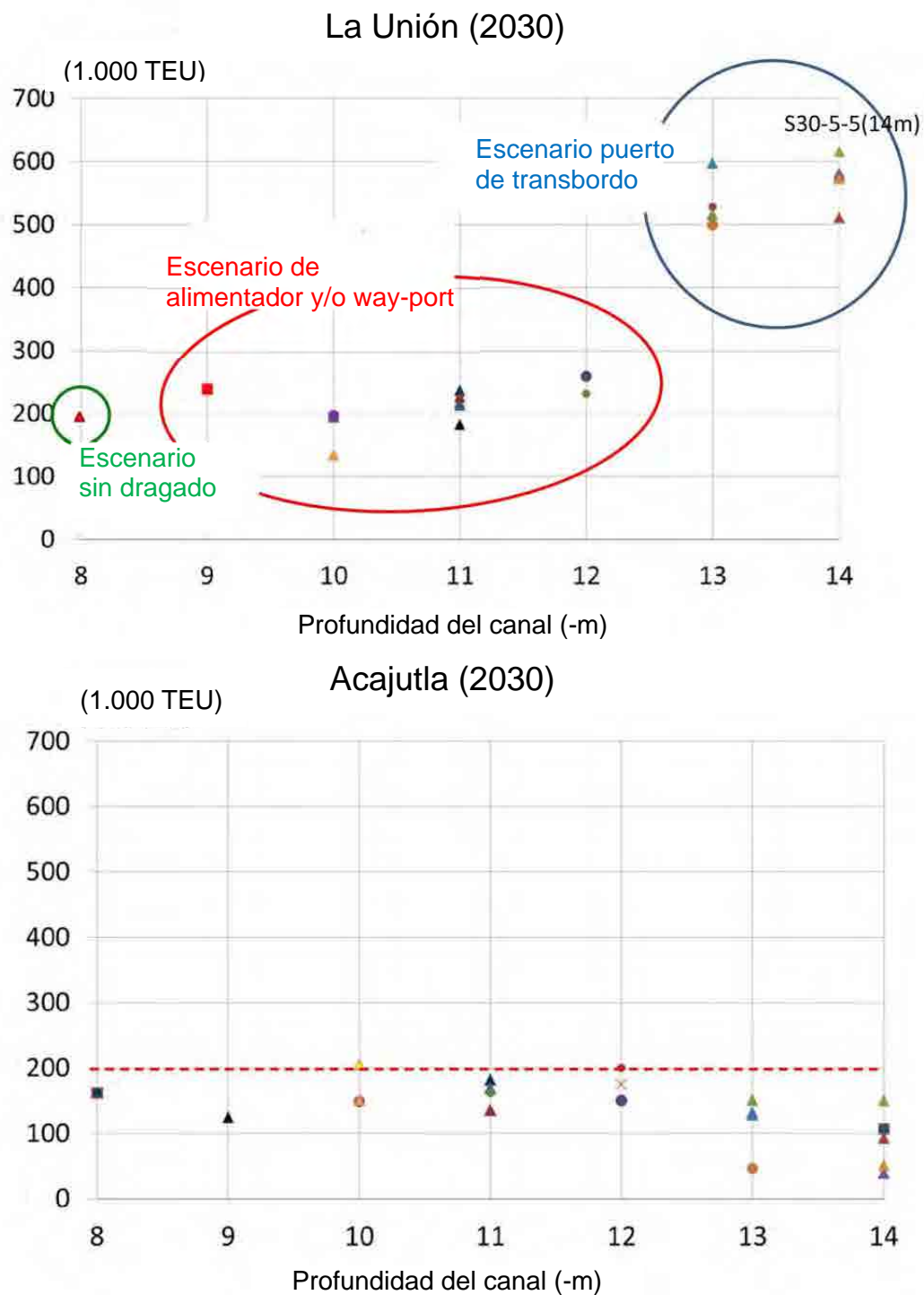


Figura 9.13 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2030

Tabla 9.14 Ejemplo de distribución de la zona de influencia de los puertos salvadoreños estimada a partir del modelo

- Escenario S20-2-4 (11 m) con -11 m de profundidad del canal en el año 2020

	Exportación				Importación			
	Acajutla		La Unión		Acajutla		La Unión	
	TEU	Porcentaje	TEU	Porcentaje	TEU	Porcentaje	TEU	Porcentaje
Guatemala	13,573	28.3%	510	2.3%	4,717	9.5%	1,639	1.7%
El Salvador Oeste	23,658	49.4%	14,991	68.1%	30,322	60.9%	55,510	56.4%
El Salvador Este	469	1.0%	2,764	12.5%	1,386	2.8%	4,986	5.1%
Honduras Norte	6,104	12.7%	1,769	8.0%	9,386	18.8%	20,580	20.9%
Honduras Sur	3,280	6.8%	1,563	7.1%	3,997	8.0%	14,896	15.1%
Nicaragua	819	1.7%	431	2.0%	1	0.0%	799	0.8%
Transbordo	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Total	47,904	100.0%	22,029	100.0%	49,809	100.0%	98,411	100.0%

- Escenario S30-5-5 (14 m) con -14 m de profundidad del canal en el año 2030

	Exportación				Importación			
	Acajutla		La Unión		Acajutla		La Unión	
	TEU	Porcentaje	TEU	Porcentaje	TEU	Porcentaje	TEU	Porcentaje
Guatemala	2,607	10.4%	14,717	5.5%	299	2.0%	23,430	6.7%
El Salvador Oeste	20,517	81.8%	199,448	74.5%	12,912	88.2%	214,042	61.5%
El Salvador Este	106	0.4%	14,243	5.3%	395	2.7%	15,884	4.6%
Honduras Norte	1,337	5.3%	12,696	4.7%	640	4.4%	46,765	13.4%
Honduras Sur	473	1.9%	9,229	3.4%	386	2.6%	25,813	7.4%
Nicaragua	40	0.2%	5,791	2.2%	0	0.0%	10,589	3.0%
Transbordo	0	0.0%	11,628	4.3%	0	0.0%	11,628	3.3%
Total	25,080	100.0%	267,752	100.0%	14,632	100.0%	348,151	100.0%

(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) indicado en la Tabla 8.39 del Capítulo 8.

En la Figura 9.14 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 9.12 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 9.15 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 9.13 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.

En la Tabla 9.15 se presentan algunos ejemplos de distribución de la zona de influencia del Puerto de La Unión en el caso de aumentar la tarifa. El rendimiento de carga de contenedores en dicho Puerto para cada uno de los escenarios, es menor que antes de aumentar la tarifa, que aparece en la Tabla 9.14 por varios miles de TEUs.

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 9.16 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 (coeficiente de transporte bajo control aduanero, α , en las ecuaciones (14) y (15) indicadas en el apartado 8.6.5, es de 0,3 tal como se calculó en el apartado 8.8.2), el cambio en el rendimiento de carga de contenedores en el Puerto de La Unión después de aumentar las tarifas es muy reducido, como se puede observar en la Tabla 9.15. Por otro lado, el efecto del aumento de la tarifa es más importante cuando todos los obstáculos hayan sido eliminados en la frontera nacional (es decir, cuando α es 0).

En la Tabla 9.16 se hace una comparación de la distribución de la zona de influencia del Puerto de La Unión, después de aumentar la tarifa en ambos casos de la barrera fronteriza en el Escenario S30-5-5 (14 m) con una profundidad de canal de -14 m para el año 2030. Se observa que la disminución de la carga salvadoreña por el cambio a otros puertos da el mayor impacto de la eliminación de la barrera fronteriza.

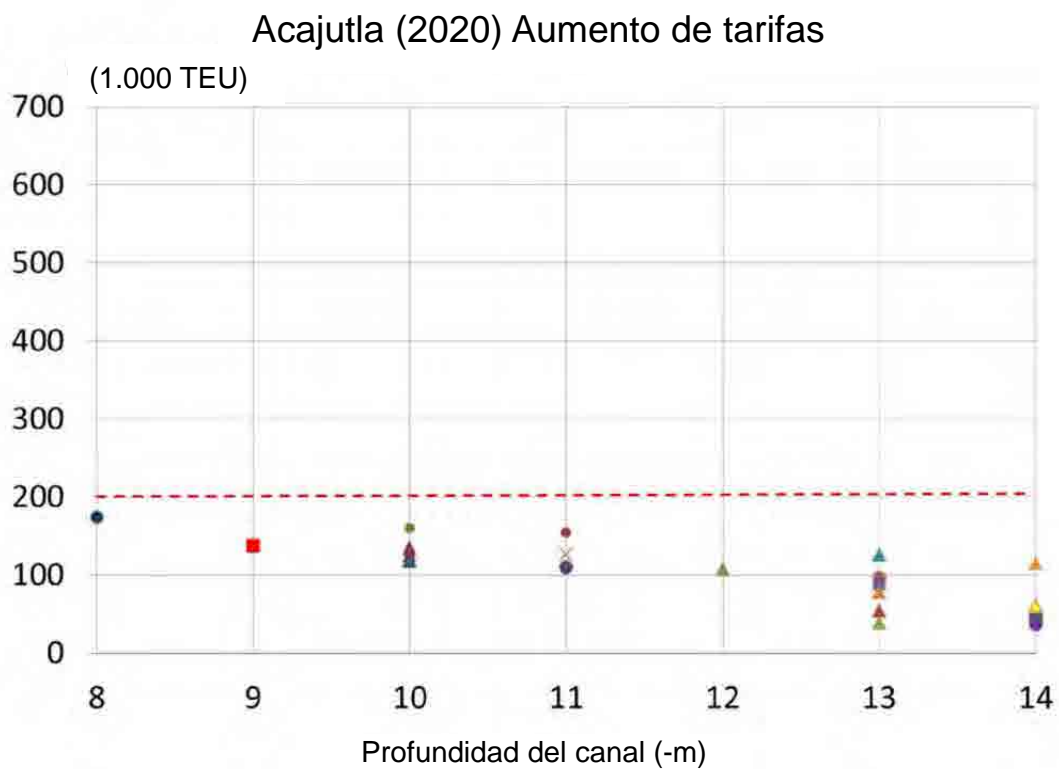
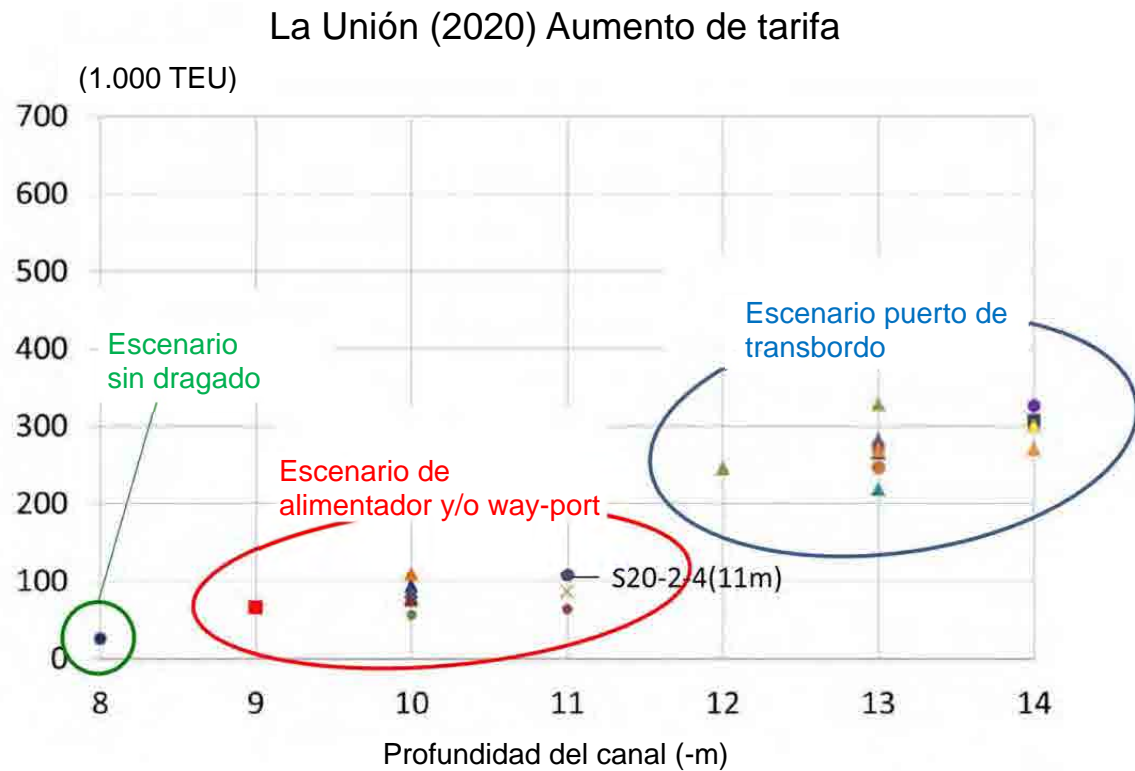


Figura 9.14 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2020 (en el caso aumentar la tarifa en el Puerto de La Unión)

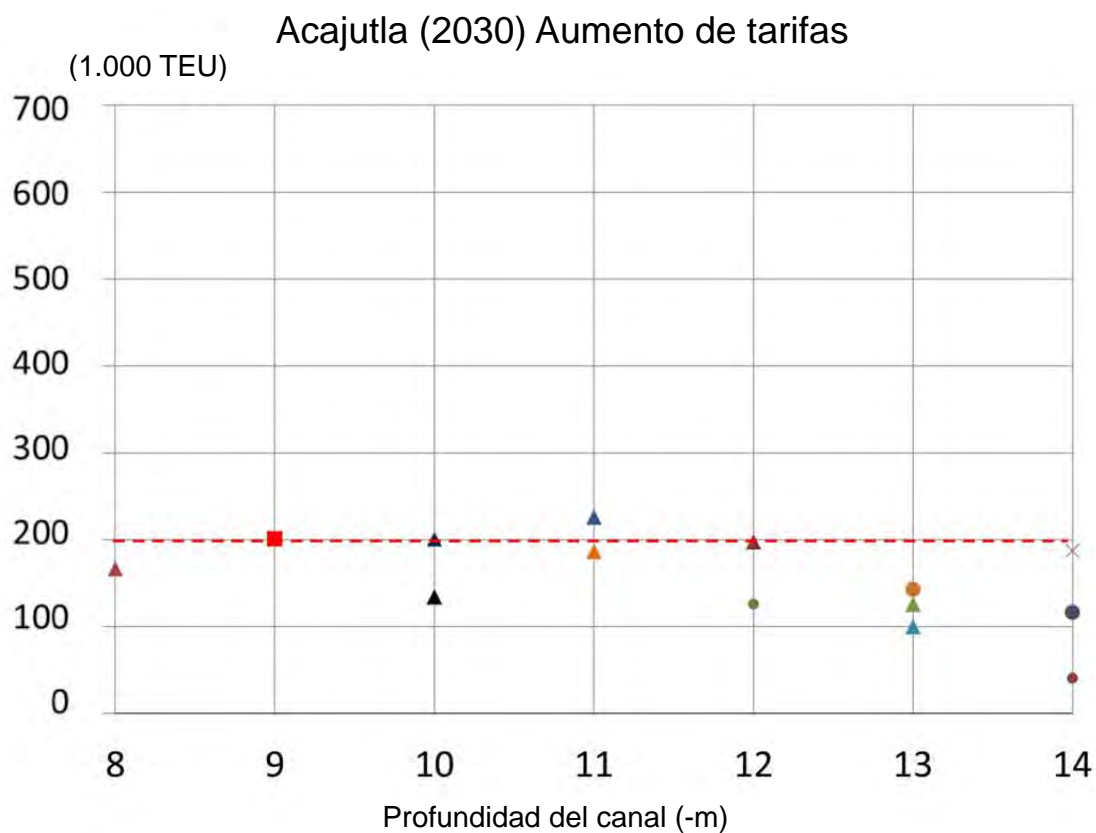
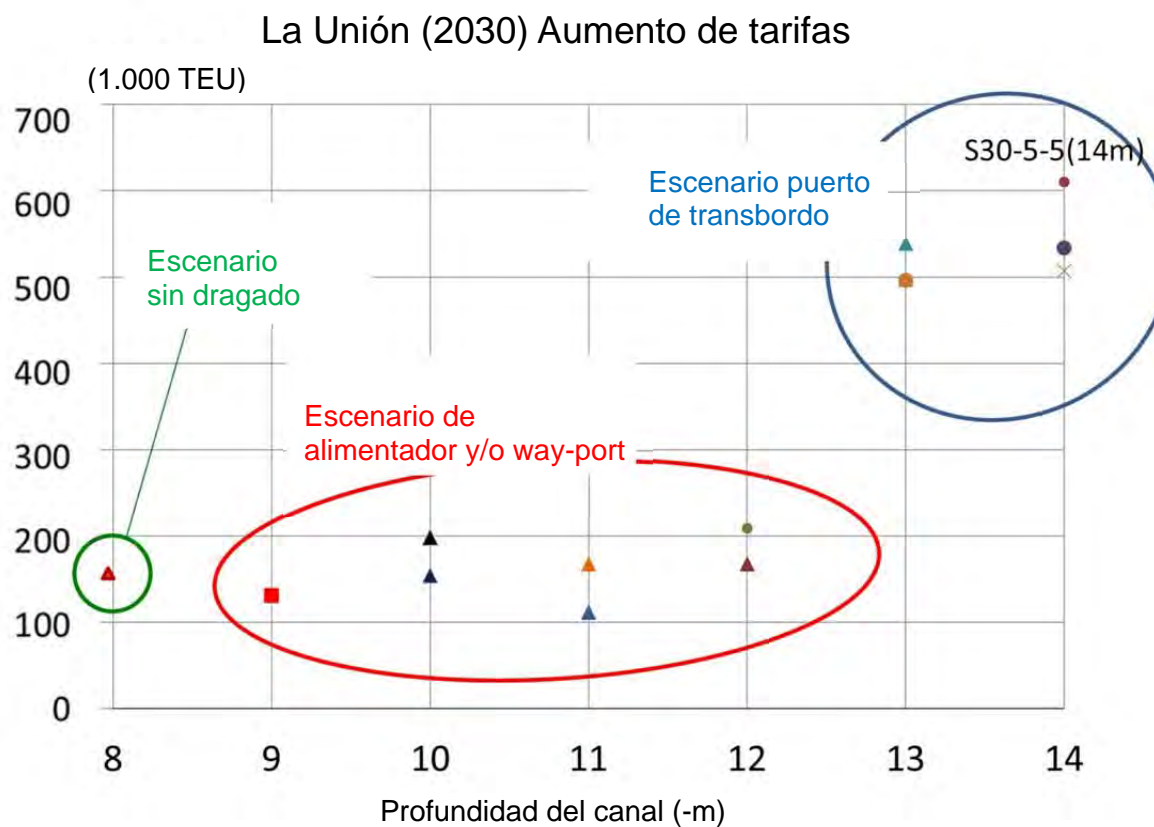


Figura 9.15 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2030
(en el caso de aumentar la tarifa en el Puerto de La Unión)

Tabla 9.15 Ejemplo de distribución de la zona de influencia del Puerto de La Unión estimada a partir del modelo (en el caso del aumentar tarifas)

	Escenario S20-2-4 (11 m) con -11 m De profundidad del canal en 2020				Escenario S30-5 -5 (14 m) con -14 m de profundidad del canal en el año 2030			
	Exportación		Importación		Exportación		Importación	
	TEU	Porcentaje	TEU	Porcentaje	TEU	Porcentaje	TEU	Porcentaje
Guatemala	480	2.9%	1,465	1.6%	15,775	5.9%	21,090	6.1%
El Salvador Oeste	11,101	68.2%	43,329	47.0%	193,724	72.7%	209,265	60.9%
El Salvador Este	1,471	9.0%	5,262	5.7%	14,048	5.3%	16,021	4.7%
Honduras Norte	1,380	8.5%	22,650	24.6%	12,346	4.6%	47,072	13.7%
Honduras Sur	1,417	8.7%	16,458	17.9%	11,422	4.3%	26,552	7.7%
Nicaragua	427	2.6%	2,990	3.2%	6,325	2.4%	10,493	3.1%
Transbordo	0	0.0%	0	0.0%	12,873	4.8%	12,873	3.7%
Total	16,277	100.0%	92,154	100.0%	266,513	100.0%	343,366	100.0%

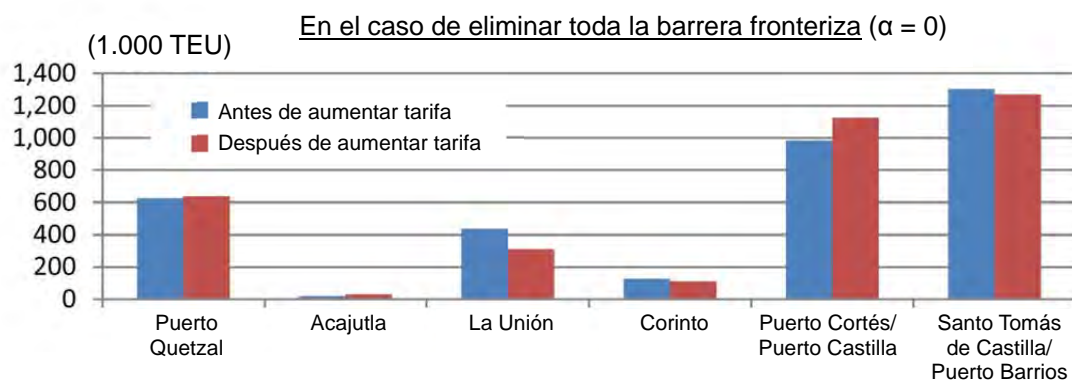
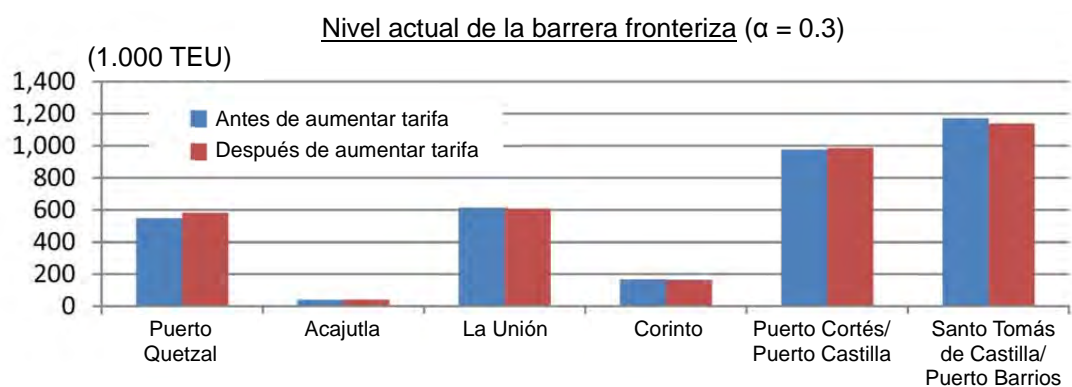


Figura 9.16 Diferencia del impacto del aumento de la tarifa sobre el rendimiento actual de la carga de contenedores: con la barrera fronteriza (arriba) y sin ninguna barrera fronteriza (abajo)
(En el escenario S30-5-5 (14 m) con -14 m de profundidad del canal en el año 2030)

Tabla 9.16 Ejemplo de la distribución de la zona de influencia del Puerto de La Unión, después de aumentar la tarifa (en el Escenario S30-5-5 (14 m) con una profundidad de canal de -14 m en el año 2030)

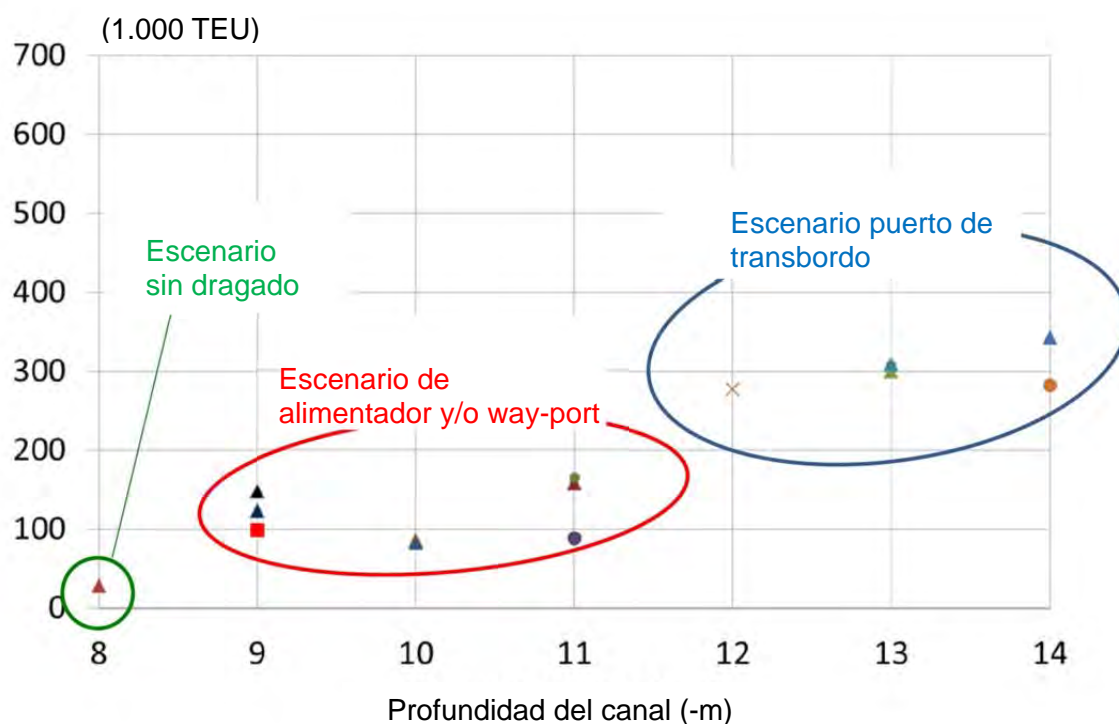
	Nivel actual en la barrera fronteriza ($\alpha = 0.3$)*				En el caso de eliminar toda barrera fronteriza ($\alpha = 0$)			
	Exportación		Importación		Exportación		Importación	
	TEU		TEU		TEU		TEU	
Guatemala	15,775	5.9%	21,090	6.1%	18,423	36.4%	27,228	10.4%
El Salvador Oeste	193,724	72.7%	209,265	60.9%	10,058	19.9%	126,938	48.7%
El Salvador Este	14,048	5.3%	16,021	4.7%	1,634	3.2%	12,202	4.7%
Honduras Norte	12,346	4.6%	47,072	13.7%	8,574	16.9%	39,802	15.3%
Honduras Sur	11,422	4.3%	26,552	7.7%	5,025	9.9%	23,495	9.0%
Nicaragua	6,325	2.4%	10,493	3.1%	2,755	5.4%	26,976	10.3%
Transbordo	12,873	4.8%	12,873	3.7%	4,167	8.2%	4,167	1.6%
Total	266,513	100.0%	343,366	100.0%	50,636	100.0%	260,808	100.0%

2) Desarrollo regional en el este de El Salvador

El plan de desarrollo del Puerto de La Unión fue integrado con el plan de desarrollo regional de la zona de influencia en la zona oriental de El Salvador. Reflejando esto, se realizó una simulación cambiando el equilibrio de la carga procedida de/destinado 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%, como se ha señalado en el apartado 8.7.1 (2) 1). En esta simulación, estos porcentajes fueron cambiados a 70% y 30% (en 2020) considerando el desarrollo regional de la región oriental. Cabe recordar que la cantidad total de la carga OD no ha sido cambiada del modelo original.

En la Figura 9.17 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 9.12 (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.

La Unión (2020) Desarrollo de la región oriental de El Salvador



Acajutla (2020) Desarrollo de la región oriental de El Salvador

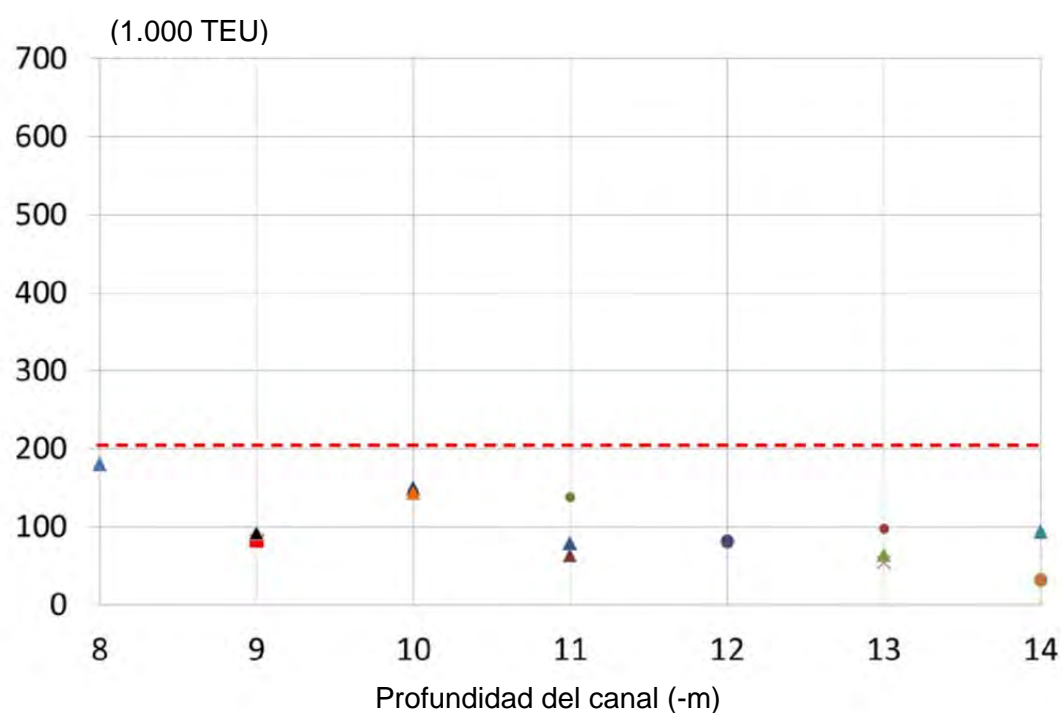


Figura 9.17 Rendimiento de carga de contenedores para cada escenario factible en el Puerto de La Unión (arriba) y Acajutla (abajo) en el año 2020 (considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador)

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 9.17). Las tarifas aplicadas a los buques y contenedores fueron calculadas sobre la base de la tarifa del Puerto de La Unión (véase la Tabla 9.18). 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 9.19).

Tabla 9.17 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 9.18)
	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 9.19)
Ingreso neto (sin incluir el costo de dragado)		Ingresos - Gastos

Tabla 9.18 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 practica	@(0,42\$ * GT) MAX 17.500GT
	Atrake o desatrake, 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 9.19 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 9.20.

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 9.21.

Tabla 9.20 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 9.17)	Véase las Tablas 9.17 y 9.18
	Ingresos procedentes de la operación de contenedores en el Puerto de Acajutla	Tarifas del Puerto de Acajutla (véase la Tabla 9.21)
Gastos (sin incluir el costo de dragado)		
	Costo de la operación de contenedores del Puerto de La Unión (Igual que en la Tabla 9.17)	Véase las Tablas 9.17 y 9.19
	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 9.21 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 9.22. 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 9.22 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

(1) Escala de los buques y el rendimiento de contenedores

Con el uso del modelo de cálculo, se estimaron el rendimiento de contenedores y el número y tamaño de los buques que hagan escala en 2020 y 2030 para profundidades de 9 m, 10 m, 11 m, 12 m, 13 m y 14 m del canal para varios escenarios. Los valores de cada profundidad se difieren según los escenarios. Véase las Tablas 9.23 y 9.24.

Tabla 9.23 Rendimiento estimado de contenedores y escalas de los buques en el Puerto de La Unión (2020)

Profundidad del canal	8 m (Escenario sin el dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Rendimiento del contenedor cargado (TEU)	25,988	47,672 - 69,260	77,856 - 155,553	102,213 - 147,520	83,736 - 267,052	248,009 - 333,982	269,752 - 369,987
Número de escalas	52	104	104 - 260	208 - 231	156 - 387	260 - 491	312 - 491
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	1,324	1,240 - 1,790	1,240 - 1,790	1,790 - 2,599	2,480 - 2,599	2,480 - 3,350	2,480 - 4,230

Tabla 9.24 Rendimiento estimado de contenedores y escalas de los buques en el Puerto de La Unión (2030)

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Rendimiento del contenedor cargado (TEU)	196,196	238,746	133,307 - 197,203	182,274 - 236,282	185,022 - 259,425	499,205 - 597,343	511,104 - 615,908
Número de escalas	208	208	156 - 208	104 - 283	156 - 179	364 - 387	283 - 416
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	1,240	1,240 - 1,790	1,790 - 2,330	1,790 - 2,599	2,480 - 3,350	2,480 - 3,350	2,480 - 4,230

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 9.2.2 (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.

(2) 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 9.19, de los ingresos calculados con base en la Tabla 9.18. Los valores calculados se difieren según los escenarios. Los ingresos netos estimados del Puerto de La Unión en varios escenarios en el año 2020 y 2030 se muestran en las Figuras 9.18 y 9.19.

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 9.25. 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.

Tabla 9.25 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

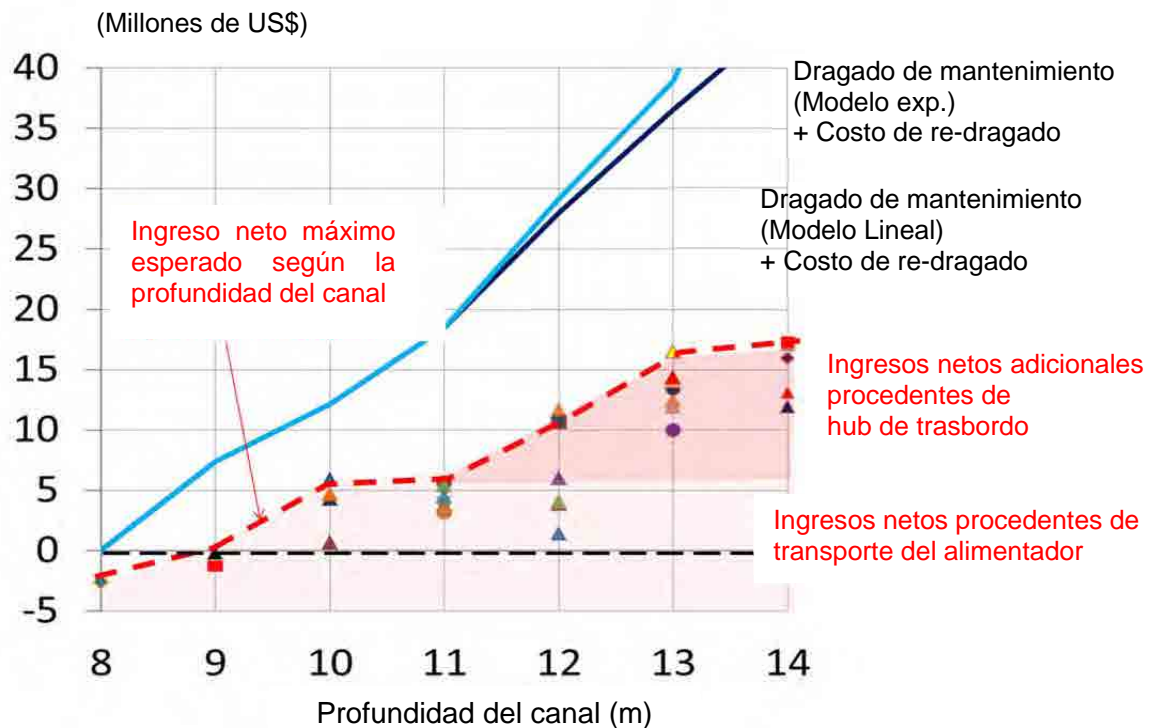


Figura 9.18 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)

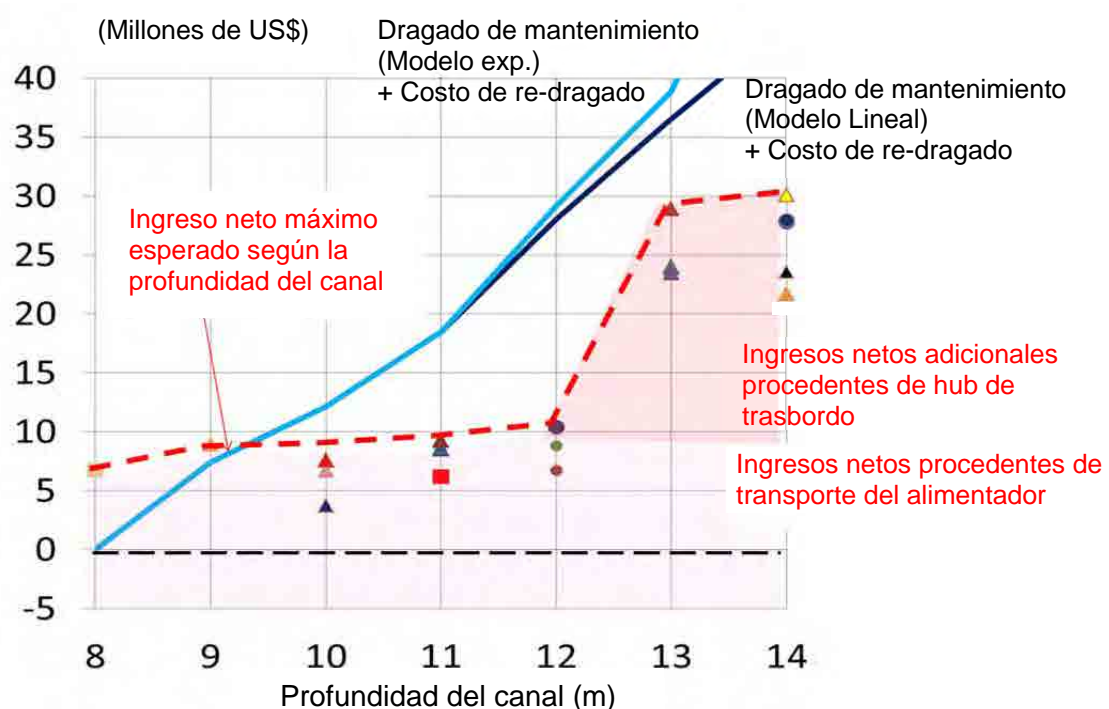


Figura 9.19 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2030)

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 9.26 y 9.27 se presentan los ingresos y gastos de tales casos.

Asimismo, en las Tablas 9.28 y 9.29 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 9.26 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión (2020)

Unidad: 1.000US\$

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 9.27 Ingreso neto máximo obtenido de la operación de contenedores en el Puerto de La Unión (2030)

Unidad: 1.000US\$

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 9.28 Diferencia máxima entre el ingreso neto y el costo de dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)

Unidad: 1.000US\$

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 9.29 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	1,493	-3,209	-9,277	-18,775	-9,984	-29,899
Modelo Lineal	6,696	1,493	-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) Escala de los buques y el rendimiento de contenedores

Con el uso del modelo de cálculo, se estimaron el rendimiento de contenedores y el número y tamaño de los buques que hacen escala en los puertos de Acajutla y La Unión en los años 2020 y 2030 para profundidades del canal de 9 m, 10 m, 11 m, 12 m, 13 m y 14 m bajo varios escenarios. Los valores de cada profundidad se difieren según los escenarios. Véase las Tablas 9.30 y 9.31.

Tabla 9.30 Rendimiento de contenedores y escalas de los buques en los puertos de Acajutla y La Unión (2020)

Profundidad del canal	8m (escenario sin dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Rendimiento del contenedor cargado (TEU)	200,339	203,865 - 211,191	222,496 - 234,029	230,321 - 263,520	221,592 - 372,170	350,258 - 403,650	358,727 - 417,360
Acajutla							
Número de escalas	309	283	127 - 283	156 - 179	156 - 335	52 - 179	52 - 387
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	2,480 - 2,599	1,240 - 2,599	1,240 - 2,599	1,790 - 2,599	2,480 - 2,599	2,480 - 2,599	2,480 - 2,599
La Unión							
Número de escalas	52	104	104 - 260	208 - 231	156 - 387	260 - 491	312 - 491
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	1,324	1,240	1,240 - 1,790	1,790 - 2,599	2,480 - 2,599	2,480 - 3,350	2,480 - 4,230

Tabla 9.31 Rendimiento de contenedores y escalas de los buques en los puertos de Acajutla y La Unión (2030)

Profundidad del canal	8 m (escenario sin dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Rendimiento del contenedor cargado (TEU)	357,840	363,740	338,388 - 348,653	347,689 - 388,357	385,549 - 434,240	631,469 - 679,670	632,247 - 679,733
Acajutla							
Número de escalas	179	179	179 - 231	156 - 335	208 - 231	156 - 179	127 - 260
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	1,240 - 2,599	1,240 - 2,599	1,790 - 2,599	1,790 - 2,599	2,480 - 2,599	2,480 - 2,599	2,480 - 2,599
La Unión							
Número de escalas	208	208	156 - 208	104 - 283	156 - 179	364 - 387	283 - 416
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	1,240	1,240	1,790 - 2,330	1,790 - 2,599	2,480 - 3,350	2,480 - 3,350	2,480 - 4,230

(2) Ingreso neto y el costo de dragado

Los ingresos netos estimados (sin incluir el costo de dragado) de los puertos Acajutla y La Unión en varios escenarios en los años 2020 y 2030 se presentan en la Figuras 9.20 y 9.21, respectivamente. También aparecen en estas figuras los costos de dragado según la profundidad del canal.

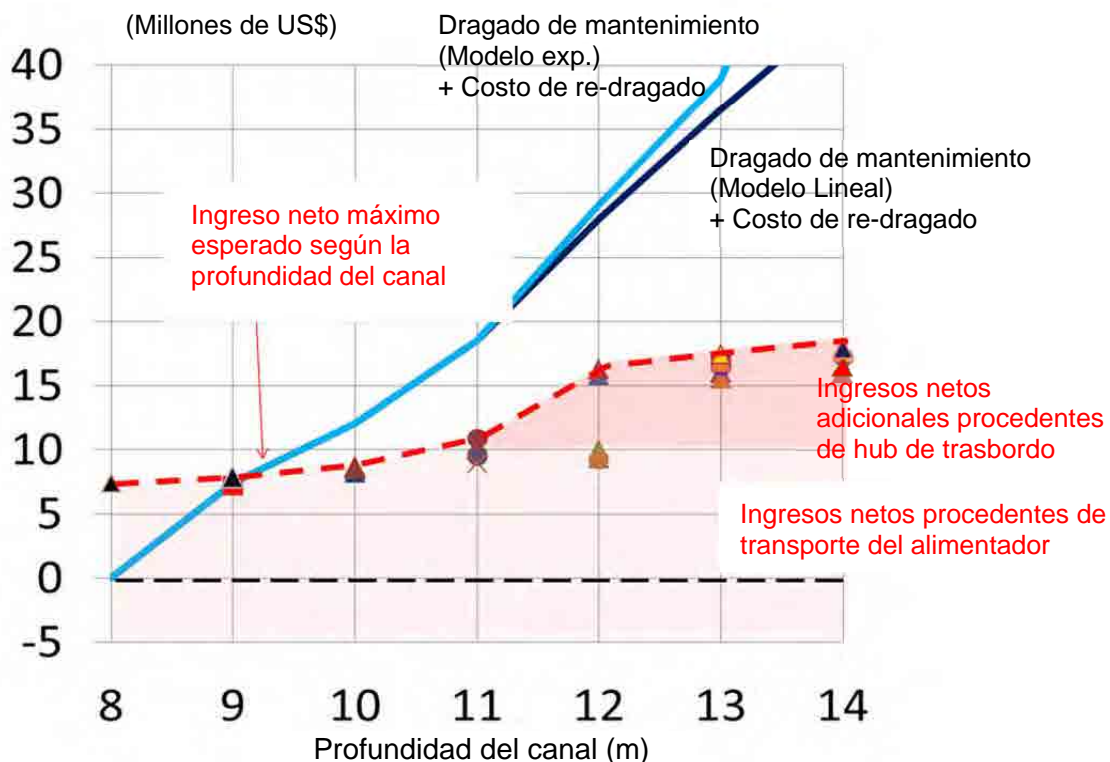


Figura 9.20 Ingreso neto estimado para el sector portuario salvadoreño (suma de los puertos de Acajutla y La Unión) y el costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)

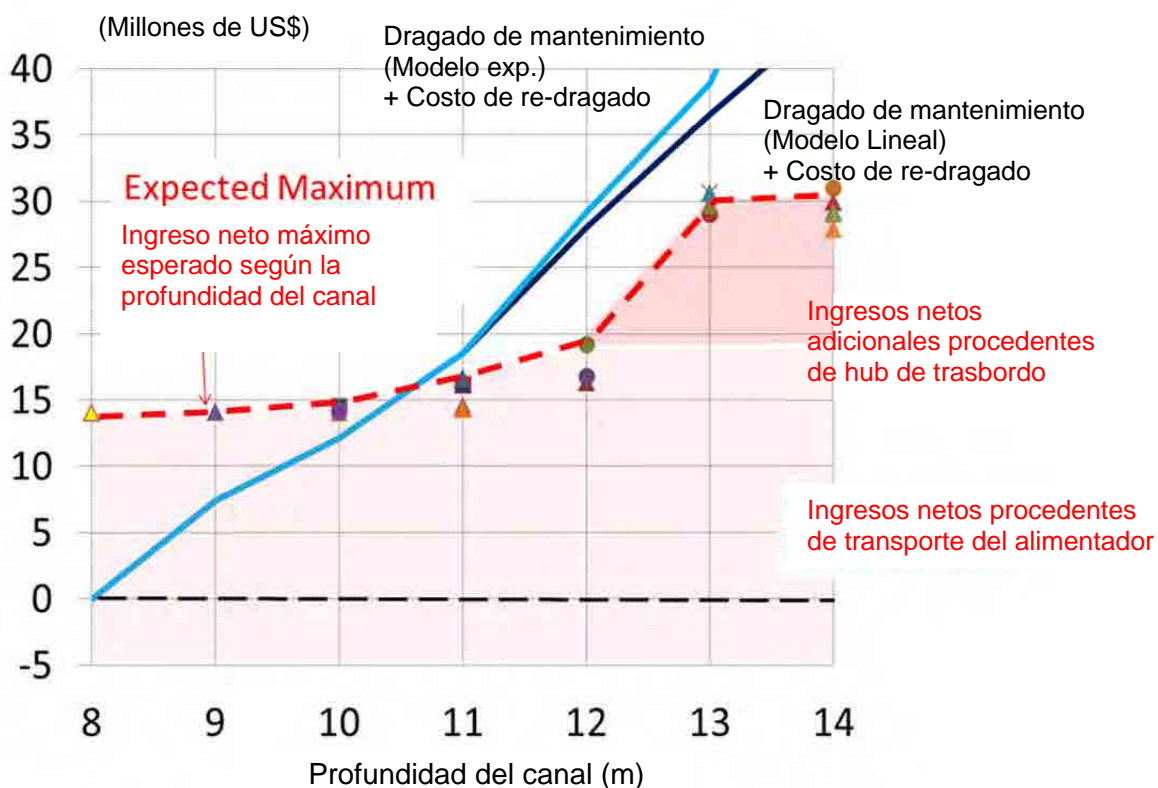


Figura 9.21 Ingreso neto estimado para el sector portuario salvadoreño (suma de los puertos de Acajutla y La Unión) y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)

En las Tablas 9.32 y 9.33 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 9.34 y 9.35 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.

Tabla 9.32 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 9.33 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 9.34 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 9.35 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. En la Figuras 9.22 y 9.23 se muestran estos valores para los años 2020 y 2030. En las mismas figuras se muestra también el respectivo costo de dragado.

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 9.36 y 9.37 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 9.38 y 9.39. 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.

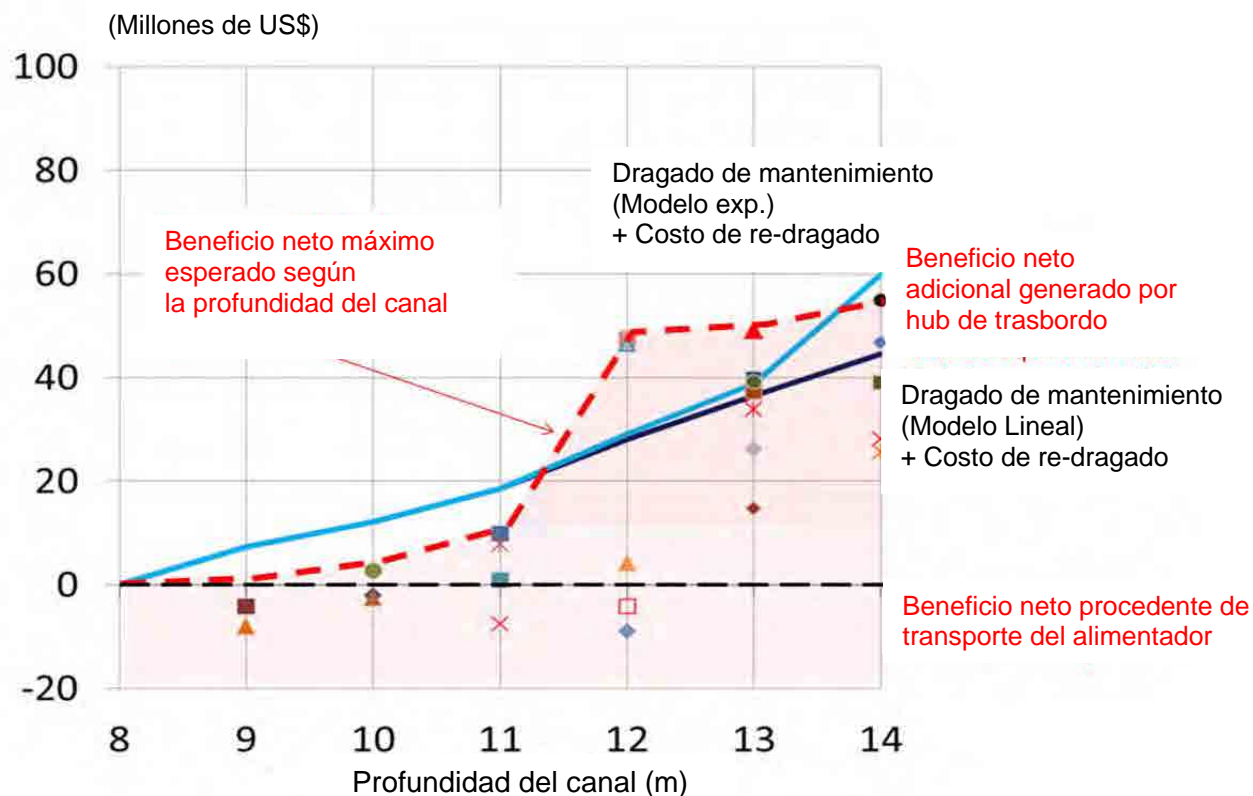


Figura 9.22 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña y el costo de dragado según profundidad del canal (2020)

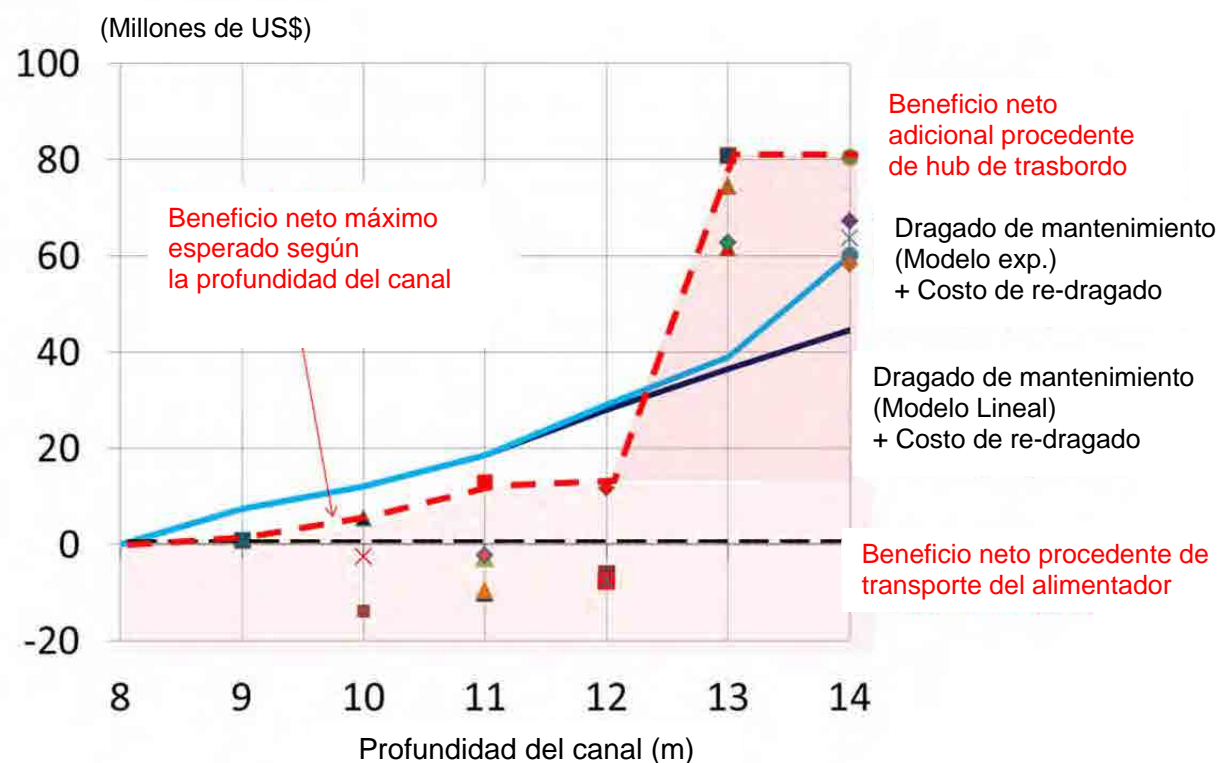


Figura 9.23 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña y el costo de dragado según profundidades del canal (2030)

Tabla 9.36 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 9.37 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 9.38 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 9.39 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal		9m	10m	11m	12m	13m	14m
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) Escala de los buques y el rendimiento de contenedores

Suponiendo que se va a aumentar las tarifas, se procedió a calcular el rendimiento de contenedores y el número y tamaño de los buques para los años 2020 y 2030 para las profundidades de 9 m, 10 m, 11 m, 12 m, 13 m y 14 m del canal utilizando el modelo de cálculo bajo varios escenarios. En la Tabla 9.40 se presentan las nuevas tarifas aplicadas en este cálculo. Los valores de cada profundidad difieren según el escenario factible, tal como se muestran en las Tablas 9.41 y 9.42, respectivamente.

Tabla 9.40 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)

Tabla 9.41 Rendimiento estimado de contenedores y escalas de los buques en el Puerto de La Unión en caso de aumentar las tarifas (2020)

Profundidad del canal	8 m (Escenario sin el dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Rendimiento del contenedor cargado (TEU)	26,327	63,061 - 66,674	56,303 - 110,065	64,449 - 108,433	245,674	218,596 - 329,133	270,486 - 326,779
Número de escalas	52	104 - 156	104 - 260	104 - 335	156 - 387	208 - 491	260 - 439
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	1,324	1,240	1,240 - 1,790	2,480	2,480 - 2,599	2,480 - 3,350	2,480 - 4,230

Tabla 9.42 Rendimiento estimado de contenedores y escalas de los buques en el Puerto de La Unión en caso de aumentar las tarifas (2030)

Profundidad del canal	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Rendimiento del contenedor cargado (TEU)	161,211	130,740	153,950 - 198,445	111,432 - 167,207	167,187 - 208,724	495,819 - 538,574	506,883 - 609,899
Número de escalas	208	156	156 - 208	156	156 - 208	364 - 387	283 - 416
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	1,240	1,240	1,790	1.790 - 2,480	2,480 - 3,350	2,480 - 3,350	3,350 - 4,230

(2) Ingreso neto y el costo de dragado

En las Figuras 9.24 y 9.25 se muestran el ingreso neto calculado del Puerto de La Unión bajo los escenarios factibles para los años 2020 y 2030.

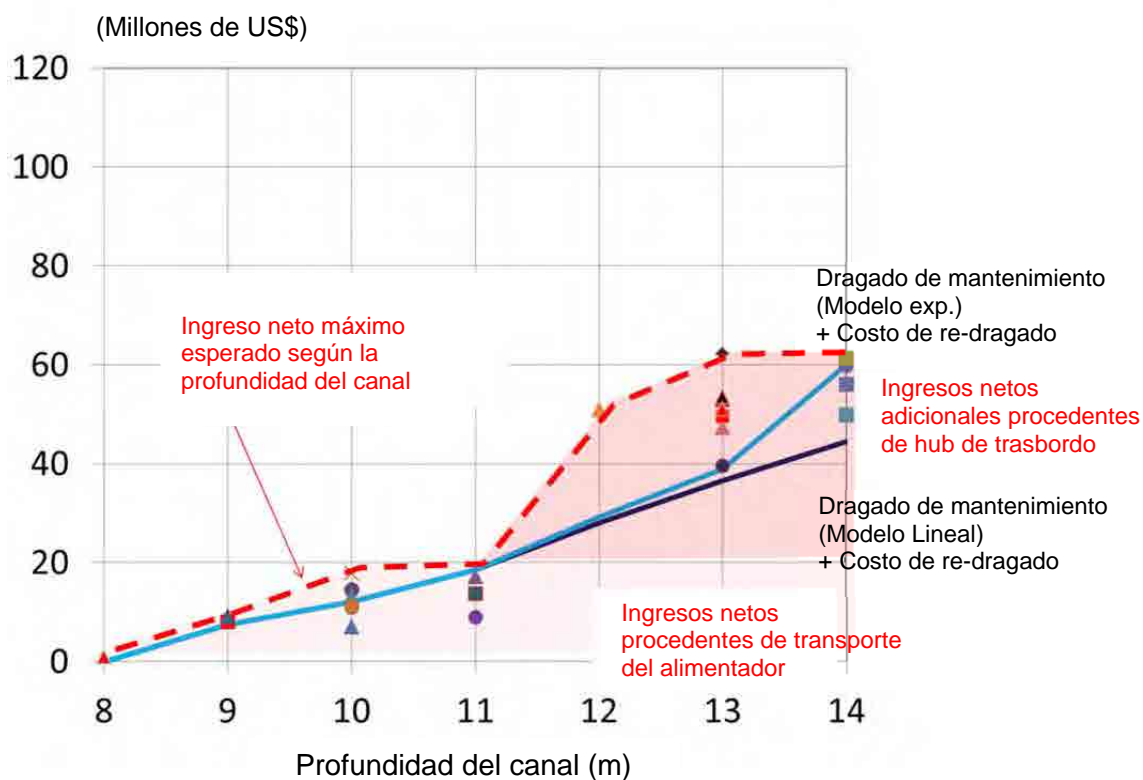


Figura 9.24 Ingreso neto estimado y costo del dragado según profundidad del canal en el Puerto de La Unión (2020)

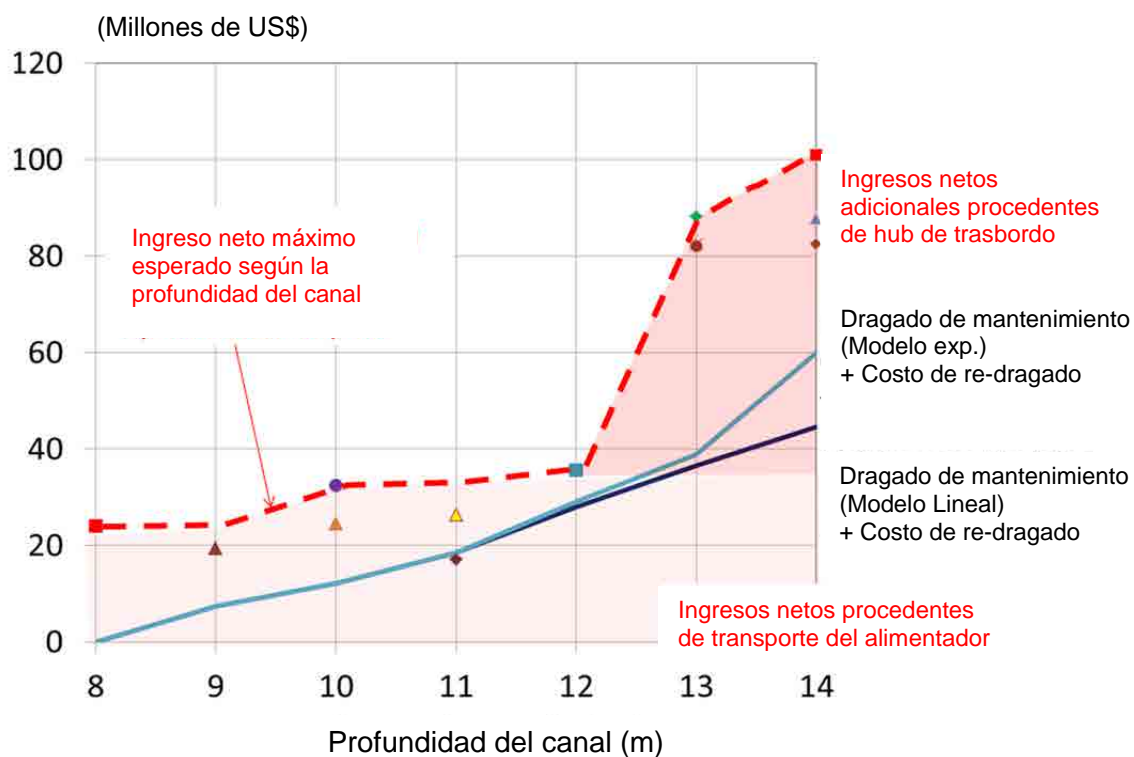


Figura 9.25 Ingreso neto estimado en caso de aumentar las tarifas y el costo del dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)

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 9.43 y 9.44 se presentan los ingresos y gastos de tales casos.

Asimismo, en las Tablas 9.45 y 9.46 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 9.43 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 9.44T 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 9.45 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 9.46 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) Escala de los buques y el rendimiento de contenedores

Con el uso del modelo de cálculo, se estimaron el rendimiento de contenedores y el número y tamaño de los buques que hacen escala en los puertos de Acajutla y La Unión en los años 2020 y 2030 para las profundidades del canal de 9 m, 10 m, 11 m, 12 m, 13 m y 14 m bajo los similares escenarios que el caso anterior al aumento de las tarifas. Los valores a cada profundidad difieren según el escenario factible, tal como se observan en las Tablas 9.47 y 9.48.

Tabla 9.47 Rendimiento de contenedores y escalas de los buques en los puertos de Acajutla y La Unión en caso de aumentar las tarifas en el Puerto de La Unión (2020)

Profundidad del canal	8 m (escenario sin dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Rendimiento del contenedor cargado (TEU)	200,339	180,013 - 204,248	204,698 - 230,637	212,745 - 218,567	353,177	330,497 - 371,854	349,676 - 385,857
Acajutla							
Número de escalas	309	231	231 - 335	231 - 283	156	52 - 335	52 - 283
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	2,480 - 2,599	1,240 - 2,599	1,240 - 2,599	2,480 - 2,599	2,480	2,480 - 2,599	2,480 - 2,599
La Unión							
Número de escalas	52	156	52 - 260	104 - 156	387	208 - 419	260 - 491
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	1,324	1,240	1,240 - 1,790	2,480	2,480 - 2,599	2,480 - 3,350	2,480 - 4,230

Tabla 9.48 Rendimiento de contenedores y escalas de los buques en los puertos de Acajutla y La Unión en caso de aumentar las tarifas en el Puerto de La Unión (2030)

Profundidad del canal	8 m (escenario sin dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Rendimiento del contenedor cargado (TEU)	327,526	331,613	333,037 - 354,348	337,107 - 353,452	334,515 - 364,547	622,336 - 638,615	649,649 - 694,005
Acajutla							
Número de escalas	179	231	179 - 231	335	179 - 335	156 - 179	127 - 260
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	1,240 - 2,599	1,240 - 2,599	2,480 - 2,599	1,790 - 2,599	2,480 - 2,599	2,480 - 2,599	2,480 - 2,599
La Unión							
Número de escalas	208	156	156 - 208	156	156 - 208	364 - 387	283 - 416
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	1,240	1,240	1,790	1,790 - 2,480	2,480 - 3,350	2,480 - 3,350	3,350 - 4,230

(2) Ingreso neto y el costo de dragado

En las Figuras 9.26 y 9.27 se muestran los ingresos netos estimados de los puertos Acajutla y La Unión bajo los escenarios factibles para los años 2020 y 2030. También aparecen en estas figuras los costos de dragado según la profundidad del canal.

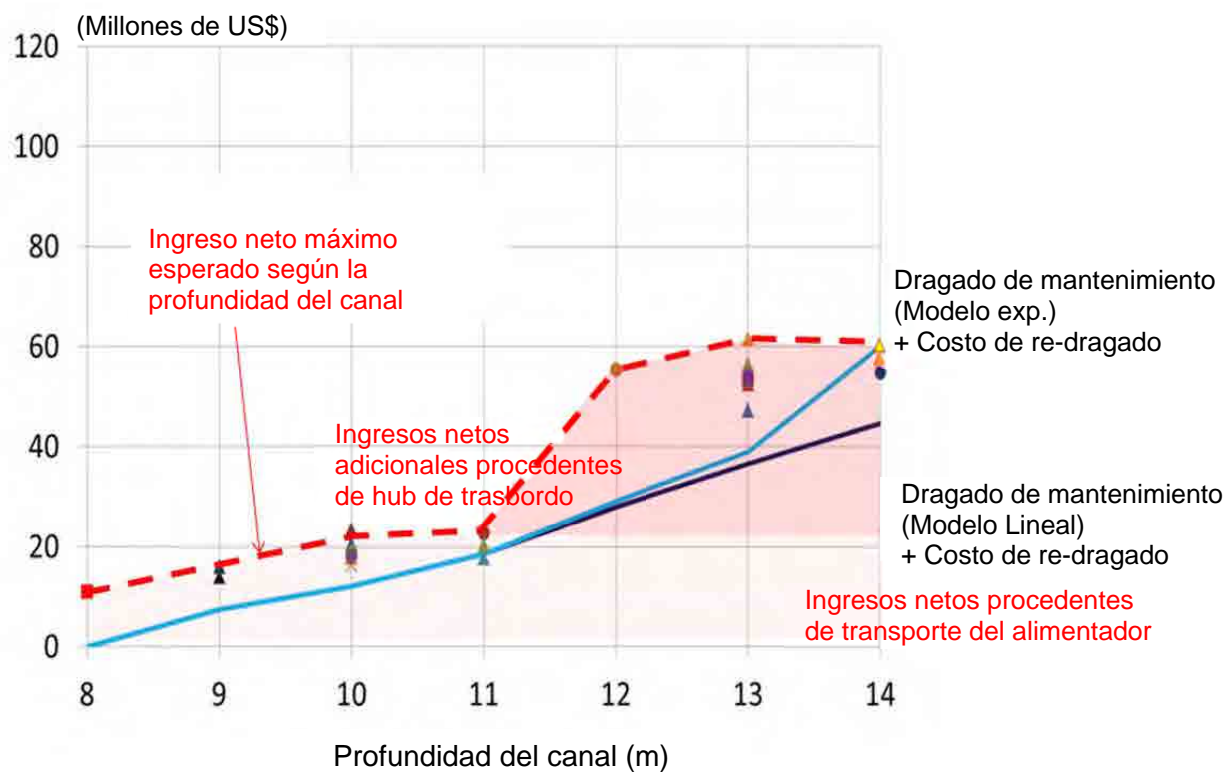


Figura 9.26 Ingreso neto estimado para el sector portuario salvadoreño (puertos de Acajutla + La Unión) en caso de aumentar las tarifas y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)

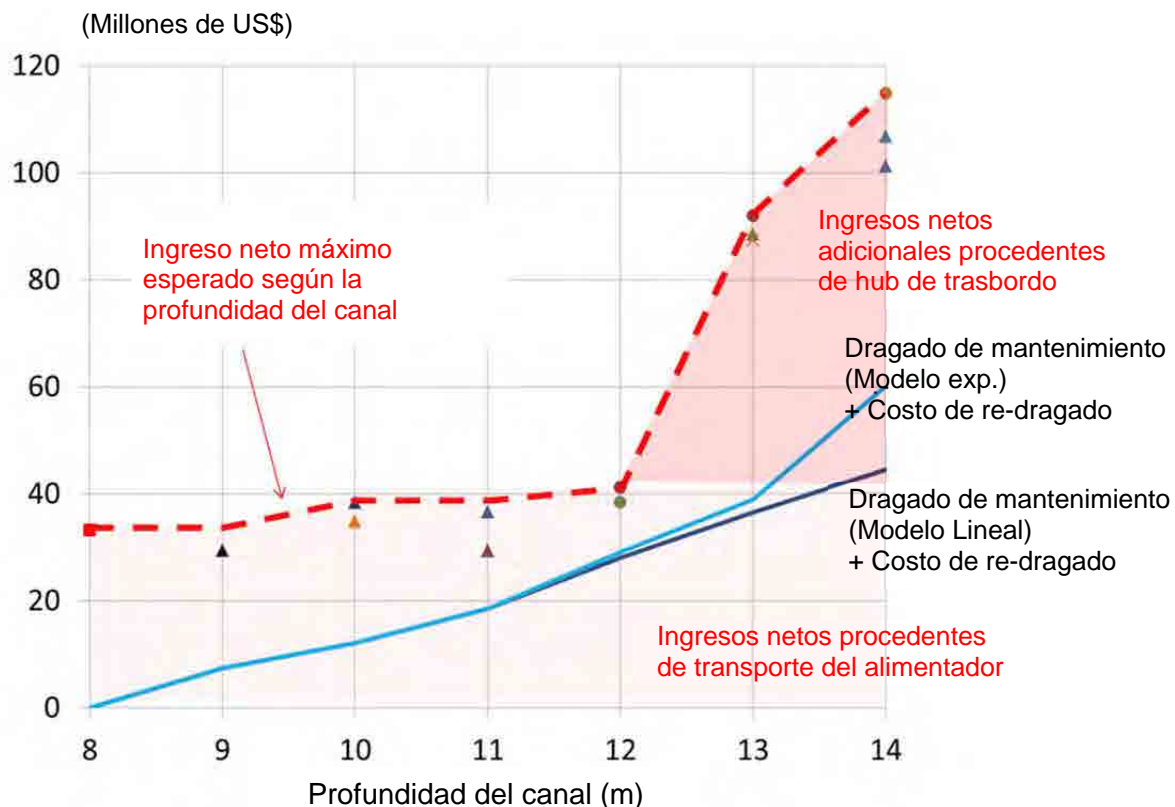


Figura 9.27 Ingreso neto estimado para el sector portuario salvadoreño (puertos de Acajutla + La Unión) en caso de aumentar las tarifas y el costo de dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2030)

En las Tablas 9.49 y 9.50 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).

Asimismo, en las Tablas 9.51 y 9.52 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 es de 12 m 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 9.49 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 9.50 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 9.51 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 9.52 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. En las Figuras 9.28 y 9.29 se muestran estos valores para los años 2020 y 2030, respectivamente. En las mismas figuras se muestra también el respectivo costo de dragado.

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 9.53 y 9.54 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 9.55 y 9.56. 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.

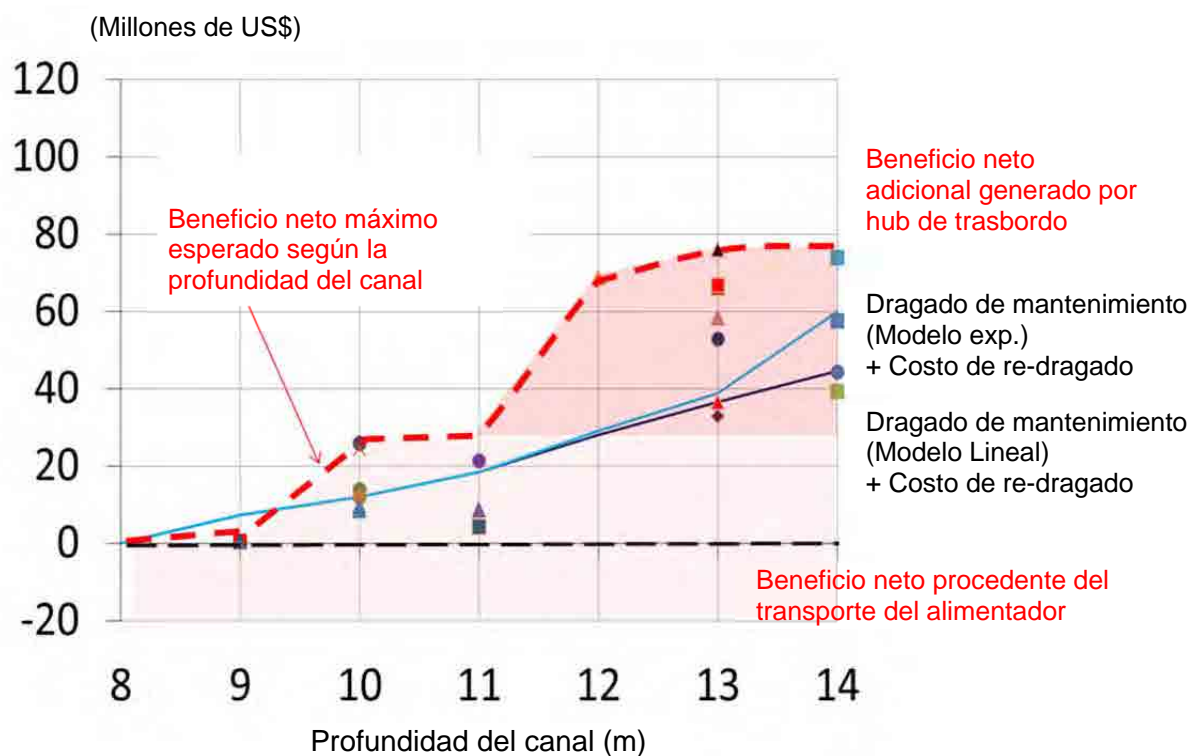


Figura 9.28 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña en caso de aumentar las tarifas, y el costo de dragado según profundidades del canal (2020)

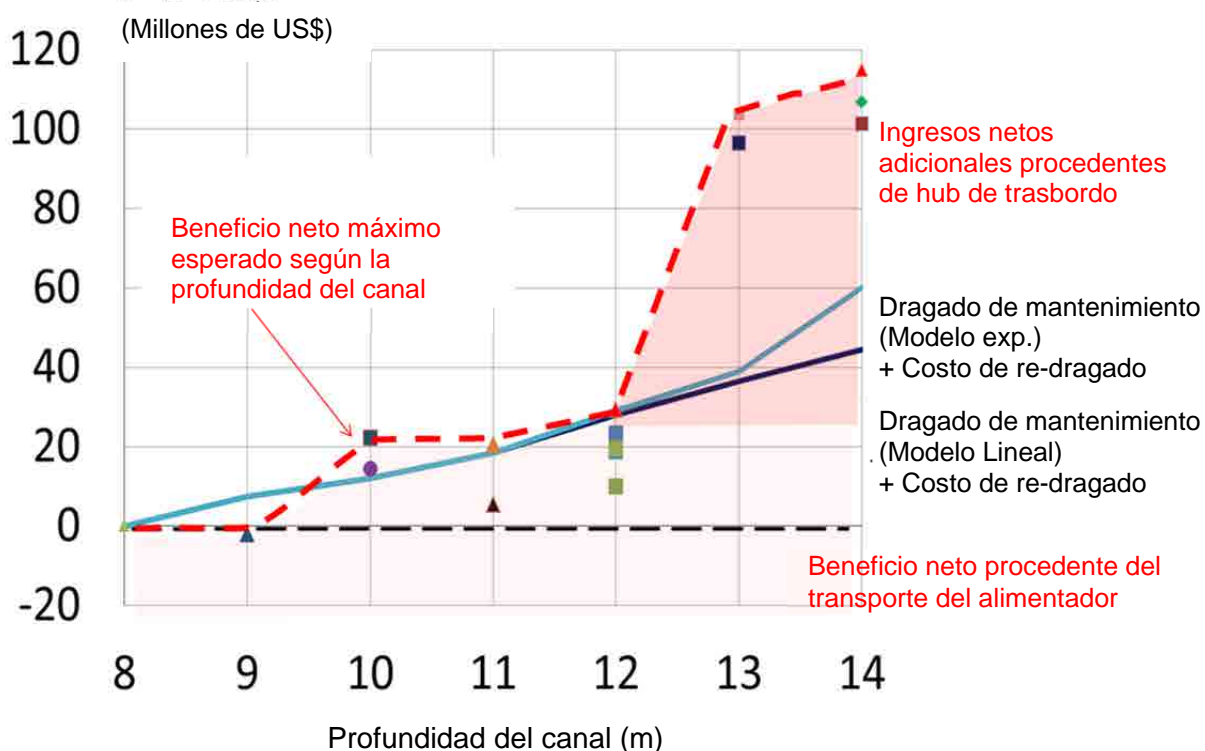


Figura 9.29 Beneficio neto estimado del proyecto de dragado para la economía salvadoreña en caso de aumentar las tarifas, y el costo de dragado según profundidades del canal (2030)

Tabla 9.53 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 9.54 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 9.55 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	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 9.56 Beneficio neto máximo del proyecto de dragado para la economía salvadoreña según profundidades del canal (2030)

Unidad: 000US\$

Profundidad del canal	9m	10m	11m	12m	13m	14m
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

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

(1) Escala de los buques y el rendimiento de contenedores

Con el uso del modelo de cálculo, se estimaron el rendimiento de contenedores y el número y tamaño de los buques que hacen escala en 2020 y 2030 para profundidades de 9 m, 10 m, 11 m, 12 m, 13 m y 14 m del canal para varios escenarios, considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador. Los valores a cada profundidad difieren según el escenario factible, tal como se observan en la Tabla 9.57. Cabe recordar que en esta simulación no se tomó en cuenta la tarifa en el Puerto de La Unión.

Tabla 9.57 Rendimiento estimado de contenedores y escalas de los buques en el Puerto de La Unión considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador (2020)

Profundidad del canal	8 m (escenario sin el dragado)	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
Rendimiento del contenedor cargado (TEU)	28,403	98,155 - 148,321	82,089 - 85,211	88,278 - 165,290	276,927	299,359 - 308,988	282,281 - 342,793
Número de escalas	52	104 - 156	104 - 260	104 - 335	156 - 387	208 - 491	260 - 439
Tamaño de los buques (Capacidad en TEU)	1,324	1,240	1,790	1,790 - 2,480	2,480 - 2,599	2,480 - 3,350	2,480 - 4,230

(2) Ingreso neto y el costo de dragado

En la Figura 9.30 se muestra los ingresos netos estimados del Puerto de La Unión bajo los escenarios factibles para el año 2020.

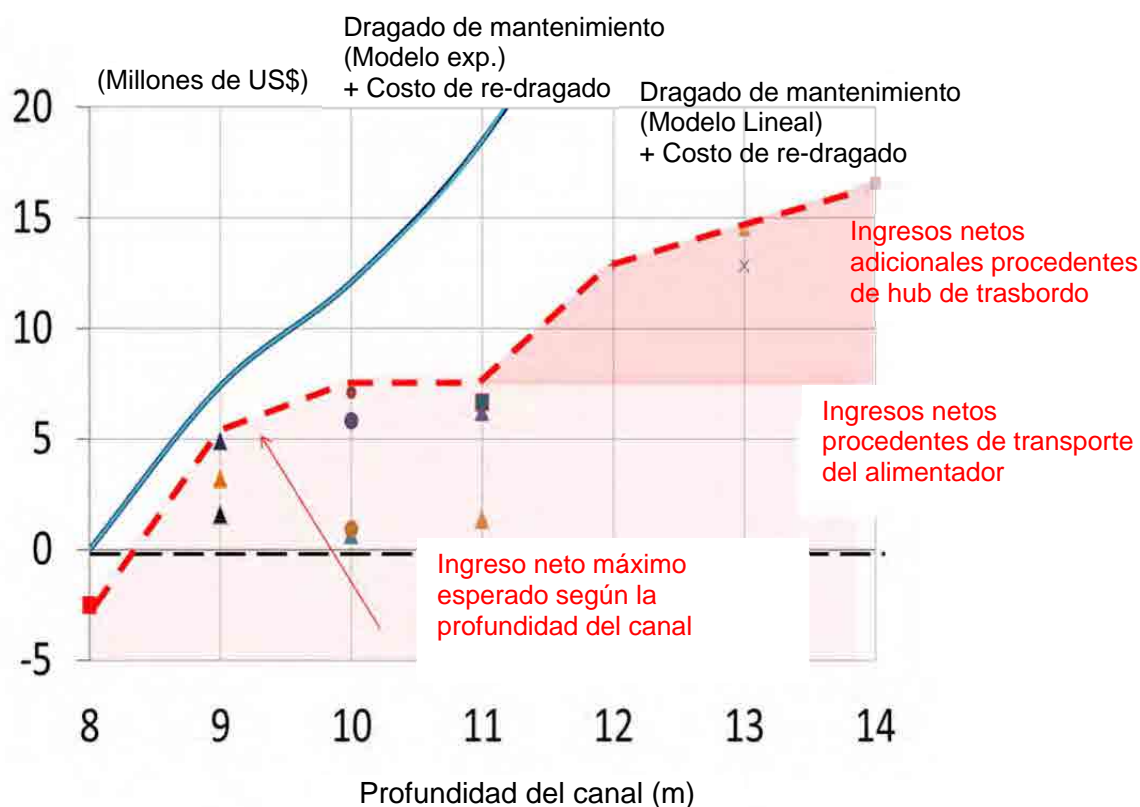


Figura 9.30 Ingreso neto estimado considerando el desarrollo de la región oriental de El Salvador, y el costo del dragado según profundidades del canal en el Puerto de La Unión (2020)

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 la Tabla 9.58 se presentan los ingresos y gastos de tales casos.

Asimismo, en la Tabla 9.59 se presenta la diferencia máxima entre el ingreso neto y costo de dragado en 2020 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. Asimismo, la profundidad del canal de 8 m arroja el valor más alto en ambas funciones del costo de dragado para el año 2020.

Tabla 9.58 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 9.59 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, hay que tomar en cuenta que esto puede debilitar la competitividad del puerto contra los puertos vecinos resultando en una disminución de la cantidad de contenedores a manipular. 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). Sin embargo, hay que tener en cuenta es que el aumento de la profundidad del canal mediante el dragado, por sí solo no garantizaría que el puerto se convierta un hub de trasbordo. Para que esto se haga realidad, es necesario invertir grandes esfuerzos para atraer a los buques de servicio regular.

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 6. 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 ambos modelos para predecir el cambio de profundidad de agua después del dragado inicial y para ambos casos del dragado en base a un contrato y el 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 a lograr (-m) \ Profundidad actual (-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 a lograr (-m) Profundidad actual (-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 como se indica en la Tabla 10.4. El costo es diferente entre los modelos que predicen el cambio de profundidad de agua después del dragado inicial porque el monto de tierra que debe ser dragado varía cada año.

Tabla 10.4 Costo para adquisición de la draga (US\$) por la profundidad a lograr para ambos modelos de predecir el cambio de profundidad de agua después del dragado inicial

Profundidad a lograr (-m)	Modelo exponencial modificado	Modelo lineal
8	0	0
9	15,800,000	15,800,000
10	20,200,000	20,200,000
11	33,400,000	33,400,000
12	51,000,000	51,000,000
13	81,800,000	73,000,000
14	139,000,000	95,000,000

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 cada modelo que predice el cambio de la profundidad de agua luego del dragado inicial. La diferencia de costo de movilización entre tipos y modelos en la misma profundidad a lograr se debe principalmente al diferente tamaño de draga (para más detalles, véase el Capítulo 5).

Tabla 10.5 Costo de movilización para draga de mantenimiento (US\$) estimado por cada profundidad a lograr

Profundidad a lograr (-m)	Modelo exponencial modificado	Modelo lineal
8	0	0
9	450,006	450,006
10	552,061	552,061
11	872,625	872,625
12	1,266,447	1,266,447
13	1,851,270	1,675,953
14	3,062,827	2,071,064

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 empiece. Los costos de dragado de mantenimiento anual se resumen en la Tabla 10.6 para ambos casos del dragado en base a un contrato y el dragado propio, y ambos modelos que predicen el cambio de profundidad de agua después del dragado inicial. 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 previamente en el Capítulo 5. Igualmente, el costo estimado desde el modelo exponencial modificado es usualmente superior que el costo estimado desde el modelo lineal si la profundidad a lograr es más acentuada que -12 m.

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)	
	Modelo exponencial modificado	Modelo lineal	Modelo exponencial modificado	Modelo lineal
8	0	0	0	
9	6,120,185	6,120,185	3,615,751	3,615,751
10	10,283,006	10,283,006	5,756,123	5,756,123
11	15,623,243	15,623,243	8,818,581	8,818,581
12	25,474,352	24,332,021	14,336,801	13,709,549
13	33,215,909	30,905,920	21,618,484	19,259,032
14	52,793,877	37,452,073	34,759,302	24,221,214

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. La Tabla 10.8 indica un ejemplo del resultado representativo según la profundidad del canal en 2020 y 2030 en términos que se espera el máximo beneficio neto (en ambos casos antes y después del incremento de la tarifa en el Puerto de La Unión). Note que en algunas profundidades de canal, un resultado representativo se selecciona de los resultados que se obtienen del cálculo realizado en base a una profundidad del canal menos acentuada (p. ej. una profundidad de -12m y -14m en 2030 antes del incremento de la tarifa en el Puerto de La Unión en la Tabla 10.8).

Tabla 10.8 Ejemplo de resultado representativo del rendimiento de contenedor de carga y otros ingresos/costos por cada profundidad de canal en 2020 y 2030

- antes de incrementar la tarifa en el Puerto de La Unión

2020	Acajutla				La Unión				Costo de flete (000 US\$)
Profundidad (-m)	Cargado (TEU)	Vacío (TEU)	Transbordo	Tarifa de embarcación (000 US\$)	Cargado (TEU)	Vacío (TEU)	Transbordo	Tarifa de embarcación (000 US\$)	
8	174,352	18,193	0	2,791	25,987	3,238	0	262	808,779
9	141,931	18,317	0	2,556	69,260	6,218	0	524	813,342
10	146,285	14,928	0	2,368	55,380	6,071	0	819	807,186
11	88,479	13,363	0	1,711	147,520	14,323	0	2,195	800,849
12	105,117	9,013	0	1,409	229,318	37,347	0	3,416	769,640
13	91,616	13,998	0	2,556	256,653	33,489	19,922	2,295	769,148
14	114,102	10,046	0	1,409	246,722	39,505	50,146	3,416	764,334

2030	Acajutla				La Unión				Costo de flete (000 US\$)
Profundidad (-m)	Cargado (TEU)	Vacío (TEU)	Transbordo	Tarifa de embarcación (000 US\$)	Cargado (TEU)	Vacío (TEU)	Transbordo	Tarifa de embarcación (000 US\$)	
8	161,644	8,242	0	1,335	196,196	5,180	0	1,048	787,686
9	124,994	7,823	0	1,335	238,746	8,201	0	1,048	786,837
10	151,449	5,921	0	1,617	197,203	7,397	0	1,835	782,602
11	136,146	8,836	0	1,429	236,283	6,683	0	868	775,321
12	136,146	8,836	0	1,429	236,283	6,683	0	868	775,321
13	151,481	3,781	0	1,409	467,427	32,748	60,762	3,418	723,440
14	151,481	3,781	0	1,409	467,427	32,748	60,762	3,418	723,440

- después de incrementar la tarifa en el Puerto de La Unión

2020	Acajutla				La Unión				Costo de flete (000 US\$)
Profundidad (-m)	Cargado (TEU)	Vacío (TEU)	Transbordo	Tarifa de embarcación (000 US\$)	Cargado (TEU)	Vacío (TEU)	Transbordo	Tarifa de embarcación (000 US\$)	
8	174,352	18,193	0	2,791	25,987	3,238	0	291	827,234
9	137,574	15,519	0	1,804	66,674	5,221	0	1,317	831,621
10	117,158	18,571	0	1,993	94,265	6,602	0	1,767	810,763
11	117,158	18,571	0	1,993	94,265	6,602	0	1,767	810,763
12	107,503	11,583	0	1,409	207,580	33,869	38,095	5,578	802,973
13	54,009	9,483	0	1,148	261,415	34,997	15,074	6,492	794,767
14	54,009	9,483	0	1,148	261,415	34,997	15,074	6,492	794,767

2030	Acajutla				La Unión				Costo de flete (000 US\$)
Profundidad (-m)	Cargado (TEU)	Vacío (TEU)	Transbordo	Tarifa de embarcación (000 US\$)	Cargado (TEU)	Vacío (TEU)	Transbordo	Tarifa de embarcación (000 US\$)	
8	166,315	8,063	0	3,026	161,211	3,984	0	346	809,815
9	200,872	9,493	0	1,804	130,740	3,854	0	890	808,121
10	134,593	5,577	0	1,617	198,445	8,330	0	1,817	792,701
11	134,593	5,577	0	1,617	198,445	8,330	0	1,817	792,701
12	197,360	10,272	0	3,026	167,187	4,743	0	2,528	785,708
13	99,432	5,845	0	1,617	520,470	28,797	18,104	6,879	768,513
14	187,121	7,259	0	2,348	441,229	31,767	65,655	6,194	756,743

- (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.

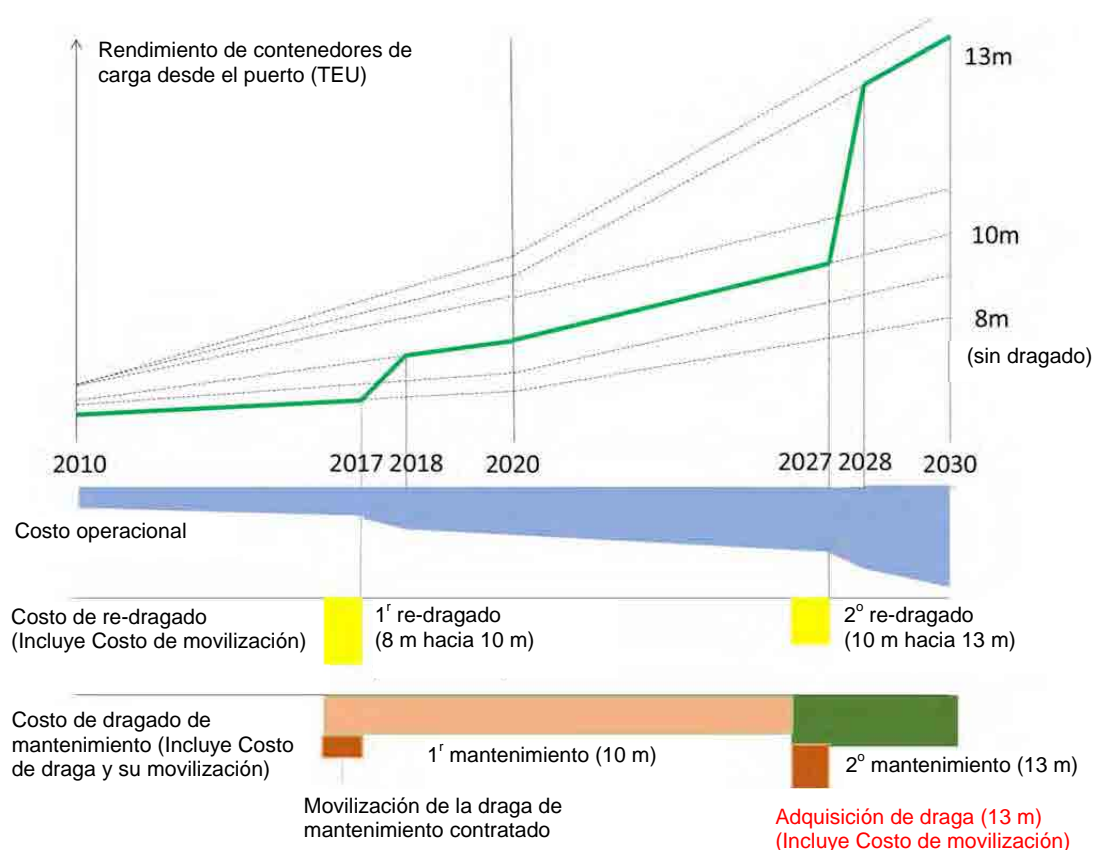


Figura 10.1 Ejemplo típico de la estructura del cálculo de ingreso-costos de las series temporales (en caso del dragado en base a un contrato para los primeros diez años)

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 (véase la Figura 10.3).

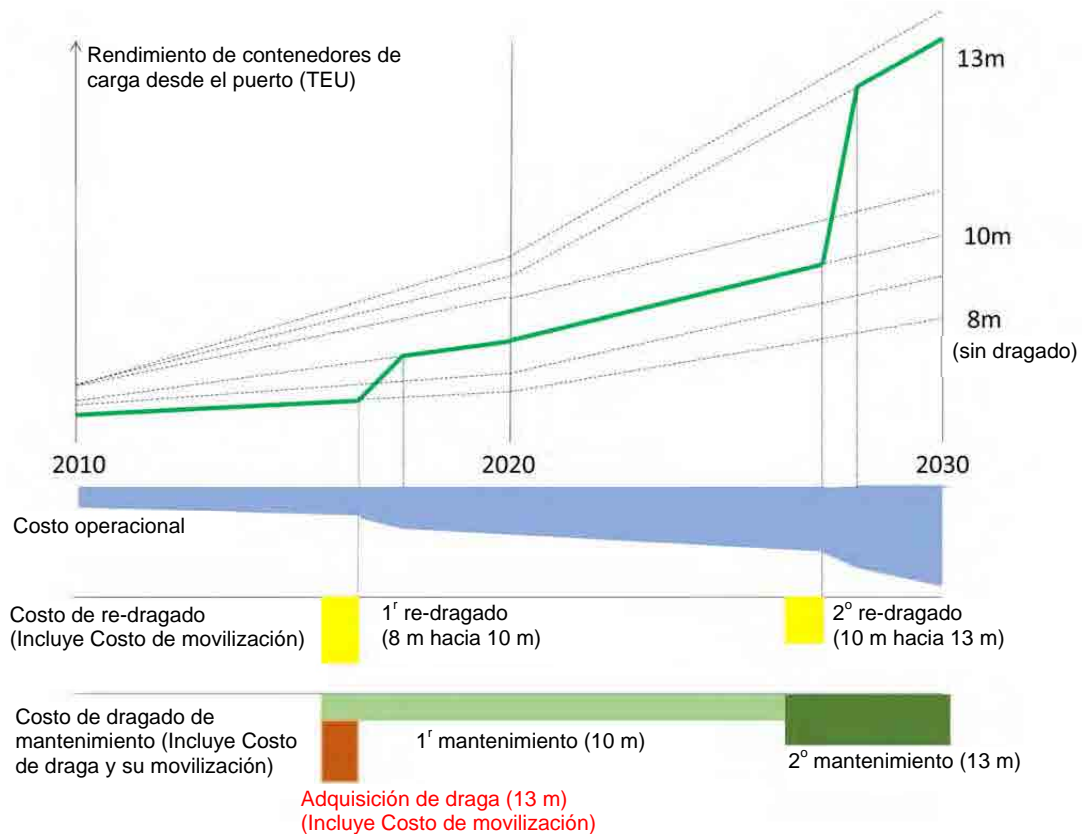


Figura 10.2 Ejemplo típico de la estructura del cálculo de ingreso-costos de las series temporales (en caso de dragado propio)

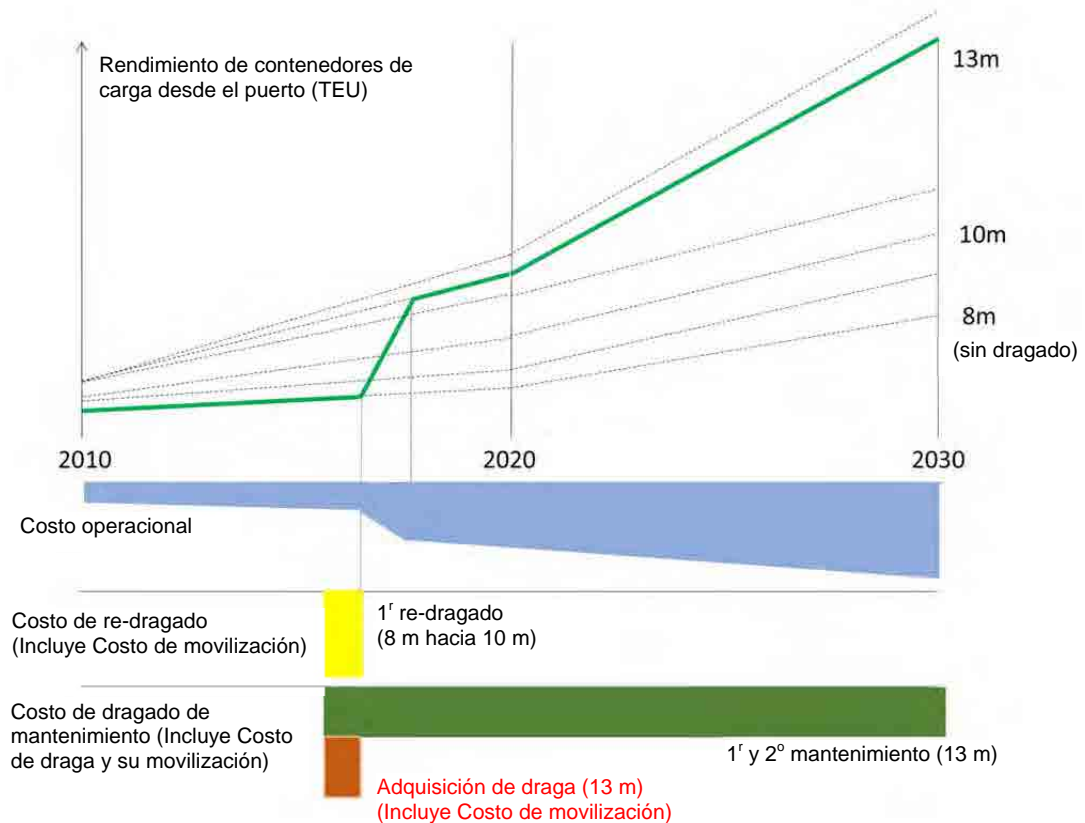


Figura 10.3 Ejemplo típico de la estructura del cálculo de ingreso-costos de las series temporales (en caso de dragado propio sin segundo re-dragado)

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 copia parcial de la hoja de cálculo se indica en la Figura 10.4. La tabla de cálculo se prepara para “escenarios de dragado” además de “escenario no-dragado” para estimar el beneficio neto lo cual se define como la diferencia de los beneficios para ambos escenarios. Los escenarios de dragado consisten en todas las combinaciones posibles de las profundidades a lograr para el primer y segundo re-dragado. Registrando el año que las profundidades a lograr después del primer re-dragado es realizada y las profundidades a lograr para ambos re-dragados (que están en color amarillo en la izquierda superior en la Figura 10.4), las figuras en la tabla para los “escenarios de dragado” se (re-)calculan. Téngase en cuenta que el costo de re-dragado y el costo de una draga se generan solamente un año antes de que la profundidad a lograr sea modificada (en el ejemplo indicado en la Figura 10.4, en 2017 y/o 2027) como se indica en las Filas Q y R (es decir, las dos primeras filas coloreadas en azul) en la Figura 10.4, mientras que el costo de dragado de mantenimiento regular se incluye en todos los años después del primer re-dragado como se indica en la Fila S. Los ingresos públicos, otros costos operacionales y costo de flete para fletadores se calculan cada año a lo largo del periodo de evaluación.

En el escenario no-dragado como se indica en la mitad inferior de la Figura 10.4, la profundidad de canal se supone que se mantiene en -8 m durante el periodo de la evaluación. Basándose en esta suposición, el ingreso y beneficio netos de las series temporales son calculados desde el rendimiento de contenedor de carga, ingresos públicos, costos operacionales y costo de flete de carga. El costo de no-dragado se incluye en el escenario de no-dragado.

Incluso en los escenarios de dragado, la profundidad de canal se supone que se mantiene en -8 m después del primer re-dragado. Además, cuando se registra “-8 m” como la profundidad a lograr del primer y segundo re-dragado, el costo de re-dragado en ese momento se calcula que sea cero. Asimismo, en el caso de que la profundidad a lograr del primer y segundo re-dragado sea igual, el costo de segundo re-dragado se calcula que sea cero.

Cada ingreso público y costo de cada año deben ser resumidos después del descuento de tiempo por los años transcurridos desde el primer año del periodo de evaluación (2014). La tasa para descuento de tiempo se ha situado en un 7,0% anualmente de forma predeterminada y es variable en la hoja de cálculo.

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 (el modelo exponencial modificado y el 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.

Figura 10.4 Ejemplo de hoja de cálculo (a base de excel) para estimación de las series temporales de ingreso y beneficio netos incluyendo el rendimiento de contenedores de carga, ingresos públicos de ambos Puertos de Acajutla y La Unión, dragado y otros costos

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 10.9 (antes del incremento de la tarifa) y la Tabla 10.10 (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 10.9). Fuera de algunas combinaciones en las que el beneficio neto máximo esperado es positivo como se observa en la Tabla 10.9, 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 10.10). Fuera de ellas, la combinación en la cual el primer re-dragado para la profundidad de -13 m se realiza en

2016 y es mantenida durante veinte años junto con la adquisición de la draga propia para el dragado de mantenimiento en 2016 es para maximizar el beneficio neto máximo esperado, aunque esta estrategia para el dragado tiene un riesgo significativo así como del caso antes del incremento de la tarifa mencionado 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 10.9 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	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 10.10 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 (después 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 crucero 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.