



Proyecto del Tercer Juego de Esclusas

Traducción

Nombre del estudio en inglés: Feasibility evaluation of a tug assisted locks vessel positioning system

Nombre del estudio en español: Evaluación de la factibilidad de un sistema de posicionamiento de buques asistido por remolcadores

Fecha del informe final: 11 de abril de 2003

Fecha de la traducción: 12 de mayo de 2006

Nombre del consultor: Autoridad del Canal de Panamá

INFORME FINAL



INDICE

1. RESUMEN EJECUTIVO	
2. PROCEDIMIENTOS DE ESCLUSAJE PARA ESCLUSAS POSPANAMAX	
2.1 Supuestos del estudio	8
a. Esclusa de un nivel.....	8
b. Esclusa de dos niveles	8
c. Esclusa de tres niveles	8
2.2 Primer Escenario – Buques Pospanamax – Amarre a un muro asistido con remolcadores	10
2.2.1 Esclusaje de buques portacontenedores.....	10
2.2.2 Esclusaje de graneleros secos y buques cisterna.....	11
2.3 Segundo Escenario - Buques Pospanamax – Locomotoras de cuarta generación trabajando desde un muro.....	12
2.3.1 Esclusaje de buques portacontenedores.....	12
2.3.2 Esclusaje de graneleros secos y buques cisterna.....	13
2.4 Tercer Escenario – Buques Pospanamax - Amarre a un muro asistido con remolcadores y un transporte de sogas...	14
2.5 Cuarto Escenario – Buques Pospanamax – Amarre en la mitad de la cámara asistido con remolcadores.....	14
2.5.1 Esclusaje de buques portacontenedores.....	14
2.5.2 Esclusaje de graneleros secos y buques cisterna.....	15
2.6 Quinto Escenario – Buques Panamax Plus con amarre al muro asistido con remolcadores	16
2.6.1 Esclusaje de buques portacontenedores.....	16
2.6.2 Esclusaje de graneleros y buques cisterna.....	17
2.7 Sexto Escenario – Buques Panamax Plus en tándem.....	18
2.7.1 Procedimiento de Esclusaje.....	18
2.8 Séptimo Escenario – Buques Múltiples.....	19
2.8.1 Procedimiento de Esclusaje.....	19
2.9 Asistencia de Remolcadores.....	21
2.9.1 Procedimientos de Esclusaje.....	21
2.9.2 Recursos de Remolcadores.....	23
3. CAPACIDAD OPERATIVA DE LAS NUEVAS ESCLUSAS.....	27
3.1 Tiempos de Esclusaje.....	27
3.1.1 Alternativa de transportes de sogas.....	35
4. COSTOS DE CAPITAL, DE OPERACIÓN Y DE MANTENIMIENTO....	37
4.1 Costos de capital de un Sistema de Posicionamiento Asistido con Remolcadores	37
4.1.1 Esclusas.....	37
4.1.1.1 Compuertas rodantes.....	37
4.1.1.2 Muros de las esclusas.....	37
4.1.1.3 Volúmenes adicionales de excavación.....	38
4.1.1.4 Muros de las tinas de reutilización de agua.....	38
4.1.1.5 Defensas tipo V de las cámaras de las esclusas.....	39
4.1.2 Remolcadores.....	39



ÍNDICE

1. RESUMEN EJECUTIVO

2. PROCEDIMIENTOS DE ESCLUSAJE PARA ESCLUSAS POSPANAMAX

2.1	Supuestos del estudio	8
	a. Esclusa de un nivel.....	8
	b. Esclusa de dos niveles	8
	c. Esclusa de tres niveles	8
2.2	Primer Escenario – Buques Pospanamax – Amarre a un muro asistido con remolcadores	10
	2.2.1 Esclusaje de buques portacontenedores.....	10
	2.2.2 Esclusaje de graneleros secos y buques cisterna.....	11
2.3	Segundo Escenario - Buques Pospanamax – Locomotoras de cuarta generación trabajando desde un muro.....	12
	2.3.1 Esclusaje de buques portacontenedores.....	12
	2.3.2 Esclusaje de graneleros secos y buques cisterna.....	13
2.4	Tercer Escenario – Buques Pospanamax - Amarre a un muro asistido con remolcadores y un transporte de sogas...	14
2.5	Cuarto Escenario – Buques Pospanamax – Amarre en la mitad de la cámara asistido con remolcadores.....	14
	2.5.1 Esclusaje de buques portacontenedores.....	14
	2.5.2 Esclusaje de graneleros secos y buques cisterna.....	15
2.6	Quinto Escenario – Buques Panamax Plus con amarre al muro asistido con remolcadores	16
	2.6.1 Esclusaje de buques portacontenedores.....	16
	2.6.2 Esclusaje de graneleros y buques cisterna.....	17
2.7	Sexto Escenario – Buques Panamax Plus en tándem.....	18
	2.7.1 Procedimiento de Esclusaje.....	18
2.8	Séptimo Escenario – Buques Múltiples.....	19
	2.8.1 Procedimiento de Esclusaje.....	19
2.9	Asistencia de Remolcadores.....	21
	2.9.1 Procedimientos de Esclusaje.....	21
	2.9.2 Recursos de Remolcadores.....	23

3. CAPACIDAD OPERATIVA DE LAS NUEVAS ESCLUSAS..... 27

3.1	Tiempos de Esclusaje.....	27
	3.1.1 Alternativa de transportes de sogas.....	35

4. COSTOS DE CAPITAL, DE OPERACIÓN Y DE MANTENIMIENTO.... 37

4.1	Costos de capital de un Sistema de Posicionamiento Asistido con Remolcadores	37
	4.1.1 Esclusas.....	37
	4.1.1.1 Compuertas rodantes.....	37
	4.1.1.2 Muros de las esclusas.....	37
	4.1.1.3 Volúmenes adicionales de excavación.....	38
	4.1.1.4 Muros de las tinajas de reutilización de agua	38
	4.1.1.5 Defensas tipo V de las cámaras de las esclusas.....	39
	4.1.2 Remolcadores.....	39
4.2	Costos de capital de un Sistema de Posicionamiento con	



Locomotoras.....	39
4.2.1 Esclusas.....	39
4.2.1.1 Muros de aproximación.....	40
4.2.1.2 Rieles de locomotoras, ranuras conductoras y equipo de agujas de cambiavías.....	40
4.2.1.3 Instalaciones para la Reparación de Locomotoras	40
4.2.1.4 Cuartos de transformadores de remolque con locomotoras y rieles de retorno.....	40
4.2.2 Locomotoras de remolque de cuarta generación.....	41
4.3 Tabla Comparativa de Costos de capital.....	42
4.4 Costos de Operación.....	42
4.4.1 Comparación del Consumo de Agua.....	42
4.4.2 Cuadrillas de las esclusas	43
4.4.3 Cuadrillas de los remolcadores.....	44
4.5 Costos de Mantenimiento.....	44
4.5.1 Mantenimiento de las Esclusas.....	44
4.5.2 Mantenimiento de Remolcadores.....	44
5. ANÁLISIS COMPARATIVO CON UN SISTEMA DE LOCOMOTORAS	45
5.1 Factibilidad de las locomotoras actuales.....	45
5.2 Costos de la infraestructura de las esclusas.....	45
5.3 Costos de las locomotoras y remolcadores.....	46
5.4 Tiempos de Esclusaje.....	48
6. RECOMENDACIONES.....	51
7. CONCLUSIONES.....	52
8. REFERENCIAS	54



LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1	Tiempos totales de esclusaje total y del ciclo de esclusaje de una esclusa de tres niveles para tipos diferentes de buques Pospanamax y métodos de operación con remolcadores.....	2
Tabla 1-2	Desglose de los costos totales de los sistemas de posicionamiento de buques con locomotoras y con la asistencia de remolcadores en una esclusa con cámaras más anchas y largas.	3
Tabla 3-1-1	Tiempo registrado para el buque “Ormond”.....	24
Tabla 3-1-2	Tiempo registrado para el buque “CSK Unity”.....	25
Tabla 3-1-3	Tiempo registrado para el buque “Hilal 1”.....	25
Tabla 3-1-4	Tiempo registrado para el buque “Republicca di Venecia”.....	26
Tabla 3-1-5	Tiempos de llenado y vaciado tomado de los Estudios de Diseño Conceptual.....	26
Tabla 3-1-6	Tiempo estimado del esclusaje de los buques portacontenedores en una esclusa Pospanamax de un nivel.....	27
Tabla 3-1-7	Tiempo de esclusaje de los graneleros secos y buques cisterna en una Esclusa Pospanamax de un nivel.....	27
Tabla 3-1-8	Tiempo estimado de esclusaje de buques portacontenedores en una esclusa Pospanamax de dos niveles.....	28
Tabla 3-1-9	Tiempo estimado de esclusaje de los graneleros secos y buques cisterna en una esclusa Pospanamax de dos niveles.....	29
Tabla 3-1-10	Tiempo estimado de esclusaje de buques portacontenedores en una esclusa Pospanamax de tres niveles.....	30
Tabla 3-1-11	Tiempo estimado de esclusaje de los graneleros y buques cisterna en una esclusa Pospanamax de tres niveles.....	31
Tabla 3-1-12	Tiempo estimado de esclusaje de buques portacontenedores en esclusas Pospanamax de dos y tres niveles con el uso de un transporte de sogas.....	32
Tabla 3-1-13	Tiempo estimado de esclusaje de los graneleros secos y buques cisterna en una esclusa Pospanamax de dos y tres niveles con el uso de transporte de sogas	33
Tabla 4-3-1	Análisis comparativo de los costos de capital de la infraestructura requerida para un sistema de posicionamiento con asistencia de remolcadores, en comparación con un sistema de posicionamiento con locomotoras.....	39
Tabla 4-4-1	Costo total de las cuadrillas de operación.....	40



Tabla 5-2-1	Desglose de costos de capital de la infraestructura adicional requerida para un sistema de posicionamiento de buques con asistencia de remolcadores.....	42
Tabla 5-2-2	Desglose de costos de capital de la infraestructura adicional para un sistema de posicionamiento de buques con asistencia de locomotoras.....	43
Tabla 5-3-1	Desglose de los costos totales de capital de los sistemas de posicionamiento con locomotoras y con remolcadores en una esclusa con cámaras más anchas y largas.....	45
Tabla 5-4-1	Tiempo de esclusaje de una esclusa de tres niveles para tipos diferentes de buques Pospanamax y métodos de operación con remolcadores.....	46
Tabla 5-4-2	Tiempo del ciclo de esclusaje en operaciones de relevo con una esclusa de tres niveles para tipos diferentes de buques Pospanamax y métodos de operación con remolcadores.....	46



LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1	Esclusa de un solo nivel. Líneas de amarre de esclusa de un nivel o ángulos de cables de locomotoras en las esclusas de tres nieles. Buques Panamax y Pospanamax en aguas altas o bajas. También se muestran los buques al costado del muro o en la mitad de la cámara.....	6
Figura 2-2	Esclusa de dos niveles. Ángulos de las líneas de amarre o de los cables de las locomotoras. Buques Panamax y Pospanamax en aguas altas o bajas. También se muestran los buques al costado del muro o en la mitad de la cámara.....	6
Figura 2-3	Esclusa de tres niveles. Ángulos de las líneas de amarre o de los cables de las locomotoras. Buques Panamax y Pospanamax en aguas altas o bajas. También se muestran los buques al costado del muro o en la mitad de la cámara.....	7
Figura 2-4	Remolcador de proa utilizando un calabrote por la gatera central.....	18
Figura 2-5.	Remolcador de popa utilizando un calabrote a través de la gatera central.....	18
Figura 2-6.	Remolcador de popa utilizando un calabrote por la gatera central.....	19
Figura 2-7.	Remolcador de proa saliendo de la cámara después de terminar la maniobra de atraque.....	20
Figura 2-8.	Remolcador entrando a la cámara para asistir a un buque durante la maniobra de salida.....	20
Figura 2-9.	Remolcador con propulsión Voith entrando a la cámara para asistir a un buque.	21
Figura 2-10.	Remolcador de propulsión Voith.....	21
Figura 2-11.	Remolcador halando un buque portacontenedores Pospanamax desde su popa.	22
Figura 2-12.	El remolcador “compacto” que se propone para utilizarlo exclusivamente en las operaciones futuras de esclusaje.....	23



Evaluación de la Factibilidad de un Sistema de Posicionamiento de Buques para las Esclusas con Asistencia de Remolcadores

1. RESUMEN EJECUTIVO

El sistema de posicionamiento de buques es un elemento clave para determinar el tamaño de las nuevas esclusas Pospanamax y tendrá un impacto directo en el costo de las esclusas y el análisis eventual de las opciones de las esclusas.

La falta de estudios de factibilidad de opciones para el sistema existente de posicionamiento de buques con locomotoras se ha identificado como una brecha en los estudios actuales del diseño conceptual de las esclusas. El único estudio previo disponible es un estudio del tipo de generación espontánea de ideas realizado por la Universidad de Texas A & M, intitulado “Proyecto para Identificar y Evaluar Conceptos Alternos para el Posicionamiento de Buques en las Esclusas”, realizado en junio de 1999, que evaluó los conceptos y presentó seis conceptos finales que requerirían nuevos estudios.

Para abordar esta situación, la División de Proyectos de Capacidad del Canal propuso al Departamento de Operaciones Marítimas reunir un equipo conformado por prácticos del Canal, capitanes de remolcadores e ingenieros de las esclusas que viajara al puerto de Amberes a visitar las esclusas de Berendrecht y Zandvliet, que son las esclusas Pospanamax más grandes del mundo, con el fin de que observaran y evaluaran sus operaciones y cómo se colocan allí los buques con la ayuda de remolcadores.

El viaje se efectuó del 19 al 26 de octubre del 2002 y este informe es el resultado de las observaciones del equipo y su opinión profesional, para el propósito de determinar la factibilidad de emplear un sistema de posicionamiento de buques con remolcadores en las esclusas post-Panamax propuestas para el Canal de Panamá.

Se consideraron esclusas de uno, dos y tres niveles y desde el punto de vista de las operaciones, y se descartó la esclusa de un nivel debido a los ángulos de la línea o cable desde la parte superior del muro de las esclusas hasta el buque. Se consideró que los dos niveles eran apenas aceptables porque no permitían mucha holgura en las operaciones por la misma razón que la esclusa de un solo nivel. La esclusa de tres niveles se consideró la más factible, por lo que se procedió a desarrollar los distintos procedimientos de esclusaje para la esclusa de tres niveles.

Se desarrollaron cuatro escenarios para dos tipos de buques Pospanamax: un buque portacontenedores y un granelero seco o buque cisterna. Los escenarios incluyeron el amarre a un muro de la esclusa asistido con remolcadores, con locomotoras de cuarta generación en sólo un muro, el amarre a un muro de la esclusa utilizando un transporte de sogas y asistido con remolcadores, y el amarre en la mitad de la cámara a ambos muros de la esclusa asistido con remolcadores. Se desarrollaron dos escenarios para los buques Panamax Plus (que es el tamaño Panamax con más de 12.04 metros de calado) y uno adicional para un esclusaje múltiple.

Los prácticos del Canal de Panamá desarrollaron los procedimientos de esclusaje y tiempos preliminares de esclusaje en base a los tiempos observados en Bélgica y su opinión profesional. Se incorporó el tiempo que toma el llenado y el vaciado y el tiempo de amarre con el fin de establecer el tiempo total de esclusaje y el tiempo del ciclo del esclusaje en relevo para las opciones de



buques Pospanamax asistidos con remolcadores. Estos tiempos se resumen y comparan con el escenario de las locomotoras en la siguiente tabla:

Portacontenedores	Tiempo de esclusaje (mins.)
Locomotoras en un muro	148.7
Amarre a un muro con asistencia de remolcador	185.7
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	160.78
Amarre a un muro con asistencia de remolcador y transporte de sogas	165.7
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador con transporte de sogas	140.7
Graneleros Secos y Buques Cisterna	Tiempo de esclusaje (mins.)
Locomotoras en un muro	188.7
Amarre a un muro con asistencia de remolcador	220.7
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	195.7
Amarre a un muro con asistencia de remolcador y transporte de sogas	200.7
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador con transporte de sogas	175.7
Portacontenedores	Tiempo del ciclo de esclusaje (mins.)
Locomotoras en un muro	102.8
Amarre a un muro con asistencia de remolcador	113.8
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	103.8
Amarre a un muro con asistencia de remolcador y transporte de sogas	93.8
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador con transporte de sogas	83.8
Graneleros Secos y Buques Cisterna	Tiempo del ciclo de esclusaje (mins.)
Locomotoras en un muro	128.8
Amarre a un muro con asistencia de remolcador	133.8
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	123.8
Amarre a un muro con asistencia de remolcador y transporte de sogas	113.8
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador con transporte de sogas	103.8

Tabla 1-1. Tiempos totales de esclusaje y del ciclo de esclusaje de una esclusa de tres niveles para tipos diferentes de buques Pospanamax y métodos de operación con remolcadores.

Al utilizar un sistema de posicionamiento de buques con asistencia de remolcadores no se requieren ciertas infraestructuras de la esclusa tales como los muros de aproximación, los rieles de remolque y las ranuras conductoras, los transformadores de rieles y el equipo de agujas de cambiavías. Hay que hacer cambios por causa de las mayores dimensiones de la cámara para las compuertas, la longitud de los muros y las tinas de reutilización de agua. Es probable que se requieran defensas adicionales para las cámaras.

Se desarrollaron estimados sobre los cambios de infraestructura requeridos para un sistema asistido con remolcadores y se compararon con los requisitos del sistema propuesto de locomotoras. También se desarrollaron los costos anuales de las operaciones y el mantenimiento, mano de obra y materiales para ambas opciones y se consideró un ciclo de vida de 30 años empleando un factor de tasa de descuento de 12%. Se adoptó el supuesto de un precio optimista por unidad de \$3.0 millones para una locomotora de cuarta generación y un precio referenciado de \$5.6 millones para los remolcadores de las esclusas. En este caso, se encontró una diferencia de **\$70.58 millones** a favor del sistema de posicionamiento de locomotoras. Las siguientes tablas resumen los cálculos de los costos:



Sistema de posicionamiento de locomotoras (operando de manera similar al sistema existente)	Dólares en millones
Inversión inicial en infraestructura	168.31
Inversión inicial en equipo	60.00
Operaciones anuales, materiales y mantenimiento por 30 años (incluye la compra de locomotoras adicionales para los relevos, y el proyecto de suministro de agua del río Indio)	147.26
Costo total al valor neto actual con un factor de 12% de tarifa de descuento	375.57
Inversión inicial en la infraestructura	203.25
Inversión inicial en equipo	36.10
Operaciones anuales, materiales y mantenimiento por 30 años (incluye la compra adicional de transporte de sogas para los esclusajes de relevo, y el proyecto de río Indio)	206.80
Costo total al valor neto actual al factor de 12% de tarifa de descuento	446.15

Tabla 1-2. Desglose de los costos totales de los sistemas de posicionamiento de buques con locomotoras y con la asistencia de remolcadores en una esclusa con cámaras más anchas y largas.

Es muy importante resaltar que para cualquier alternativa de sistema de posicionamiento de buque que se escoja serán necesarios remolcadores con una fuerza de empuje entre 50 y 60 toneladas para asistir a los barcos en los canales navegables del Canal. Ésto será especialmente cierto en las entradas de las esclusas, el Corte Culebra y posiblemente más allá, y en el nuevo canal de desvío que lleva a la nueva estructura de esclusas en el sector Pacífico. La cantidad de estos remolcadores que se requiere dependerá de la cantidad de tráfico que se espera según los estudios actuales de mercadeo. En vista de que estos nuevos remolcadores se necesitan sea cual fuere el sistema de posicionamiento de buques que se escoja para las esclusas porque se utilizarán principalmente fuera de las esclusas, sus costos no se incluyeron como parte de la evaluación económica.

La conclusión fundamental de este estudio debe ser si un sistema de posicionamiento de buques para las esclusas asistido con remolcadores es factible para las nuevas esclusas Pospanamax en cuanto a la navegación y desde un punto de vista técnico y económico, y si el mismo debe considerarse como una de las alternativas para el análisis de toma de decisión.

Para que el sistema de remolcadores trabaje en forma segura y eficiente en las esclusas, deberán cumplirse las siguientes condiciones:

- A. El ancho de la cámara propuesta debe ser 20% mayor que la manga del buque de diseño, ó al menos 12.2 metros (49 pies) más, a fin de permitir que los remolcadores de proa abandonen la cámara si no se les necesita.
- B. La longitud propuesta de la cámara es de por lo menos 100 metros (328 pies) mayor que el buque de diseño, para permitirles espacio de maniobra a los remolcadores de proa y la posibilidad de esclusajes en tándem.
- C. Una holgura bajo la quilla de 3 metros (10 pies) es esencial para permitir que los buques avancen por las esclusas a tiempo.



- D. El sistema de llenado y vaciado de las esclusas debe trabajar de manera tal que poca o ninguna turbulencia y las fuerzas longitudinales o transversales se desarrollen para permitir el amarre seguro a los muros o en la mitad de la cámara. Las fuerzas hidrodinámicas que ocurren durante los intercambios de agua no deben crear una situación peligrosa que rompa las líneas de amarre.
- E. El concepto de remolcadores compactos debe implementarse a fin de reducir los requisitos sobre la flota de remolcadores Pospanamax de la ACP.

Es nuestra recomendación que la ACP efectúe una prueba de campo de este sistema en nuestras esclusas actuales con un buque en un tránsito real de las proporciones de una cámara Pospanamax. Ello confirmará la seguridad de la operación, el comportamiento del sistema en esclusas de niveles múltiples y los tiempos estimados de esclusaje. Los resultados de esta prueba pueden incorporarse como una actualización o modificación de este informe, con el fin de mejorar su integridad y documentación.

Locomotoras de las Esclusas

Debido a los grandes desplazamientos de buques Pospanamax, las locomotoras actuales no proporcionarían la asistencia adecuada a estos buques por falta de espacio para su posicionamiento apropiado junto al buque en los puntos donde las fuerzas efectivas puedan ejercerse. Hay que contratar a un equipo de ingenieros de transporte, de electricidad, de mecánica y de estructuras que desarrollen un diseño conceptual de locomotoras de remolque de cuarta generación. La factibilidad técnica y económica de las locomotoras podrá evaluarse adecuadamente entonces, y este informe podrá reevaluarse, especialmente en lo relacionado a la sección de costos donde se utilizó un precio por locomotora de \$3.0 millones por unidad.

Igualmente, el anterior estudio de Capacidad Pospanamax del Canal desarrollado por la ACP debe reevaluarse a fin de incorporar estos nuevos cálculos de tiempo de esclusaje y considerar la capacidad estimada previamente, especialmente para fines de la factibilidad financiera.



2. PROCEDIMIENTOS DE ESCLUSAJE PARA ESCLUSAS POSPANAMAX

2.1 Supuestos del Estudio

Dimensiones de los Buques

Para este proyecto estamos suponiendo que habrá dos tipos de buques Pospanamax. Uno será el buque portacontenedores y otro será el granelero o el buque cisterna, ambos con las siguientes dimensiones: eslora total de 385.7 metros (1265 pies); manga máxima de 54.9 metros (180 pies) y calado máximo de 15.2 metros (50 pies). Se supone que los buques portacontenedores de los siguientes escenarios están equipados con hélices auxiliares de proa y popa.

Vaciado de Agua y Corrientes de Densidad

Debe considerarse que los procedimientos que describimos en este documento suponen que las compuertas exteriores deben haber estado abiertas por un período de tiempo suficiente para que las corrientes de densidad que ocurren en las entradas actuales al mar (el vaciado y la mezcla de agua dulce con agua salada, que demora aproximadamente cuarenta minutos en disiparse), estén a su nivel mínimo.

Proceso de Elevación del Buque

El proceso de elevación de un buque desde el nivel del mar al nivel del lago Gatún puede lograrse físicamente mediante uno o más niveles y una elevación total de 25.9 a 26.7 metros (de 85 a 87.5 pies). Para el siguiente análisis supondremos que el francobordo típico de un granelero es de 9.1 metros (30 pies) y la distancia desde el tope del muro hasta la línea de flotación de una cámara llena es de 2.1 metros (7 pies).

- a. **Esclusa de un nivel:** Si consideramos una cámara de un nivel, la distancia desde el tope del muro hasta la cubierta principal del buque puede ser de casi 18 metros (60') y el cableguía de las líneas de amarre o de los cables de las locomotoras estará en ángulos de casi noventa grados, haciendo imposible que el buque se mantenga con seguridad al costado del muro ni en la mitad de la cámara (con locomotoras). Una opción podría ser el uso de bitas flotantes en nichos en los muros de la esclusa, pero hay que encontrar una manera segura y efectiva de llevar las líneas de amarre del buque hasta las bitas flotantes.
- b. **Esclusa de dos niveles:** Si consideramos una esclusa de dos niveles, la distancia desde el tope del muro hasta la cubierta principal del buque puede ser cerca de 6 metros (20') y los cableguías de las líneas de amarre o de los cables de las locomotoras estarán en un ángulo que hará muy difícil mantener el buque de manera segura al costado del muro o en la mitad de la cámara (con locomotoras).
- c. **Esclusa de tres niveles:** En caso de una esclusa de tres niveles, la distancia desde el tope del muro hasta la cubierta principal del buque será aceptable. Los cableguías de las líneas de amarre o cables de las locomotoras pueden estar hacia arriba o hacia abajo a un ángulo con el que podrá mantenerse un control efectivo.

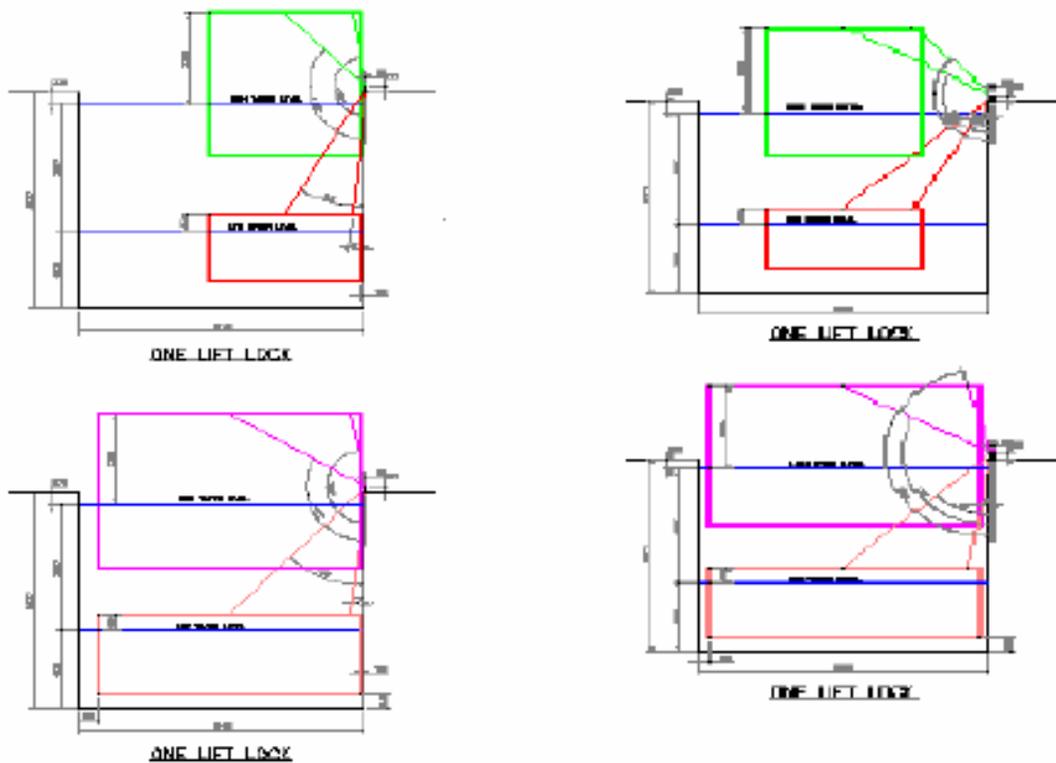


Figura 2-1. Esclusa de un solo nivel. Líneas de amarre ó ángulos de los cables de las locomotoras en las esclusas de tres niveles. Buques Panamax y Pospanamax en aguas altas o bajas. También se muestran los buques al costado del muro o en la mitad de la cámara.

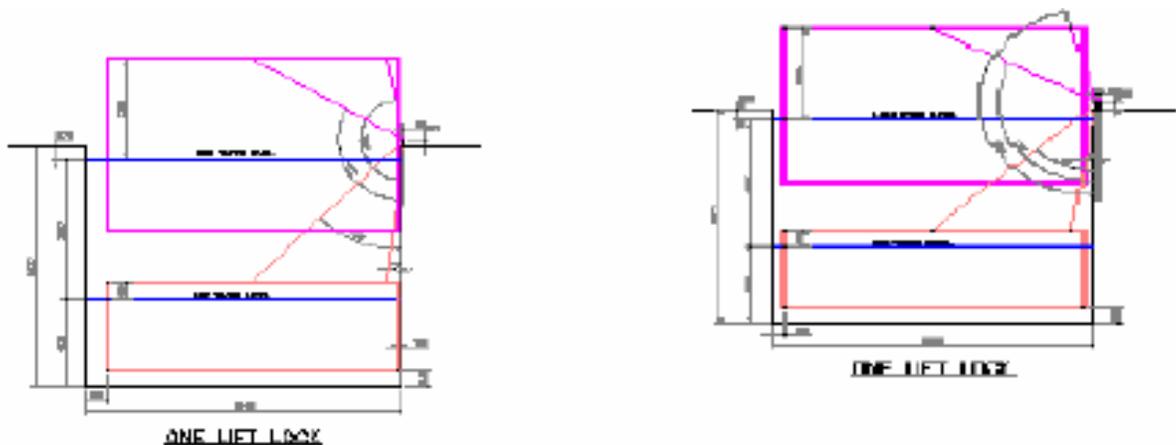




Figura 2-2. Esclusa de dos niveles. Ángulos de las líneas de amarre o de los cables de las locomotoras. Buques Panamax y Pospanamax en aguas altas o bajas. También se muestran los buques al costado del muro o en la mitad de la cámara.

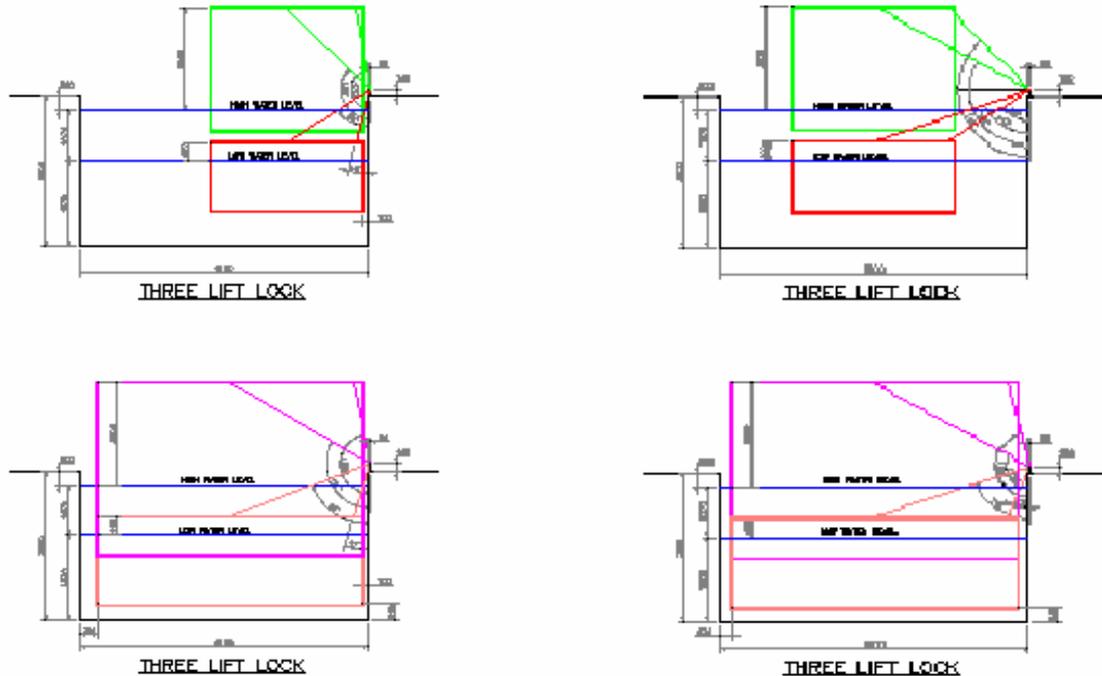


Figura 2-3. Esclusa de tres niveles. Ángulos de las líneas de amarre o de los cables de las locomotoras. Buques Panamax y Pospanamax en aguas altas o bajas. También se muestran los buques al costado del muro o en la mitad de la cámara.

2.2 Primer Escenario – Buques Pospanamax – Amarre al muro con la asistencia de remolcadores

De acuerdo con nuestros supuestos, se requiere una esclusa de tres niveles con cámaras de dimensiones similares a las de Berendrecht (500 x 68 x 18.3 metros) que posibiliten el esclusaje de una nave del tamaño del diseño escogido para los estudios de la ACP. La regla general es que el ancho de la cámara debe ser 20% mayor que la manga del buque del diseño (ó al menos 12.1 metros ó 40 pies, que es el ancho aproximado de un remolcador), similar a los criterios de diseño empleados en Bélgica. Este sistema de esclusas no tiene muro de aproximación, defensas, locomotoras ni dispositivos alternos de amarre en los muros, aparte de las bitas.

2.2.1 Esclusaje de buques portacontenedores

Estos buques requerirán la asistencia de dos remolcadores omnidireccionales, que deben tener una fuerza de empuje entre 50 y 60 toneladas. Se utilizará un remolcador en la proa con un calabrote y otro en la popa con un calabrote. Estos remolcadores permanecerán con el buque durante todo el procedimiento de esclusaje. Se estima que estos buques utilizarán por lo menos un remolcador mientras avanzan por el Corte Culebra y probablemente más allá.

Se considera que la aproximación a las esclusas comenzará a una distancia de cerca de tres esloras de buque del codo de la esclusa. En ese momento la velocidad del buque será cerca de tres nudos. Considerando una velocidad promedio de dos nudos, a este buque le tomará aproximadamente 10



minutos llegar a las esclusas, cuando su velocidad deberá ser de cerca de un nudo. Según la longitud de la cámara, este tipo de buque tomará aproximadamente diez minutos para entrar a la primera cámara y diez minutos adicionales hasta quedar totalmente amarrado al costado del muro. Este buque utilizará cuatro líneas para sujetarlo al muro, una línea adelante y una de costado por la proa, y una línea de popa y una línea de costado por la popa. Este arreglo es posible si hay poca o ninguna turbulencia durante el llenado de la cámara. Si existe alguna turbulencia significativa durante este proceso, hay que considerar algún otro medio para colocar el buque al costado del muro o en la mitad de la cámara.

Una vez que el nivel de agua de ambas cámaras se equipara y las compuertas adelante se han retraído totalmente, el proceso de mover el buque a la cámara siguiente es básicamente una maniobra de desatraque, avanzando aproximadamente 457.2 metros (1,500 pies), amarrando una vez más el buque al costado del muro con la asistencia de los remolcadores que lo acompañan. Este proceso toma normalmente de 25 a 30 minutos y se repite dos veces durante el procedimiento entero de esclusaje, llevando al buque hasta el lago Gatún.

Al llegar a la cámara superior, el buque procederá con la asistencia de dos remolcadores hasta el lago Gatún, donde uno de los remolcadores permanecerá con el buque. Este proceso normalmente toma de 15 a 20 minutos.

El estimado aproximado del tiempo requerido para mover un buque portacontenedores Pospanamax en este escenario a una distancia de tres esloras de buque desde el codo de la esclusa hasta entrar completamente al lago Gatún, es de aproximadamente dos horas (2:00), más el tiempo que toma llenar cada cámara y abrir y cerrar las compuertas. Es primordial que haya una holgura mínima bajo la quilla de 3 metros (10') para permitir que estos buques avancen por las esclusas a tiempo y sin ninguna otra asistencia adicional.

2.2.2 Esclusaje de graneleros secos y buques cisterna

Estos buques requerirán la asistencia de tres remolcadores omnidireccionales (en algunos casos específicos podría necesitarse un cuarto remolcador), con una fuerza de halado de 50 a 60 toneladas. Se utilizarán dos remolcadores por la proa con un calabrote y un remolcador o más con un calabrote por la popa. Dos de estos remolcadores permanecerán con el buque durante el procedimiento completo de esclusaje. Se estima que estos buques utilizarán por lo menos un remolcador mientras avanzan por el Corte Culebra y probablemente más allá.

Se considera que la aproximación a las esclusas comenzará a una distancia de cerca de tres esloras de buque del codo de la esclusa. En ese momento, la velocidad del buque será cerca de tres nudos. Considerando una velocidad promedio de 1.5 nudos, a este buque le tomará aproximadamente 25 minutos llegar a las esclusas, cuando su velocidad deberá ser de cerca de un nudo. Según la longitud de la cámara, este tipo de buque tomará aproximadamente quince minutos para entrar a la primera cámara y diez minutos adicionales hasta quedar totalmente amarrado al costado del muro. Este buque utilizará cuatro líneas para sujetarlo al muro, una línea adelante y una de costado por la proa, y una línea de popa y una línea de costado por la popa. Este arreglo es posible si hay poca o ninguna turbulencia durante el llenado de la cámara. Si existe alguna turbulencia significativa durante este proceso, hay que considerar algún otro medio para colocar el buque al costado del muro o en la mitad de la cámara.

Una vez que el nivel de agua de ambas cámaras se equipara y las compuertas de adelante se han retraído totalmente, el proceso de mover el buque a la cámara siguiente es básicamente una maniobra de desatraque, avanzando aproximadamente 457.2 metros (1,500 pies) y amarrando una vez más el buque al costado del muro con la asistencia de los remolcadores que lo acompañan. Este proceso toma normalmente 40 minutos y se repite dos veces durante el procedimiento entero de esclusaje, llevando al buque hasta el lago Gatún.



Al llegar a la cámara superior, el buque avanzará con la asistencia de dos remolcadores hasta el lago Gatún, donde uno de los remolcadores que lo atiende permanecerá con el buque. Este proceso normalmente toma de 25 minutos.

El tiempo aproximado que se requiere para mover un granelero o buque cisterna desde una distancia de tres esloras de buque desde el codo de la esclusa hasta entrar completamente al lago Gatún se estima en aproximadamente dos horas (2:35), más el tiempo que toma llenar cada cámara y abrir y cerrar las compuertas. Es primordial que haya una holgura mínima bajo la quilla de 3 metros (10') para permitir que estos buques avancen por las esclusas a tiempo y sin ninguna otra asistencia adicional.

2.3 Segundo Escenario – Buques Pospanamax – Locomotoras de cuarta generación trabajando desde un muro

Éste será un esclusaje en una esclusa de tres niveles de tamaño similar a la cámara Berendrecht (500 x 68 x 18.3 metros). Esta esclusa tendrá un muro de aproximación, defensas y locomotoras. El muro de aproximación tendrá una longitud utilizable equivalente a 1.5 veces la máxima eslora del buque proyectado (385 metros x 1.5 = 578 metros ó 1,265 pies x 1.5 = 1,895 pies). Las defensas serán del tipo “V” ó similares a las que se usan actualmente en el muro de aproximación sureste de Pedro Miguel. Se supone que se emplearán cuatro locomotoras con una fuerza de empuje de 444,800 N (100,000 lbs.), dos en la proa y dos en la popa, solamente en el esclusaje en el muro central.

2.3.1 Esclusaje de buques portacontenedores

Estos buques requerirán la asistencia de dos remolcadores omnidireccionales, con una fuerza de halado de 50 a 60 toneladas. Se utilizará un remolcador en la proa exterior y el otro en la popa con un calabrote o por la popa (*estilo Corte*). Se estima que estos buques utilizarán por lo menos un remolcador mientras avanzan por el Corte Culebra y probablemente más allá.

Se considera que la aproximación a las esclusas comenzará a una distancia de cerca de tres esloras de buque de distancia de la nariz de la esclusa. En ese momento, la velocidad del buque será cerca de tres nudos. Considerando una velocidad promedio de 2 nudos, a este buque le tomará aproximadamente 20 minutos llegar a las esclusas, cuando su velocidad deberá ser de cerca de 1.5 nudos. El buque se dirigirá al costado del muro, donde se amarrará a las locomotoras. El buque permanecerá al costado del muro, y avanzará hacia adentro de la cámara con la asistencia de dos remolcadores y cuatro locomotoras. A este buque le tomará aproximadamente 15 minutos avanzar desde la nariz hasta el codo de la esclusa. Según la longitud de la cámara, a este tipo de buque le tomará aproximadamente 12 minutos llegar a su posición dentro de la cámara. Es esencial mantener el barco al costado del muro mientras la cámara se llena y por lo tanto, este proceso debe llevarse a cabo con un efecto mínimo sobre la posición del buque dentro de la cámara.

Una vez que el nivel de agua de ambas cámaras se equipara y las compuertas de adelante se han retraído totalmente, el proceso de mover el buque a la cámara siguiente es básicamente deslizar el buque a lo largo del muro con la asistencia de cuatro locomotoras, cuidando de no desarrollar una velocidad considerable hasta que el buque se encuentre en posición en la cámara siguiente. Estos buques pueden hacer buen uso de las hélices auxiliares de la proa y de la popa, y no deben necesitar remolcadores para esta maniobra. Normalmente, este proceso toma aproximadamente 12 minutos, y se repite dos veces durante el procedimiento entero de esclusaje, llevando al buque hasta el lago Gatún.



Al llegar a la cámara superior, el buque se deslizará hasta el muro de aproximación, donde los remolcadores lo soltarán. Este proceso normalmente toma aproximadamente 12 minutos.

El tiempo aproximado que se requiere para mover un buque portacontenedores Pospanamax en este escenario desde una distancia de tres esloras de buque fuera de la nariz de la esclusa, hasta entrar al lago Gatún, es de aproximadamente una hora y treinta y cinco minutos (1:35), más el tiempo que toma llenar cada cámara y abrir y cerrar las compuertas. Es primordial que haya una holgura mínima bajo la quilla de 3 metros (10') para permitir que estos buques avancen por las esclusas a tiempo y sin ninguna otra asistencia adicional.

2.3.2 Esclusaje de graneleros secos y buques cisterna

Estos buques requerirán la asistencia de dos remolcadores omnidireccionales, con una fuerza de halado de 50 a 60 toneladas. Se utilizará un remolcador en la proa exterior y el otro en la popa con un calabrote o por la popa con un calabrote *estilo Corte*. Un remolcador permanecerá con el buque durante el procedimiento completo para ayudar a detener el buque mientras entra y sale de una cámara a la otra. Se estima que por lo menos un remolcador permanecerá con el buque mientras avanza por el Corte Culebra y probablemente más allá.

Se considera que la aproximación a las esclusas comenzará a una distancia de cerca de tres esloras de buque de distancia de la nariz de la esclusa. En ese momento, la velocidad del buque será cerca de tres nudos. Considerando una velocidad promedio de 1.5 nudos, a este buque le tomará aproximadamente 25 minutos llegar a las esclusas, cuando su velocidad deberá ser cerca de un nudo. El buque se dirigirá al costado del muro, donde se amarrará a las locomotoras. El buque permanecerá al costado del muro mientras avanza hacia adentro de la cámara con la asistencia de dos remolcadores y cuatro locomotoras. A este buque le tomará aproximadamente 25 minutos avanzar desde la nariz hasta el codo de la esclusa. Según la longitud de la cámara, a este tipo de buque le tomará aproximadamente 15 minutos llegar a su posición dentro de la cámara. Es esencial mantener el barco al costado del muro mientras la cámara se llena y por lo tanto, este proceso debe llevarse a cabo con un efecto mínimo sobre la posición del buque dentro de la cámara.

Una vez que el nivel de agua de ambas cámaras se equipara y las compuertas de adelante se han retraído totalmente, el proceso de mover el buque a la cámara siguiente es básicamente deslizar el buque a lo largo del muro con la asistencia de cuatro locomotoras, cuidando de no desarrollar una velocidad considerable hasta que el buque se encuentre en posición en la cámara siguiente. Normalmente, este proceso toma aproximadamente 20 minutos y se repite dos veces durante el procedimiento entero de esclusaje, llevando al buque hasta el lago Gatún.

Al llegar a la cámara superior, el buque se deslizará hasta el muro de aproximación, donde los remolcadores lo soltarán. Este proceso normalmente toma aproximadamente 18 minutos.

El tiempo aproximado que se requiere para mover un granelero seco o buque cisterna Pospanamax desde una distancia de tres esloras de buque fuera de la nariz de la esclusa hasta entrar completamente al lago Gatún, es de aproximadamente dos horas (2:00), más el tiempo que toma llenar cada cámara y abrir y cerrar las compuertas. Es primordial que haya una holgura mínima bajo la quilla de 3 metros (10') para permitir que estos buques avancen por las esclusas a tiempo y sin ninguna otra asistencia adicional.



2.4 Tercer Escenario – Buques Pospanamax - Amarre a un muro asistido con remolcadores y un transporte de sogas

Este será un esclusaje en una esclusa de tres niveles con cámaras de tamaño similar a las de Berendrecht (500 x 68 x 18.3 metros). Esta esclusa no tendrá muro de aproximación ni locomotoras, pero incluirá un sistema de defensas dentro de la cámara. Las defensas serán del tipo “V” o similares a las que se utilizan actualmente el muro sureste de aproximación de Pedro Miguel. La misma empleará un dispositivo de “transporte de sogas” que ayudará a mover las líneas de amarre del buque al costado del muro. Este dispositivo de transporte de sogas puede considerarse únicamente una bita móvil y debe diseñarse para que soporte cierta tensión inevitable de las líneas de amarre del buque.

Este procedimiento de esclusaje empleando un transporte de sogas, que también se conoce como bita rodante, será similar al que se describe en el Escenario Uno, con la única diferencia que el tiempo que toma amarrar el buque dentro de la cámara cuando está en posición, y avanzar de una cámara a la otra, podría reducirse cinco minutos en cada maniobra.

Si intentamos mover el buque de una cámara a la otra deslizándolo a lo largo del muro, las líneas de amarre no serán capaces de soportar las fuerzas hidrodinámicas que se producirían, creando una situación peligrosa si las líneas de amarre se revientan.

La única forma de realizar esta maniobra y con cierto grado de riesgo es empleando el procedimiento descrito en el Escenario Uno y manteniendo las líneas flojas mientras el buque avanza de una cámara a la otra. Existen peligros inherentes con este procedimiento. En primer lugar, las líneas flojas pueden atascarse en la hélice o en las hélices auxiliares. En segundo lugar, el efecto de desgaste por el rozamiento de las líneas flojas contra el muro mientras que el buque avanza aproximadamente 457.2 metros (1,500 pies) en cada cámara reducirá considerablemente la resistencia de las líneas. Por consiguiente, es extremadamente importante que el transporte de sogas evite el contacto de las líneas de amarre contra el muro y que se evite también el contacto de las líneas con el agua en coordinación con la tripulación del buque.

2.5 Cuarto Escenario – Buques Pospanamax – Amarre en la mitad de la cámara asistido con remolcadores

Este será un esclusaje en una esclusa de tres niveles con cámaras de tamaño similar a las de Berendrecht (500 x 68 x 18.3 metros). Esta esclusa no tendrá muro de aproximación, defensas, locomotoras ni equipo alterno de amarre en los muros, aparte de las bitas. En este escenario, el buque se coloca en la mitad de la cámara con líneas de amarre a ambos lados del buque (similar al procedimiento que se utiliza actualmente para los esclusajes manuales en la cámara central).

2.5.1 Esclusaje de buques portacontenedores

Estos buques requerirán la asistencia de dos remolcadores omnidireccionales, con una fuerza de halado de 50 a 60 toneladas. Se utilizará un remolcador por la proa con un calabrote y otro remolcador con un calabrote por la popa. Estos remolcadores permanecerán con el buque durante el procedimiento completo de esclusaje. Se estima que estos buques utilizarán por lo menos un remolcador mientras avanzan por el Corte Culebra y probablemente más allá.

Se considera que la aproximación a las esclusas comenzará a una distancia de cerca de tres esloras de buque del codo de la esclusa. En ese momento, la velocidad del buque será cerca de tres nudos. Considerando una velocidad promedio de dos nudos, a este buque le tomará aproximadamente 20 minutos llegar a las esclusas, cuando su velocidad deberá ser de cerca de un nudo. Según la



longitud de la cámara, este tipo de buque tomará aproximadamente diez minutos entrar a la cámara y diez minutos adicionales hasta quedar totalmente amarrado en la mitad de la cámara. Este buque utilizará cuatro líneas: dos líneas adelante, una a cada lado de la proa y dos líneas de popa, una en cada aleta.

El arreglo descrito arriba sólo será posible si hay poca o ninguna turbulencia durante el llenado de la cámara durante un esclusaje ascendente o un esclusaje descendente. Si existe alguna turbulencia significativa durante este proceso, las líneas del buque no serían capaces de resistir la tensión de las fuerzas que actúan sobre el buque, y el resultado final más probable sería que las líneas se romperían. Ello pondría en peligro la vida de los pasabarcos a bordo del buque así como la de las personas en tierra, y también podría causar daño estructural al casco del buque y a los muros de las esclusas. Si la turbulencia es de tal magnitud que no puede evitarse el movimiento del buque, entonces hay que evitar este procedimiento a toda costa, y evaluar algún otro método para colocar el buque en la mitad de la cámara.

Una vez que el nivel de agua de ambas cámaras se equipara y las compuertas de adelante se han retraído totalmente, el proceso de mover el buque hacia la cámara siguiente es básicamente el de mover el barco hacia delante aproximadamente 457.2 metros (1,500 pies), y sujetarlo nuevamente en la mitad de la cámara. Normalmente, este proceso toma 20 minutos y se repite dos veces durante el procedimiento entero de esclusaje, llevando al buque hasta el lago Gatún.

Al llegar a la cámara superior, el buque avanzará con la asistencia de dos remolcadores hasta el lago Gatún, donde uno de los remolcadores que lo atiende permanecerá con el buque. Este proceso normalmente toma de 15 minutos.

El tiempo aproximado que se requiere para mover un portacontenedores Pospanamax desde una distancia de tres esloras de buque desde el codo de la esclusa hasta entrar completamente al lago Gatún se estima en aproximadamente una hora y treinta y cinco minutos (1:35), más el tiempo que toma llenar cada cámara y abrir y cerrar las compuertas. Es primordial que haya una holgura mínima bajo la quilla de 3 metros (10') para permitir que estos buques avancen por las esclusas a tiempo y sin ninguna otra asistencia adicional.

2.5.2 Esclusaje de graneleros secos y buques cisterna

Estos buques requerirán la asistencia de tres remolcadores omnidireccionales (en algunos casos específicos será necesario un cuarto remolcador), con una fuerza recomendada de halado de 50 a 60 toneladas. Se utilizarán dos remolcadores en la proa con un calabrote y el otro remolcador (u otros) en la popa con un calabrote o por la popa con un calabrote *estilo Corte*. Dos de estos remolcadores permanecerán con el buque durante el procedimiento completo del esclusaje. Se estima que por lo menos un remolcador permanecerá con el buque mientras avanza por el Corte Culebra y probablemente más allá.

Se considera que la aproximación a las esclusas comenzará a una distancia de cerca de tres esloras de buque de distancia del codo de la esclusa. En ese momento, la velocidad del buque será cerca de tres nudos. Considerando una velocidad promedio de 1.5 nudos, a este buque le tomará aproximadamente 25 minutos llegar a las esclusas, cuando su velocidad deberá ser de cerca de un nudo. Según la longitud de la cámara, a este tipo de buque le tomará aproximadamente 15 minutos entrar a la cámara, más diez minutos adicionales para quedar totalmente amarrado en la mitad de la cámara. Este buque deberá utilizar cuatro líneas: dos líneas adelante con una a cada lado de la proa y dos líneas de popa, con una en cada aleta.

El arreglo descrito arriba sólo será posible si hay poca o ninguna turbulencia durante el llenado de la cámara durante un esclusaje ascendente o un esclusaje descendente. Si existe alguna turbulencia significativa durante este proceso, las líneas del buque no serían capaces de resistir la tensión de las



fuerzas que actúan sobre el buque, y el resultado final más probable sería que las líneas se romperían. Ello pondría en peligro la vida de los pasabarcos a bordo del buque así como la de las personas en tierra, y también podría causar daño estructural al casco del buque y a los muros de las esclusas. Si la turbulencia es de tal magnitud que no puede evitarse el movimiento del buque, hay que evitar este procedimiento a toda costa y evaluar algún otro método para colocar el buque en la mitad de la cámara.

Una vez que el nivel de agua de ambas cámaras se equipara y las compuertas de adelante se han retraído totalmente, el proceso de mover el buque a la cámara siguiente es básicamente el de avanzar el buque aproximadamente 457.2 metros (1,500 pies), y amarrarlo una vez más en la mitad de la cámara. Normalmente, este proceso toma aproximadamente 30 minutos y se repite dos veces durante el procedimiento entero de esclusaje, llevando al buque hasta el lago Gatún.

Al llegar a la cámara superior, el buque se moverá con la asistencia de dos remolcadores hacia el lago Gatún, donde uno de los remolcadores permanecerá con el buque. Este proceso normalmente toma aproximadamente 20 minutos.

El tiempo aproximado que se requiere para mover un granelero seco o buque cisterna Pospanamax, desde una distancia de tres esloras de buque desde el codo de la esclusa hasta llegar al lago Gatún, es de aproximadamente dos horas y diez minutos (2:10), más el tiempo que toma llenar cada cámara y abrir y cerrar las compuertas. Es primordial que haya una holgura mínima bajo la quilla de 3 metros (10') para permitir que estos buques avancen por las esclusas a tiempo y sin ninguna otra asistencia adicional.

2.6 Quinto Escenario – Buques Panamax Plus con amarre al muro asistido con remolcadores

Este será un esclusaje en una esclusa de tres niveles con cámaras de tamaño similar a las de Berendrecht (500 x 68 x 18.3 metros). Esta esclusa no tiene muro de aproximación, defensas, locomotoras ni equipo alterno de amarre ubicado en los muros aparte de las bitas.

Dimensiones de los buques

Para este escenario, los supuestos son de dos tipos de buques. Uno será un buque portacontenedores con las siguientes dimensiones: eslora total de 294.1 metros (965 pies); manga máxima de 32.3 metros (106 pies) y calado máximo de 14.02 metros (46 pies). El otro tipo de buque será un granelero o un buque cisterna con las siguientes dimensiones: eslora total de 224.9 metros (738 pies), manga máxima de 32.3 metros (106 pies) y calado máximo de 14.02 metros (46 pies). Se supone que los buques portacontenedores de los siguientes escenarios estarán equipados con hélices auxiliares en la proa y en la popa.

2.6.1 Esclusaje de buques portacontenedores

Estos buques requerirán la asistencia de dos remolcadores omnidireccionales, con una fuerza recomendada de halado de 50 a 60 toneladas. Se utilizarán dos remolcadores en la proa con un calabrote y el otro remolcador (u otros) en la popa con un calabrote o por la popa con un calabrote *estilo Corte*. Estos remolcadores permanecerán con el buque durante el procedimiento completo del esclusaje. Se estima que por lo menos un remolcador permanecerá con el buque mientras avanza por el Corte Culebra y probablemente más allá.

Se considera que la aproximación a las esclusas comenzará a una distancia de cerca de tres esloras de buque desde el codo de la esclusa. En ese momento, la velocidad del buque deberá ser de cerca de dos nudos. Considerando una velocidad promedio de dos nudos, a este buque le tomará



aproximadamente 15 minutos llegar a las esclusas, cuando su velocidad deberá ser de cerca de 1.5 nudos. Según la longitud de la cámara, a este tipo de buque le tomará aproximadamente 10 minutos entrar a la cámara, más cinco minutos adicionales para quedar totalmente amarrado al costado del muro. Este buque deberá utilizar cuatro líneas para amarrarlo al costado del muro: una línea adelante y una línea de costado por la proa, y una línea por la popa y una línea de costado por la popa. Este arreglo es posible si hay poca o ninguna turbulencia durante el llenado de la cámara. Si existe alguna turbulencia significativa durante este proceso, hay que considerar algún otro método para colocar el buque al costado del muro o en la mitad de la cámara.

Una vez que el nivel de agua de ambas cámaras se equipara y las compuertas de adelante se han retraído totalmente, el proceso de mover el buque a la cámara siguiente es básicamente una maniobra de desatraque, avanzando aproximadamente 457.2 metros (1,500 pies), y de amarrar el buque nuevamente al costado del muro. Normalmente, este proceso toma aproximadamente 20 minutos y se repite dos veces durante el procedimiento entero de esclusaje, llevando al buque hasta el lago Gatún.

Al llegar a la cámara superior, el buque se moverá con la asistencia de dos remolcadores hacia el lago Gatún, donde uno de los remolcadores permanecerá con el buque. Este proceso normalmente toma aproximadamente 10 minutos.

El tiempo aproximado que se requiere para mover un portacontenedores Panamax Plus desde una distancia de tres esloras de buque desde el codo de la esclusa hasta llegar al lago Gatún es de aproximadamente una hora y veinte minutos (1:20), más el tiempo que toma llenar cada cámara y abrir y cerrar las compuertas. Es primordial que haya una holgura mínima bajo la quilla de 3 metros (10') para permitir que estos buques avancen por las esclusas a tiempo y sin ninguna otra asistencia adicional.

2.6.2 Esclusaje de graneleros y buques cisterna

Estos buques requerirán la asistencia de tres remolcadores omnidireccionales con una fuerza recomendada de halado de 50 a 60 toneladas. Se utilizarán dos remolcadores en la proa con un calabrote y el otro remolcador en la popa con un calabrote o por la popa con un calabrote *estilo Corte*. Dos de estos dos remolcadores permanecerán con el buque durante el procedimiento completo del esclusaje. Se estima que por lo menos un remolcador permanecerá con el buque mientras avanza por el Corte Culebra y probablemente más allá.

Se considera que la aproximación a las esclusas comenzará a una distancia de cerca de tres esloras de buque de distancia del codo de la esclusa. En ese momento, la velocidad del buque será cerca de tres nudos. Considerando una velocidad promedio de 1.5 nudos, a este buque le tomará aproximadamente 15 minutos llegar a las esclusas, cuando su velocidad deberá ser de cerca de un nudo. Según la longitud de la cámara, a este tipo de buque le tomará aproximadamente 10 minutos entrar a la cámara, más cinco minutos adicionales para quedar totalmente amarrado al costado del muro. Este buque deberá utilizar cuatro líneas para amarrarse al muro: una línea adelante y una línea de costado por la proa, y una línea de popa con una línea de costado por la popa. Este arreglo sólo es posible si hay poca o ninguna turbulencia durante el llenado de la cámara. Si existe alguna turbulencia significativa durante este proceso, hay que considerar algún otro método para colocar el buque al costado del muro o en la mitad de la cámara.

Una vez que el nivel de agua de ambas cámaras se equipara y las compuertas de adelante se han retraído totalmente, el proceso de mover el buque a la cámara siguiente es básicamente una maniobra de desatraque, avanzando el buque aproximadamente 457.2 metros (1,500 pies), y amarrándolo una vez más al costado del muro. Normalmente, este proceso toma aproximadamente 25 minutos y se repite dos veces durante el procedimiento entero de esclusaje, llevando al buque hasta el lago Gatún.



Al llegar a la cámara superior, el buque se moverá con la asistencia de dos remolcadores hacia el lago Gatún, donde uno de los remolcadores permanecerá con el buque. Este proceso normalmente toma aproximadamente 15 minutos.

El tiempo aproximado que se requiere para mover un granelero seco o buque cisterna Panamax Plus desde una distancia de tres esloras de buque desde el codo de la esclusa hasta llegar al lago Gatún, es de aproximadamente una hora y treinta y cinco minutos (1:35), más el tiempo que toma llenar cada cámara y abrir y cerrar las compuertas. Es primordial que haya una holgura mínima bajo la quilla de 3 metros (10') para permitir que estos buques avancen por las esclusas a tiempo y sin ninguna otra asistencia adicional.

2.7 Sexto Escenario – Buques Panamax Plus en tándem

Este será un esclusaje en una esclusa de tres niveles con cámaras de tamaño similar a las de Berendrecht (500 x 68 x 18.3 metros). Esta esclusa no tiene muro de aproximación, defensas, locomotoras ni aparejos alternos de amarre ubicados en los muros aparte de las bitas. Para este escenario consideraremos la posibilidad de esclusajes en tándem, con ambos buques amarrados al mismo muro manteniendo una distancia mínima de 15.24 metros (50 pies) desde las compuertas (por la proa y por la popa) y 22.86 metros (75 pies) entre los buques

Dimensiones de los Buques

Para este escenario suponemos que hay un tándem de dos buques de 213.4 metros (700 pies) de eslora, 32.3 metros (106 pies) de manga y hasta 14.02 metros (46 pies) de calado. Estos podrían ser buques portacontenedores, graneleros secos y buques de carga general.

2.7.1 Procedimiento de Esclusaje

El procedimiento de esclusaje será similar al que se emplea en el quinto escenario con los tiempos estimados, dependiendo del tipo de buques en el tándem metros y la disponibilidad de remolcadores para todos los buques en cuestión. El tiempo adicional que debe incluirse en este procedimiento es el tiempo que el segundo buque debe esperar para entrar, avanzar a la siguiente cámara y salir de las esclusas.

El primer buque entrará a la cámara utilizando el mismo procedimiento descrito en el escenario cinco. El segundo buque tendrá que esperar hasta que el primer buque haya entrado a las esclusas para iniciar su aproximación. El mantener una distancia segura de aproximadamente tres esloras del buque que se encuentra adelante significa que el segundo buque entrará a las esclusas aproximadamente 20 minutos después del primero.

El movimiento entre las cámaras puede acelerarse si ambos buques tienen su propio conjunto de remolcadores. En caso contrario habrá demoras en liberar a los remolcadores de un buque para asistir al otro y viceversa.

Si ambos buques tienen su propio conjunto de remolcadores, el segundo buque probablemente tendrá que esperar hasta que el primer buque se encuentre a una distancia segura antes de soltar las líneas y entrar a la siguiente cámara. Ésto será probablemente 15 minutos después que el primer buque haya comenzado a moverse.

Si hay solamente un conjunto de remolcadores asignado a mover los dos buques de una cámara a la otra, el segundo buque tendrá que esperar hasta que el primero esté amarrado al costado del muro y los remolcadores se liberen y se amarren al segundo buque para avanzar. El tiempo que toma



liberar los remolcadores del primer buque y amarrar los remolcadores al segundo buque es de aproximadamente 15 minutos.

Cuando los buques se encuentren listos para abandonar las esclusas, el segundo buque tendrá que esperar hasta que el primer buque haya abandonado completamente las esclusas antes de soltar las líneas y avanzar hacia el lago Gatún.

Se estima que el tiempo que se requiere para mover dos graneleros secos Panamax, si ambos buques tienen su propio conjunto de remolcadores asignados, por una distancia de tres esloras de buque desde del codo hasta entrar al lago Gatún es de aproximadamente dos horas y cuarenta minutos (2:40), más el tiempo que toma llenar cada cámara y abrir y cerrar las compuertas. Si hay solamente un conjunto de remolcadores para asistir a ambos buques de una cámara a otra hacia el lago Gatún, hay que añadir 50 minutos al estimado anterior del tiempo. Estos tiempos pueden ajustarse dependiendo de la combinación de los buques del tándem; normalmente, los buques portacontenedores o los cargueros de vehículos deben tomar menos tiempo para realizar estas maniobras. Es primordial que haya una holgura mínima bajo la quilla de 3 metros (10') para permitir que estos buques avancen por las esclusas a tiempo y sin ninguna otra asistencia adicional.

2.8 Séptimo Escenario – Buques Múltiples

Este será un esclusaje en una esclusa de tres niveles con cámaras de tamaño similar a las de Berendrecht (500 x 68 x 18.3 metros). Esta esclusa no tiene muro de aproximación, defensas, locomotoras ni equipo alterno de amarre en los muros aparte de las bitas.

Para este escenario consideraremos una combinación diferente de buques dentro de la cámara utilizando ambos muros para amarrar los buques. Una limitación de manga máxima combinada de 53.3 metros (175 pies) será la restricción para este escenario, dejando un espacio libre de 13.7 metros (45 pies) entre la manga de los buques. Hay que mantener una distancia mínima de 15.2 metros (50 pies) desde las compuertas (proa y popa) y 22.9 metros (75 pies) entre los buques.

Dimensiones de los Buques

Para este escenario consideraremos buques de distintos tamaños con las siguientes dimensiones máximas: 294 metros (965 pies) de eslora total, 32.3 metros (106 pies) de manga máxima y un calado profundo de 14.02 metros (46 pies). La manga máxima combinada no deberá ser mayor de 53.3 metros (175 pies) La longitud agregada de los buques no deberá exceder la longitud utilizable de la cámara, tomando en consideración la distancia desde los buques hasta las compuertas y entre cada buque.

En este ejemplo en particular emplearemos un granelero de 221 x 32.3 x 12.2 metros (725 x 106 x 40 pies), un buque portacontenedores de 183 x 28.9 x 10.9 metros (600 x 95 x 36 pies), un buque de carga general de 160 x 22.9 x 9.8 metros (525 x 75 x 32 pies) y un buque frigorífico de 143.3 x 19.8 x 7.9 metros (470 x 65 x 26 pies).

2.8.1 Procedimiento de Esclusaje

El tamaño de los buques determinará el arreglo y orden en que han de colocarse dentro de la cámara. Para la combinación arriba descrita el orden será el siguiente: primero, el granelero; segundo, el buque frigorífico; tercero, el buque portacontenedores y cuarto, el buque de carga general.

Debe darse preferencia a los buques más grandes y pesados para entrar a la cámara primero. Esto garantizará que la cámara completa esté disponible para este buque a fin de maniobrar en forma segura dentro de la cámara. El segundo buque que entre será el que se encuentre amarrado por el



través del buque mayor en el muro opuesto. El tercer buque que entre debe ser el segundo más grande, garantizando que el ancho total de la cámara esté disponible para que este buque pueda maniobrar dentro. El cuarto buque que entre debe ser el que está amarrado por el través del segundo buque más grande.

El procedimiento de esclusaje para un granelero y un buque portacontenedores será una combinación de los procedimientos explicados en los escenarios cinco y seis.

Los buques más pequeños en este esclusaje, el de carga general y el frigorífico requerirán la asistencia de dos remolcadores omnidireccionales con una fuerza recomendada de halado entre 30 y 40 toneladas. Se utilizará un remolcador en la proa con un calabrote y otro remolcador por la popa con un calabrote. Si alguno de estos buques está equipado con hélices auxiliares de proa o popa, la cantidad de remolcadores necesarios para asistir en la maniobra podría ajustarse.

Descripción del procedimiento para los dos buques más pequeños:

Se considera que la aproximación a las esclusas comenzará a una distancia de cerca de tres esloras de buque de distancia del codo de la esclusa. En ese momento, la velocidad del buque será cerca de tres nudos. Considerando una velocidad promedio de 1.5 nudos, a este buque le tomará aproximadamente 10 minutos llegar a las esclusas, cuando su velocidad deberá ser de cerca de un nudo. Según la longitud de la cámara, a este tipo de buque le tomará aproximadamente 10 minutos entrar a la cámara, más cinco minutos adicionales para quedar totalmente amarrado al costado del muro. Este buque deberá utilizar cuatro líneas para amarrarse al muro: una línea adelante y una línea de costado por la proa, y una línea de popa con una línea de costado por la popa. Este arreglo sólo es posible si hay poca o ninguna turbulencia durante el llenado de la cámara. Si existe alguna turbulencia significativa durante este proceso, hay que considerar algún otro método para colocar el buque al costado del muro. Se supone que únicamente dos remolcadores estarán en el esclusaje con los buques para ayudar a moverlos a las siguientes cámaras y luego hacia el lago Gatún.

Una vez que el nivel de agua de ambas cámaras se equipara y las compuertas de adelante se han retraído totalmente, los buques avanzarán a la cámara siguiente en el mismo orden en que entraron a la primera.

El proceso de mover los buques más pequeños a la cámara siguiente es básicamente una maniobra de desatraque, avanzando aproximadamente 457.2 metros (1,500 pies), y amarrando al buque una vez más al costado del muro con la ayuda de la misma cantidad de remolcadores que se utilizó al avanzar dentro de la cámara. Normalmente, este proceso toma aproximadamente 18 minutos por cada uno de los buques más pequeños y se repite dos veces durante el procedimiento entero de esclusaje, llevándolos hasta el lago Gatún.

Al llegar a la cámara superior, el buque se moverá con la asistencia de un remolcador hacia el lago Gatún, delante de los buques mayores. Este proceso normalmente toma aproximadamente 10 minutos por buque pequeño. Se supone que habrá por lo menos dos remolcadores más disponibles al nivel del lago Gatún, ya que los dos buques mayores necesitaran remolcadores para proseguir por el Corte Culebra.

El tiempo aproximado que se requiere para mover la combinación de buques que se describen en este escenario a una distancia de tres esloras de buque desde el codo de la esclusa hasta llegar al lago Gatún, es de aproximadamente seis horas (6:00), más el tiempo que toma llenar cada cámara y abrir y cerrar las compuertas. Es primordial que haya una holgura mínima bajo la quilla de 3 metros (10') para permitir que estos buques avancen por las esclusas a tiempo y sin ninguna otra asistencia adicional.



2.9 Asistencia de Remolcadores

2.9.1 Procedimientos de Esclusaje

Las operaciones de remolcadores para asistencia a buques en las áreas circundantes a las esclusas Pospanamax de Berendrecht y Zandvliet en Bélgica son ligeramente distintas a la práctica en el Canal de Panamá. Mientras que en el puerto de Amberes la práctica regular es la utilización del remolque indirecto, en el Canal de Panamá el método básico de la asistencia a buques es el método de empujar y halar.

Los buques que se aproximan a las esclusas requerirán asistencia de remolcadores a fin de asegurar un esclusaje seguro y rápido. Esto puede lograrse principalmente con el uso de dos remolcadores, uno en la proa y el otro en la popa. En algunos casos, dependiendo del viento o las condiciones del tiempo y las características de los buques (fuerza del motor, disponibilidad de hélices auxiliares de proa y popa), podría ser necesario emplear uno o dos remolcadores adicionales. Se recomienda que el remolcador de proa pase su calabrote por la gatera central del buque; es decir, alineado con la roda (Figuras 2-4 y 2-5). Ello le permitirá al remolcador de proa tirar hacia cualquier lado según se lo solicite el práctico para una asistencia efectiva al buque. En este escenario, los remolcadores deben ser sumamente maniobrables para lograr la efectividad deseada. El remolcador de popa podría amarrarse a la bita retraída del buque, si la tiene, o con un calabrote (Figura 2-6).



Figura 2-4. Remolcador de proa utilizando un calabrote por la gatera central.



Figura 2-5. Remolcador de popa utilizando un calabrote por la gatera central.



Figura 2-6. Remolcador de popa utilizando un calabrote a través de la gatera central.

Si se requiere que los remolcadores asistan a los buques para que avancen de una cámara a la otra, ello debe tomarse en consideración al escoger la longitud y la anchura de las cámaras con el fin de proporcionar el espacio adecuado para las maniobras. Si las nuevas esclusas se construyen de un solo nivel, se necesitan por lo menos 12.2 metros (40 pies) de espacio libre de ancho para que los remolcadores salgan de la cámara cuando no hay necesidad de que el remolcador para realice el esclusaje con el buque (Figuras 2-7 y 2-8).



Figura 2-7. Remolcador de proa saliendo de la cámara después de terminar la maniobra de atraque.



Figura 2-8. Remolcador entrando a la cámara para asistir a un buque durante la maniobra de salida.

2.9.2 Recursos de Remolcadores

Si se requiere la asistencia de remolcadores para que los buques Pospanamax entren y salgan de las esclusas, ello exigirá la asignación de nuestros remolcadores más poderosos, que son los que tienen una fuerza de halado de 55 toneladas.

Los buques que navegan por el río Schelde en Bélgica son asistidos con cualquiera de los 15 remolcadores de río que son de propiedad y están administrados por la compañía de remolcadores Unie Van Redding-En Sleepdienst (U.R.S.), y los buques del puerto de Amberes son asistidos con cualquiera de los 22 remolcadores del puerto (todos con sistemas Voith de propulsión con fuerzas



de halado entre 28 y 55 toneladas) de propiedad y administrados por la compañía de remolcadores de la autoridad portuaria.

La flota de remolcadores de U.R.S. está compuesta de remolcadores A.S.D, Voith y Combi (Figuras 2-9 y 2-10), con fuerzas de halado de 37 a 55 toneladas.



Figura 2-9. Remolcador con propulsión Voith entrando a la cámara para asistir a un buque.

Para las futuras operaciones de remolcadores del Canal de Panamá en base a las operaciones observadas en el puerto de Amberes, los remolcadores ASD con una fuerza de halado de 55 toneladas serán aptos para una asistencia apropiada a los buques. Es importante considerar que si el procedimiento de operación para asistir a los buques Pospanamax por la proa ha de ser enviando líneas de remolcador a través de la gatera central de la proa, nuestra siguiente generación de remolcadores no solamente necesita ser poderosa y sumamente maniobrable, sino también tener una visibilidad total en todas direcciones.

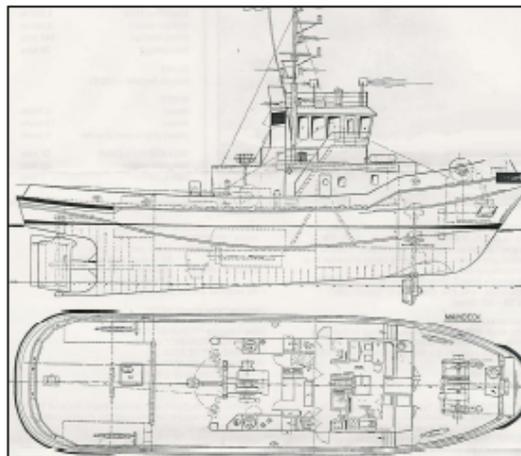


Figura 2-10. Remolcador de propulsión Voith



El diseño de los futuros remolcadores futuros A.S.D. debe permitirle al capitán de remolcador realizar la operación de remolque por la proa (Figura 2-11) ó por la popa del remolcador.



Figura 2-11. Remolcador halando un buque portacontenedores Pospanamax desde su popa

La cantidad total de remolcadores para las operaciones en la nueva vía de esclusas Pospanamax dependerá de varios factores. Entre ellos está el número de buques que hay que atender y la infraestructura de la esclusa (de uno, dos o tres niveles). El escenario que requiere la menor cantidad de remolcadores es la opción de construir una esclusa de un nivel con considerando las dimensiones adecuadas, como se mencionó anteriormente.

En una esclusa de un nivel trabajando en modo alterno, que es la única forma de programar dicha esclusa sin un enorme uso de agua y una capacidad disminuida, serían deseables tres remolcadores para estas operaciones; dos remolcadores para asistir al buque que va a entrar a las esclusas, mientras que otro remolcador asiste al siguiente buque y espera que otro sea liberado del buque que lo precedió. Si el alineamiento favorece la maniobrabilidad, dos remolcadores podrían ayudar a entrar a las esclusas a los buques de manera segura.

Si se construyen esclusas de más de un nivel, se recomienda introducir el concepto de “remolcadores de esclusas”. Esto significa que se tendrían remolcadores (uno para una esclusa de dos niveles, dos para una esclusa de tres niveles) en las esclusas trabajando por la proa del buque y ayudándolos a avanzar de una cámara a la otra.

En todos los escenarios, los buques que requieren asistencia de remolcador para salir de las esclusas podrían recibir su remolcador asignado desde la siguiente área navegable o, según las necesidades logísticas, los remolcadores podrían proceder al esclusaje con el buque.



La eslora y la manga de los remolcadores se tornan importantes si utilizamos los remolcadores para asistir a los buques en las esclusas. Se recomienda considerar la factibilidad de emplear un “remolcador compacto” (Figura 2-12) para las operaciones futuras del Canal. Estos remolcadores son de 24 metros de eslora y 11 metros de manga (los remolcadores de la ACP de 55 toneladas son de 30.8 metros de eslora y 11.1 metros de manga). Estudios recientes presentados por Robert Allan LTD. a la industria de los remolcadores han revelado que el remolcador compacto puede proporcionar de manera segura hasta 65 toneladas de fuerza de halado. Una tripulación de tres personas puede operar estos remolcadores.

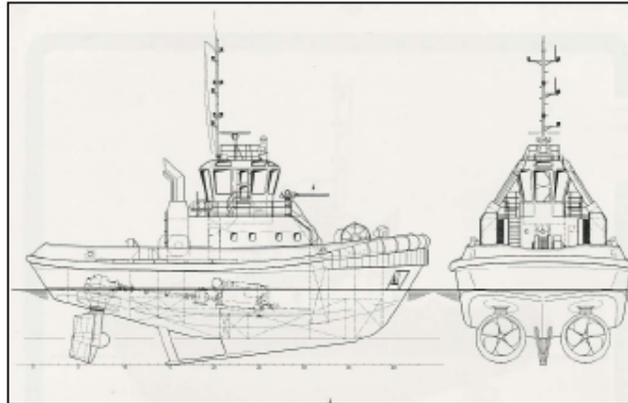


Figura 2-12. El remolcador “compacto” que se propone para utilizarlo exclusivamente en las operaciones futuras de esclusaje.

En la actualidad tenemos la posibilidad de obtener remolcadores ya listos del mercado de construcción de remolcadores. Los beneficios son principalmente una reducción importante de la inversión total inicial y un corto tiempo de entrega (tres meses de acuerdo con los representantes de los astilleros Damen).



3. CAPACIDAD OPERATIVA DE LAS NUEVAS ESCLUSAS

3.1 Tiempos de Esclusaje

Uno de los puntos más importantes que puede determinar la factibilidad de utilizar remolcadores como sistema de posicionamiento de buques en las nuevas esclusas Pospanamax será su impacto en la capacidad de las esclusas para el tránsito de buques. La capacidad de las esclusas la determina el tiempo de llenado y vaciado más el tiempo requerido para los diversos movimientos de los buques (aproximación a la esclusa, entrada a la cámara, desplazamiento de una cámara a otra y salida de la esclusa) y también depende del número de niveles de la esclusa.

Durante la visita del Equipo de Evaluación a las esclusas Pospanamax en el puerto de Amberes, se registraron los tiempos de todos los buques abordados y los mismos se presentan en las siguientes tablas. Se añadirán los tiempos de llenado y vaciado para las diferentes configuraciones posibles de esclusas, tomados de los borradores de los informes respectivos enviados por el Consorcio Post-Panamax (CPP) sobre las esclusas de uno y tres niveles y por el Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. (USACE) sobre una esclusa de dos niveles. Empleando este método, se presentan los estimados de los buques Pospanamax y Panamax para las tres posibles configuraciones de las esclusas.

Nota: En vista de que en estas esclusas no se emplean muros de aproximación, se utilizó un estimado de 1,300 metros desde el área del codo de la esclusa, o sea, 3.4 esloras de buque, para ubicar el punto de inicio de la aproximación que se utiliza con el fin de establecer los tiempos de llegada

- A. Esclusa: **Berendrecht** – 68 metros ancho x 500 metros largo
Nombre del Buque: **Ormond** Tipo de Buque: Granelero seco Pospanamax
Tonelaje de carga: 114,025 toneladas Eslora total: 299.8 m
Manga: 47.2 metros Calado: 13.8 metros
Remolcadores empleados: 2; 1 por la proa y 1 por la popa
Maniobra utilizada: Salir de la esclusa para atracar en la ribera derecha interna

Tiempos:

Posición del buque	Hora	Maniobra	Tiempo total (mins.)
Comienza a colocar amarras	06:35	Soltando amarras	5.0
Termina de colocar amarras	06:40	Salida de la cámara	22.0
Sale de la esclusa	07:02		

Tabla 3-1-1. Tiempo registrado para el buque “Ormond”.



- B. Esclusa: Berendrecht – 68 metros de ancho x 500 metros de largo
Nombre del Buque: CSK Unity Tipo de Buque: Granelero seco Panamax
Tonelaje de carga: 68,519 toneladas Eslora total: 224 m
Manga: 32.2 metros 110
Calado: F-9.54 metros; M- 9.69 metros; A- 9.94 metros
Remolcadores empleados: 3; 2 en la proa y 1 hacia popa
Maniobra utilizada: Entrar en la esclusa desde el Río Schelde, giro de 90° con corrientes cruzadas

Tiempos:

Posición del buque	Hora	Velocidad (en nudos)	Maniobra	Tiempo total (mins.)
Comienza su aproximación	14:15	5.0	Aproximación	9.0
Entra a la cámara	14:24	1.8	Entrada a la cámara	4.0
Dentro de la cámara	14:28	1.4		
Comienza a colocar amarras	14:32	1.4		
Termina de colocar amarras	14:35	-	Amarre y listo para el agua	5.0
Al costado del muro	14:37	-		

Tabla 3-1-2. Tiempo registrado para el buque “CSK Unity”.

- C. Esclusa: Terneuzen – 40 metros de ancho x 290 de metros largo
Nombre del Buque: Hilal 1 Tipo de Buque: Granelero seco Panamax
Manga: 26.07 metros Eslora total: 185.37 metros
Calado: 11.0 metros
Remolcadores empleados: 3; 2 en la proa y 1 en la popa
Maniobra utilizada: Entrar en la esclusa desde el Río Schelde, giro de 90° con corrientes cruzadas. Vientos fuertes. Ancho limitado disponible (38 metros). Condiciones similares al buque del diseño entrando en las nuevas esclusas propuestas.

Tiempos:

Posición del buque	Hora	Maniobra	Tiempo total (mins.)
Comienza su aproximación	15:04	Aproximación	8.0
Entra a la cámara	15:12	Entrada a la cámara	3.0
Dentro de la cámara	15:15		
Comienza a colocar amarras	15:17		
Termina de colocar amarras	15:21	Amarre y listo para el agua	6.0
Al costado del muro	15:23		

Tabla 3-1-3. Tiempo registrado para el buque “Hilal 1”.



- D. Esclusa: Zandvliet – 57 metros de ancho x 500 metros de largo
Nombre del Buque: Republicca di Venezia
Tipo de Buque: Carguero de vehículos
Manga: 30.4 metros Eslora total: 213.22 metros
Calado: 8.3 metros
Hélices auxiliares: 1200 KW en la proa y 900 KW en la popa
Remolcadores empleados: 2; 1 en la proa y 1 en la popa
Maniobra utilizada: Entrar en la esclusa desde los muelles de la ribera derecha interna haciendo un giro de 90°. Vientos muy fuertes. De noche.

Tiempos:

Posición del buque	Hora	Maniobra	Tiempo total (mins.)
Llegada	21:57	Aproximación	13.0
Entra a la cámara	22:10	Entrada a la cámara	5.0
Dentro de la cámara	22:15		
Comienza a colocar amarras	22:14		
Termina de colocar amarras	22:19	Amarre y listo para el agua	7.0
Al costado del muro	22:21		

Tabla 3-1-4. Tiempo registrado para el buque “Republicca di Venezia”.

De los borradores de Informe de los Estudios del Concepto de Diseño para Esclusas Pospanamax que se están realizando, tomamos los siguientes tiempos de llenado y vaciado:

Cantidad de niveles y tinas	Diseñador	Rango de tiempo entre llenado y vaciado (en mins.)	Tiempo promedio de llenado y vaciado (en mins.)
Un nivel, 6 tinas	Consortio Post-Panamax	33 a 37	35
Dos niveles, 2 tinas por nivel	Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU.	13.2 a 15.1	14.2
Tres niveles, 3 tinas por nivel	Consortio Post-Panamax	12.4 a 15.3	13.9

Tabla 3-1-5. Tiempos de llenado y vaciado tomados de los estudios de Diseño Conceptual.



Considerando que *no se requiere ningún muro de aproximación* al manejar los buques únicamente con remolcadores, se estima que la maniobra de aproximación comienza a 1150 metros o aproximadamente a 3.0 esloras de buque de la entrada de la esclusa. Utilizando la información disponible, los tiempos de esclusaje consiguientes serían:

A. Esclusa de un solo nivel – Buques portacontenedores

Tiempo de maniobra (en mins.)	Amarre al costado del muro	Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	Amarre al costado del muro
	Panamax Plus	Pospanamax	Pospanamax
Aproximación	15.0	20.0	20.0
Entrada a la cámara	10.0	10.0	10.0
Amarre	5.0	10.0	10.0
Cierre de la compuerta	5.0	5.0	5.0
Llenado o vaciado	35.0	35.0	35.0
Apertura de la compuerta	5.0	5.0	5.0
Soltando amarras	5.0	5.0	5.0
Salida	5.0	10.0	15.0
Tiempo total de esclusaje	85.0	100.00	105.0
Tiempo total del esclusaje en las esclusas de Pedro Miguel (incluso el regreso de las locomotoras)	80		

Tabla 3-1-6. Tiempo estimado de esclusaje de los buques portacontenedores en una esclusa Pospanamax de un nivel.

B. Esclusa de un solo nivel – Graneleros secos o buques cisterna

Tiempo de maniobra (en mins.)	Amarre al costado del muro	Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	Amarre al costado del muro
	Panamax Plus	Pospanamax	Pospanamax
Aproximación	15.0	25.0	25.0
Entrada a la cámara	10.0	15.0	15.0
Amarre	5.0	10.0	10.0
Cierre de la compuerta	5.0	5.0	5.0
Llenado o vaciado	35.0	35.0	35.0
Apertura de la compuerta	5.0	5.0	5.0
Soltando amarras	5.0	5.0	5.0
Salida	10.0	15.0	20.0
Tiempo total de esclusaje	90.0	115.00	120.0
Tiempo total del esclusaje en las esclusas de Pedro Miguel (incluso el regreso de las locomotoras)	80		



Tabla 3-1-7. Tiempo estimado de esclusaje de los graneleros secos y buques cisterna en una esclusa Pospanamax de un nivel.

C. Dos niveles – Buques Portacontenedores

Tiempo de maniobra (en mins.)	Amarre al costado del muro	Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	Amarre al costado del muro
	Panamax Plus	Pospanamax	Pospanamax
Aproximación	15.0	25.0	25.0
Entrada a la cámara	10.0	15.0	15.0
Amarre	5.0	10.0	10.0
Cierre de la compuerta	5.0	5.0	5.0
Llenado o vaciado	14.20	35.0	35.0
Apertura de la compuerta	5.0	5.0	5.0
Soltando amarras	5.0	5.0	5.0
De una cámara a la otra	10.0	10.0	20.0
Cierre de compuerta	5.0	5.0	5.0
Amarre	5.0	5.0	5.0
Llenado o vaciado	14.2	14.2	14.2
Apertura de la compuerta	5.0	5.0	5.0
Soltando amarras	5.0	5.0	5.0
Salida	5.0	10.0	15.0
Tiempo total de esclusaje	108.4	123.4	138.4
Tiempo del ciclo de esclusaje	98.4	108.4	118.4
Tiempo de esclusaje total en las esclusas de Miraflores	95		
Tiempo total del esclusaje en las esclusas de Pedro Miguel (incluso el retorno de las locomotoras)	70		

Tabla 3-1-8. Tiempo estimado de esclusaje de buques portacontenedores en una esclusa Pospanamax de dos niveles.



D. Esclusa de dos niveles – Graneleros secos y buques cisterna

Tiempo de maniobra (en mins.)	Amarre al costado del muro	Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	Amarre al costado del muro
	Panamax Plus	Pospanamax	Pospanamax
Aproximación	15.0	25.0	25.0
Entrada a la cámara	10.0	15.0	15.0
Amarre	5.0	10.0	10.0
Cierre de la compuerta	5.0	5.0	5.0
Llenado o vaciado	14.2	14.2	14.2
Apertura de la compuerta	5.0	5.0	5.0
Soltando amarras	5.0	5.0	5.0
De una cámara a la otra	15.0	20.0	30.0
Cierre de compuerta	5.0	5.0	5.0
Amarre	5.0	5.0	5.0
Llenado o vaciado	14.2	14.2	14.2
Apertura de la compuerta	5.0	5.0	5.0
Soltando amarras	5.0	5.0	5.0
Salida	10.0	15.0	20.0
Tiempo total de esclusaje	118.4	148.4	163.4
Tiempo del ciclo de esclusaje	103.4	128.4	138.4
Tiempo de esclusaje total en las esclusas de Miraflores	95		
Tiempo total del esclusaje en las esclusas de Pedro Miguel (incluso el regreso de las locomotoras)	70		

Tabla 3-1-9. Tiempo estimado de esclusaje de los graneleros secos y buques cisterna en una esclusa Pospanamax de dos niveles.



E. Esclusa de tres niveles – Buques portacontenedores

Tiempo de maniobra (en mins.)	Amarre al costado del muro	Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	Amarre al costado del muro
	Panamax Plus	Pospanamax	Pospanamax
Aproximación	15.0	20.0	20.0
Entrada a la cámara	10.0	10.0	10.0
Amarre	5.0	10.0	10.0
Cierre de la compuerta	4.0	4.0	4.0
Llenado o vaciado	13.9	13.9	13.9
Apertura de la compuerta	4.0	4.0	4.0
Soltando amarras	5.0	5.0	5.0
De una cámara a la otra	10.0	10.0	20.0
Cierre de compuerta	4.0	4.0	4.0
Amarre	5.0	5.0	5.0
Llenado o vaciado	13.9	13.9	13.9
Apertura de la compuerta	4.0	4.0	4.0
Soltando amarras	5.0	5.0	5.0
De una cámara a otra	10.0	10.0	20.0
Cierre de la compuerta	4.0	4.0	4.0
Amarre	5.0	5.0	5.0
Llenado o vaciado	13.9	13.9	13.9
Apertura de la compuerta	4.0	4.0	4.0
Soltando amarras	5.0	5.0	5.0
Salida	5.0	10.0	15.0
Tiempo total de esclusaje	145.7	160.7	185.7
Tiempo del ciclo de esclusaje	93.8	103.8	113.8
Tiempo total o de esclusaje en las esclusas existentes del Canal de Panamá	130		
Tiempo del ciclo de en las esclusas existentes del Canal de Panamá	80		

Tabla 3-1-10. Tiempo estimado de esclusaje de buques portacontenedores en una esclusa Pospanamax de tres niveles.



F. Esclusa de tres niveles – Graneleros y buques cisterna

Tiempo de maniobra (en mins.)	Amarre al costado del muro	Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	Amarre al costado del muro
	Panamax Plus	Pospanamax	Pospanamax
Aproximación	15.0	25.0	25.0
Entrada a la cámara	10.0	15.0	15.0
Amarre	5.0	10.0	10.0
Cierre de la compuerta	4.0	4.0	4.0
Llenado o vaciado	13.9	13.9	13.9
Apertura de la compuerta	4.0	4.0	4.0
Soltando amarras	5.0	5.0	5.0
De una cámara a la otra	15.0	20.0	30.0
Cierre de compuerta	4.0	4.0	4.0
Amarre	5.0	5.0	5.0
Llenado o vaciado	13.9	13.9	13.9
Apertura de la compuerta	4.0	4.0	4.0
Soltando amarras	5.0	5.0	5.0
De una cámara a otra	15.0	20.0	30.0
Cierre de la compuerta	4.0	5.0	4.0
Amarre	5.0	5.0	5.0
Llenado o vaciado	13.9	13.9	13.9
Apertura de la compuerta	4.0	4.0	4.0
Soltando amarras	5.0	5.0	5.0
Salida	10.0	15.0	20.0
Tiempo total de esclusaje	160.7	195.7	220.7
Tiempo del ciclo de esclusaje	98.8	123.8	133.8
Tiempo total o de esclusaje en las esclusas existentes del Canal de Panamá	130		
Tiempo del ciclo de en las esclusas existentes del Canal de Panamá	80		

Tabla 3-1-11. Tiempo estimado de esclusaje de los graneleros y buques cisterna en una esclusa Pospanamax de tres niveles.



3.1.1 Alternativa de transportes de sogas

Los tiempos estimados de esclusaje de los buques Panamax en las nuevas esclusas Pospanamax son muy similares a los tiempos de tránsito ordinarios del Control de Tráfico Marítimo para buques Panamax, tal como se utilizan en las esclusas actuales. Sin embargo, si consideramos que los tiempos de llenado y vaciado de las esclusas Pospanamax son mayores debido al tiempo adicional requerido por las tinas de reutilización de agua, es evidente que si se a los buques en las cámaras se les proporciona suficiente ancho y espacio libre bajo la quilla, los tiempos de maniobra en las esclusas se reducirían dramáticamente, compensando el tiempo que se pierde con el llenado y vaciado de las cámaras y las tinas.

Si deseamos reducir aún más los tiempos de maniobra, la única área donde podría realizarse alguna mejora sería en el manejo de las líneas del buque, específicamente al amarrar y soltar las líneas al muro en cada nivel.

Es la opinión del Equipo de Evaluación que un transporte de sogas puede introducirse al proceso de esclusaje a fin de eliminar varias operaciones de amarre, cuya cantidad dependería del número de niveles. Este vehículo podría movilizarse sobre ruedas de caucho o sobre un riel, y solamente se utilizaría para llevar las líneas de un nivel a otro sin ejercer ninguna fuerza o tensión sobre las líneas; por lo tanto, no se requiere ningún diseño estructural importante, que es el caso con el sistema de locomotoras de remolque. De ser así, las líneas del buque se llevan hasta el muro sólo una vez y se enrollan hasta el buque sólo una vez. Para esclusas de dos y tres niveles, el efecto neto en los tiempos de esclusaje sería:

Esclusa de dos niveles Buques portacontenedores	Amarre al costado del muro	Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	Amarre al costado del muro
	Panamax	Pospanamax	Pospanamax
Tiempo total de esclusaje	108.4	123.4	138.4
Tiempo del ciclo de esclusaje	98.4	108.4	118.4
Tiempo total del esclusaje con transporte de sogas	98.4	113.4	128.4
Tiempo del ciclo de esclusaje con transporte de sogas	88.4	98.4	108.4
Esclusa de tres niveles Buques portacontenedores	Panamax	Pospanamax	Pospanamax
Tiempo total de esclusaje	145.7	160.7	185.7
Tiempo del ciclo de esclusaje	93.8	103.8	113.8
Tiempo total de esclusaje con transporte de sogas	125.7	140.7	165.7
Tiempo del ciclo de esclusaje con transporte de sogas	73.8	83.8	93.8

Tabla 3-1-12. Tiempo estimado de esclusaje de buques portacontenedores en esclusas Pospanamax de dos y tres niveles con el uso de un transporte de sogas.



Esclusa de dos niveles Graneleros secos y buques cisterna	Panamax	Pospanamax	Pospanamax
Tiempo total de esclusaje	118.4	148.4	163.4
Tiempo del ciclo de esclusaje	103.4	128.4	138.4
Tiempo total de esclusaje con transporte de sogas	108.4	138.4	153.4
Tiempo del ciclo de esclusaje con transporte de sogas	93.4	118.4	128.4
Esclusa de tres niveles Graneleros secos / buques cisterna	Panamax	Pospanamax	Pospanamax
Tiempo total de esclusaje	160.7	195.7	220.7
Tiempo del ciclo de esclusaje	98.8	123.8	133.8
Tiempo total de esclusaje con transporte de sogas	140.7	175.7	200.7
Tiempo del ciclo de esclusaje con transporte de sogas	78.8	103.8	113.8

Tabla 3-1-13. Tiempo estimado de esclusaje de los graneleros secos y buques cisterna, en una esclusa de tres niveles con el uso de transporte de sogas.

Este transporte de sogas podría ser similar en construcción a una combinación de los conceptos de *Cabrestante de Robot Integrado* y *Bitá Móvil* desarrollados por la Universidad de Texas A&M en su estudio para el “Proyecto para Identificar y Evaluar Conceptos Alternos para el Posicionamiento de Buques en las Esclusas” de junio de 1999 (Estudio de Programa ING-04.02). La principal diferencia sería que el mismo no tiene que ser diseñado para soportar fuerzas de freno, de remolque ni de centrado tales como las presentadas en el estudio, porque el único propósito del vehículo es transportar las pesadas líneas de amarre del buque desde un nivel hasta el siguiente, donde el buque será amarrado una vez más por los pasacables a una bitá fija en el muro. Este procedimiento será similar a los procedimientos manuales que los pasacables del Canal siguen en la actualidad en la cámara central, al llevar las líneas de un nivel al nivel siguiente y colocarlas luego en las bitas ubicadas en los muros de la esclusa.



4. COSTOS DE CAPITAL, DE OPERACIÓN Y DE MANTENIMIENTO

4.1 Costos de capital de un Sistema de Posicionamiento Asistido con Remolcadores

4.1.1 Esclusas

Como se menciona en la Sección 2 sobre los procedimientos de esclusaje para las esclusas Pospanamax, uno de los principales supuestos que se hacen con relación a las dimensiones de la cámara es que, a fin de que los buques Pospanamax del tamaño del diseño escogido puedan pasar por las esclusas, la anchura y la longitud de la cámara deben ser similares a las de la esclusa de Berendrecht, que tiene un ancho de 68 metros (223 pies) y una longitud de 500 metros (1,640 pies).

Si éste es el caso, hay que modificar el diseño de la cámara que se supone en estos momentos (61 metros x 457.2 metros). Debido al área adicional, esta modificación requiere un aumento en el costo de las compuertas; de los muros de las esclusas por causa del aumento de la longitud; de los volúmenes de excavación y de las tinas de ahorro de agua. Supondremos que las alcantarillas y conductos de llenado y de vaciado poseen la suficiente capacidad para manejar el volumen adicional de agua sin aumentar significativamente el tiempo. El costo de la longitud adicional de cables de fibra óptica y cables de energía eléctrica es también insignificante.

Aún si ciertos costos de los componentes principales aumentaran, también es cierto que no se requerirán otros componentes, lo que compensa en parte estos aumentos de los costos. Los componentes que no serán necesarios son los muros de aproximación, las locomotoras, los rieles de las locomotoras y las ranuras conductoras, los tornamesas o el equipo de agujas de cambiavías, los cuartos de los transformadores de alimentación de los rieles y los edificios de la reparación de locomotoras.

Estos aumentos de los costos se describen para la opción de tres niveles en base a los costos del Consorcio Pospanamax para una esclusa en el sector del Pacífico, que debe ser la más cara. Estos costos también se utilizarán para la esclusa en el Atlántico, ya que no existe información confiable disponible aún, y se supone que es muy posible que los costos de la esclusa del Atlántico puedan ser menores. Las siguientes secciones contienen una descripción de estos costos:

4.1.1.1 Compuertas Rodantes

Las compuertas rodantes permanecerán a la misma altura, pero su anchura y longitud tendrán que ser mayores. Un aumento de 7 metros de longitud representa aproximadamente un aumento de $[(68/61)^2] = 24\%$ en el volumen de acero, lo que corresponderá a un aumento del 24% en el costo.

Si utilizamos el precio por compuerta del Consorcio Pospanamax de \$199.14 millones por las 8 compuertas rodantes, el nuevo precio será de \$246.94 millones. Esto representa **un total adicional de \$47.79 millones para las compuertas rodantes de mayor tamaño.**

4.1.1.2 Muros de las esclusas

Hay que aumentar la longitud de las cámaras en 42.8 metros. Para ello aumentaremos los costos del Consorcio Pospanamax para un segmento de 30 metros, multiplicado por 1.5 para que represente una diferencia de 45 metros por cámara.



Si el costo total del Consorcio Pospanamax para los muros de la esclusa RCC + RC es de \$107.69 millones, lo que representa sesenta y seis segmentos de 30 metros, entonces cada segmento promediará \$1.63 millones, que multiplicado por 1.5 es igual a \$2.45 millones. Ya que se requieren 3 segmentos adicionales de 45 metros (uno para cada cámara), el *costo total adicional de los muros de las esclusas sería de \$ 7.34 millones.*

4.1.1.3 Volúmenes adicionales de excavación

La longitud de cada cámara tiene que incrementarse en aproximadamente 45 metros y el ancho en 7 metros, mientras que la altura de las cámaras permanece igual. Por consiguiente, el aumento de la sobrecarga, la formación de La Boca y las excavaciones de basalto serán en proporción a estos incrementos en el área.

Excavación de sobrecarga

El nuevo volumen de excavación de sobrecarga es el resultado de tres cámaras de 500 metros de largo con un ancho de 68 metros, lo que da un volumen total de 4.54 millones de metros cúbicos a un precio por unidad de \$3.50. El nuevo costo es de \$15.89 millones.

Excavación de La Boca

El nuevo volumen de excavación de la formación de La Boca es el resultado de una cámara de 500 metros de largo con un ancho de 68 metros, lo que da un volumen total de 1.99 millones de metros cúbicos a un precio por unidad de \$4.75. El nuevo costo es de \$9.48 millones.

Excavación de basalto

El nuevo volumen de sobrecarga de la excavación de roca de basalto es el resultado de añadir 2 cámaras de 500 metros de largo con un ancho de 68 metros, lo que da un volumen de 4.54 millones de metros cúbicos a un precio por unidad de \$ 6.00. El nuevo costo es de \$27.25 millones.

Nuevo costo total

El nuevo costo total de la excavación es de \$52.62 millones en comparación con el costo de excavación del Consorcio Pospanamax de \$38.87 millones, lo que representa *un costo adicional de excavación de \$13.75 millones.*

4.1.1.4 Muros de las tinas de reutilización de agua

Al añadir área a las cámaras de las esclusas, también ha que aumentar el área de las tinas de reutilización de agua en forma proporcional, con el fin de mantener el mismo porcentaje de ahorro de agua. En este caso, hay que aumentar el volumen de excavación y la longitud de los cuatro muros que conforman cada tina, aunque sin ningún cambio estructural importante en el diseño. Si esto es correcto, hay que aplicar un aumento proporcional al costo original de las tinas de reutilización de agua del Consorcio Pospanamax.

El aumento del área es de $(68 \times 500) / (61 \times 457.2) = 1.22$ ó 22%. Si los costos de las 9 tinas estimados por el Consorcio Pospanamax, incluyendo la excavación, son de \$118.17 millones, el nuevo costo será de \$144.17 millones. *El costo neto adicional de las tinas mayores de reutilización de agua es de \$25.99 millones.*



4.1.1.5 Defensas tipo V de las cámaras de las esclusas

Una protección de defensas continua de los muros de las cámaras se logra instalando defensas del tipo Metso – Trellex V similares a las instaladas en el muro de aproximación sureste de las esclusas de Pedro Miguel.

Si se instalan 1,500 metros de defensas para revestir las tres cámaras y el precio por unidad de la ACP para estas defensas es de \$2,247 por metro, entonces *el costo requerido para el sistema de defensas es de \$ 3.37 millones* si revestimos un muro y *de \$6.74 millones si revestimos ambos muros*.

4.1.2 Remolcadores

El concepto de contar con remolcadores compactos para las esclusas se analizó en la sección 2.9.2 sobre los recursos de remolcadores. Estos remolcadores omnidireccionales de 11 metros de manga y 24 metros de eslora con una fuerza de halado de 65 toneladas se construirán especialmente para asistir a los buques dentro de las cámaras de las esclusas. Su precio estimado es de \$5,600,000 por unidad.

Para manejar adecuadamente los buques en una esclusa de tres niveles se requiere un mínimo de dos remolcadores por estructura. Para ciertos graneleros y buques cisterna podría ser necesario tener un remolcador adicional disponible para proporcionar dos remolcadores asistiendo por la proa. Cuando esta situación ocurra en las operaciones de relevo, hay que ajustar el itinerario de los tránsitos a fin de que un portacontenedores siga a un granelero o buque cisterna, de tal suerte que un remolcador adicional de proa pueda liberarse y utilizarse en otro sitio. El remolcador de popa sería siempre un remolcador regular Pospanamax que sería parte de la flota ordinaria, ya que será el que continuará asistiendo al buque en su tránsito a través del Corte Culebra y probablemente más allá.

El costo total de los remolcadores compactos de las esclusas será de \$33.60 millones, a tres remolcadores por estructura de esclusa.

4.2 Costos de capital de un Sistema de Posicionamiento con Locomotoras

4.2.1 Esclusas

Los componentes que no son necesarios y que representarán ahorros con un sistema de posicionamiento asistido con remolcadores son los muros de aproximación, los rieles de locomotoras y las ranuras conductoras, el equipo de agujas de cambiavías, los cuartos de transformadores de alimentación de los rieles y las instalaciones para la reparación de locomotoras.

Describiremos los costos adicionales de un sistema de posicionamiento de locomotoras en comparación con una esclusa que utiliza un sistema de posicionamiento mediante remolcadores para la opción más cara, que es la de tres niveles, en base a los costos del Consorcio Pospanamax para una esclusa en el sector Pacífico, al igual que las estimaciones de la División de Proyectos de Capacidad del Canal (IPCE). Estos costos también se emplearán para la esclusa en el Atlántico porque no existe información confiable disponible aún, con el entendimiento que es muy probable que los costos podrían en realidad ser menores para la esclusa en el sector Atlántico. En las siguientes secciones se proporciona una descripción de estos costos:



4.2.1.1 Muros de Aproximación

Con un sistema de posicionamiento de buques en base a remolcadores, el Equipo de Evaluación ha determinado que no se requiere un muro de aproximación en las entradas de las esclusas. Un sistema de posicionamiento con locomotoras requiere muros de aproximación.

Empleando los costos del Consorcio Pospanamax, contar con muros de aproximación representa \$50.28 millones si promediamos el costo de las opciones RCC + RC y RC. Al añadir los 1,157 metros requeridos de defensas de tipo V, el costo aumenta en \$2.6 millones, lo que suma **un costo total de \$52.88 millones**.

4.2.1.2 Rieles de locomotoras, ranuras conductoras y equipo de agujas de cambiavías

IPCE (C. George, Equipo de Esclusas) realizó una estimación de los costos para suministrar e instalar los equipos de computadoras necesarios para equipar a la esclusa de tres niveles del Consorcio Pospanamax con un sistema de rieles de locomotoras, equipo de agujas de cambiavías y sus ranuras conductoras. En base al sistema actual del Canal de Panamá, hubo que incluir una mejora de los elementos estructurales para utilizar locomotoras más pesadas y poderosas que se requerirán.

El costo estimado de los rieles de las locomotoras de las tres cámaras y dos muros de aproximación es de \$15.65 millones, lo que incluye su fabricación y mano de obra.

El costo estimado para de los rieles de retorno necesarios para las operaciones de carrusel es de \$7.99 millones, lo que incluye su fabricación y mano de obra.

El costo estimado de 4 dispositivos de cruce o agujas de cambiavías es de \$4.93 millones, lo que incluye la fabricación y mano de obra.

Los costos totales de estos renglones representarán \$28.57 millones.

4.2.1.3 Instalaciones para la Reparación de Locomotoras

IPCE (C. George, Equipo de Esclusas) realizó una estimación de los costos de las instalaciones requeridas para la reparación de locomotoras. Estas instalaciones consisten en un edificio de acero reforzado, un pozo de reparaciones para dos locomotoras, dos grúas levadizas de 5 toneladas y los rieles requeridos y ranuras conductoras requeridas para el acceso al edificio. **Los costos serán de \$801,100 por dos de estas instalaciones**, una en cada muro de las esclusas.

4.2.1.4 Cuartos de transformadores de remolque con locomotoras y rieles de retorno

Si se utiliza un enfoque conservador para establecer la ubicación de los cuartos de transformadores de rieles para una esclusa Pospanamax de tres niveles con cámaras de 500 metros de largo y dos muros de aproximación de 578 metros de largo, hay que colocar un cuarto de transformadores aproximadamente a cada 250 metros. Considerando las cargas mayores que las locomotoras de cuarta generación exigirán, se requerirán 16 cuartos de transformadores de alimentación de rieles, 7 cuartos en el muro más corto y 9 cuartos en el otro muro, que es el más largo. En cada cuarto se requerirán dos transformadores de 750 Kva, con un precio de \$16,000 por



transformador, si utilizamos el precio del Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. Estos 16 cuartos de transformadores de rieles (32 transformadores) representan un costo de \$512,000.

Cada cuarto de transformadores de rieles necesita un equipo de distribución de bajo voltaje con sus correspondientes barras colectoras, interruptores, monitores y protección. Al precio de \$ 84,000 por dispositivo de distribución proporcionado por el Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU., los 16 cuartos necesarios representarían un costo de \$1.34 millones.

También debemos incluir el cable de energía eléctrica para alimentar las ranuras conductoras desde los interruptores de los rieles. Estimamos que se necesitarán 100 metros de cable de energía eléctrica de 500 MCM para cada uno de los transformadores (3 líneas de 33.3 metros que van desde el lado de la carga del interruptores hasta los rieles de cobre de la fase A y C y el riel de la fase B). Utilizando el precio proporcionado por el Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. de \$18.70 por metro (\$5.70 por pie), el costo de los cables de energía eléctrica de los rieles es de \$59,840.

El costo total de estos renglones representa \$1.92 millones.

4.2.2 Locomotoras de remolque de cuarta generación

Las actuales locomotoras de remolque de 3ª generación recientemente adquiridas de la Corporación Mitsubishi por \$2,100,000 por unidad están diseñadas para atender buques de hasta 70 mil toneladas de carga. Se requieren hasta 8 unidades para manejar en forma segura un buque de tamaño Panamax, todas con un halado máximo de cable de 155,680 N por cable (dos a 35,000 lbs. por cable). Para una esclusa Pospanamax con un diseño de buque de hasta 140,000 de tonelaje de carga, se supone que las locomotoras serán por lo menos de 444,800 N (100,000 lbs.) de halado de cable por locomotora. Ello requiere un cambio definitivo en el diseño actual de las locomotoras a fin de ajustarlas a la fuerza de halado conforme a un diámetro razonable de cuerda de alambre, que pueda ser manejada en forma eficiente por las personas asignadas a las funciones de pasacables.

En este estudio se ha supuesto un precio optimista de \$3 millones para cada una de las nuevas locomotoras de remolque de cuarta generación, aún cuando se requerirá cierta investigación y desarrollo antes de poder producir estas máquinas.

Para el rendimiento y eficiencia máxima de una esclusa de una sola vía se requerirán operaciones de relevo trabajando a manera de un semiconvoy, que es el mismo principio de operación que se utiliza hoy día. Para poder manejar dos buques al mismo tiempo en cámaras separadas con una cámara vacía en el medio se necesitan dos conjuntos de 4 locomotoras de remolque cada uno, si se utiliza el escenario dos de este informe. Sin embargo, se necesitarán dos conjuntos de 8 locomotoras de remolque si las operaciones van a ser iguales a las que se realizan hoy día, con locomotoras trabajando desde ambos muros. Si añadimos las máquinas de repuesto necesarias más las máquinas de reemplazo en caso de catástrofe, será necesario un total de 10 locomotoras de remolque por estructura de esclusa de tres niveles para el escenario dos, y 20 locomotoras de remolque por estructura de esclusa de tres niveles, idénticas a las actuales. *El costo total de este renglón representará un mínimo de \$30 millones hasta un máximo de \$60 millones por esclusa.*



4.3 Tabla Comparativa de Costos de capital

Costos de capital de dos estructuras de esclusas de tres niveles (en el Pacífico y en el Atlántico): Sistema de posicionamiento con asistencia de remolcadores	Dólares en millones
Compuertas rodantes (16)	95.59
Muros de las esclusas	14.68
Volúmenes adicionales de excavación	27.50
Longitud y excavación adicionales para las tinas de reutilización de agua	51.99
Defensas tipo V para forrar los muros de las cámaras	13.48
Remolcadores de las esclusas (6)	33.60
Costos totales de capital	\$236.85
Costos de capital para dos estructuras de esclusas de tres niveles (en el Pacífico y en el Atlántico): Sistema de posicionamiento con locomotoras	
Muros de aproximación (4) que incluyen transporte de sogas	105.76
Rieles de remolque y de retorno, ranuras conductoras y dispositivos de agujas	57.12
Instalaciones de reparación (4)	1.60
Transformadores de rieles y equipo de agujas	3.38
Locomotoras de remolque de cuarta generación (40); operaciones de relevo o de carrusel	120.00
Total de los costos de capital	\$288.31

Tabla 4-3-1. Análisis comparativo de los costos de capital de la infraestructura requerida para un sistema de posicionamiento con asistencia de remolcadores, en comparación con un sistema de posicionamiento con locomotoras.

4.4 Costos de operación

4.4.1 Comparación del Consumo de Agua

La toma de agua en una esclusa Pospanamax de tres niveles de las dimensiones requeridas (68 x 500 metros) para esclusajes con asistencia de remolcadores únicamente, será un 22% (68 x 500 x la profundidad del agua-H / 61 x 457 x la profundidad del agua-H) mayor que la toma de una esclusa de las dimensiones del diseño conceptual (61 x 457 metros). En otras palabras, para un tránsito completo de un océano al otro, el consumo de agua es 22% mayor que el consumo de la esclusa del diseño conceptual.

Si se emplea una elevación promedio de 8.67 metros, el consumo promedio adicional por estructura de esclusa será de 21,235 metros cúbicos [(68 x 500 x 8.67 x 0.4) - (61 x 457 x 8.67 x 0.4)], si se usan 3 tinas de reutilización de agua por nivel para ahorrar 60% de la toma de agua. Para un tránsito completo, el promedio del consumo de agua adicional será de 42,470 metros cúbicos ó 0.22 de un esclusaje actual del Canal.

Hasta la fecha, la ACP no ha determinado el precio del agua cruda. Hasta que este precio se determine no se puede asociar ningún costo directo con el consumo de agua adicional de una esclusa Pospanamax más ancha y más larga. Lo que se haría sería insertar un proyecto de agua en el análisis económico a 30 años en un punto en que el agua adicional por esclusaje exigirá el insumo de agua del nuevo reservorio. Si éste es el caso, incorporaríamos el proyecto de río Indio (cuyo costo es de **\$230 millones**) en



el 8° año de operación para el sistema asistido con remolcadores y en el 11° año de operación para el sistema de locomotoras. En dichas fechas es que estimamos que el proyecto de agua debe iniciarse a fin de cumplir con la demanda que se espera de las esclusas Pospanamax para 11 esclusajes por día, que es el punto en el que se requerirá una fuente adicional de agua.

4.4.2 Cuadrillas de las esclusas

Un supuesto básico que se hace es que la mayoría del tráfico Pospanamax se manejará durante las horas de luz de día y el resto del día los buques Panamax-Plus utilizarán las nuevas esclusas. Esta condición lleva al otro supuesto de que las esclusas actuales podrían experimentar una reducción en los niveles de tráfico de buques Panamax, lo que puede llevar posiblemente a operar una de las vías existentes únicamente por 16 horas. Si el caso es que no se espera tráfico Panamax-Plus en el turno de media noche, para ahorrar agua las nuevas esclusas trabajarían únicamente 16 horas y el personal de operaciones de las esclusas se utilizaría en las esclusas actuales. Otro supuesto es que todas las esclusas se controlarán desde un Centro de Control único, reduciendo la necesidad de un Operador adicional de Caseta de Control.

Para un sistema de posicionamiento de buques asistido con remolcadores, durante cada turno de 8 horas una cuadrilla de operaciones de esclusas se compondrá del siguiente personal:

- 1 Maestro de Esclusas
- 1 Capataz de Amarre
- 12 Pasacables

De este modo, los buques pueden colocarse en la mitad de la cámara o amarrarse en tándem a un muro ó a ambos muros.

Si se requieren operaciones de relevo, una cuadrilla de operaciones de esclusa con turnos de 8 horas constará del siguiente personal:

- 2 Maestros de Esclusas
- 1 Capataz de Amarre
- 24 Pasacables

De este modo, los buques pueden colocarse en la mitad de la cámara o pueden amarrarse en tándem a un muro ó a ambos muros.

Las cuadrillas requeridas para las operaciones de 24 horas en las nuevas esclusas Pospanamax (en las estructuras del Atlántico y el Pacífico) representarán los siguientes costos de operación:

Operaciones Normales	Dólares
3 cuadrillas, 24 horas por estructura	2,903,978
Operaciones de relevo	
6 cuadrillas, 24 horas por estructura	5,43,423

Tabla 4-4-1. Costo total de las cuadrillas de operación

La descripción completa aparece en el Apéndice A, Tablas de Costos, Tabla A-2, “Alternativa de manejo con remolcadores y transporte de sogas”.



4.4.3 Cuadrillas de los remolcadores

Con la alternativa escogida del remolcador compacto para las esclusas, los remolcadores requerirán cuadrillas de 3 personas compuestas de un Capitán de Remolcador, un Ingeniero de Remolcador y un marinero. Si fueran necesarias 3 cuadrillas por turno de 8 horas, un total de 28 cuadrillas sería suficiente para proporcionar servicio de 3 remolcadores por esclusa durante 16 horas y 2 remolcadores por esclusa para las restantes 8 horas cuando se supone que transiten los buques Panamax-Plus.

Según los datos del año fiscal 2002 que aparecen en el Apéndice A, Tabla A-3, “MRRT – Costos de Operación y Mantenimiento” sobre los costos de operación de una flota de 22 remolcadores, el costo promedio de operación anual por remolcador es de \$1,691,667. Utilizando esta información como referencia, si se requieren 6 remolcadores en las esclusas Pospanamax, el **costo anual de operación de los remolcadores de esclusas será de \$ 10.15 millones.**

4.5 Costos de Mantenimiento

4.5.1 Mantenimiento de las Esclusas

Para la alternativa del sistema de posicionamiento de buques asistido con remolcadores, el personal de mantenimiento Pospanamax constará de personal administrativo y electromecánico de diferentes grados y responsabilidades. Los trabajos varían desde supervisores, operadores de grúa y electricistas hasta torneros, etc. Un listado completo y su descripción aparece en el Apéndice A, Tablas de Costos, Tabla A-2, “Alternativa de manejo con remolcadores y transporte de sogas” (Maniobras de remolcador y alternativa de remolque). Estos costos son independientes de las operaciones normales o de relevo. Si se implementa la alternativa de emplear un transporte de sogas, **el costo anual de la mano de obra para el mantenimiento de ambas estructuras es de \$3.02 millones.**

4.5.2 Mantenimiento de remolcadores

Los costos de mantenimiento de los remolcadores incluyen el combustible, las líneas de amarre, las defensas de caucho, los repuestos de motores y las reparaciones, al igual que las reparaciones de emergencia o las reparaciones mayores programadas en el astillero de la División Industrial de Cristóbal. El costo promedio del mantenimiento por remolcador se ha tomado del Apéndice A, Tabla A-3, “MRRT – Costos de Operación y Mantenimiento” (Costos de Operación y Mantenimiento) y es de \$532,233. Para la **flota de seis remolcadores de esclusas, el costo de mantenimiento anual es de \$3.19 millones.**



5. ANÁLISIS COMPARATIVO CON UN SISTEMA DE LOCOMOTORAS

5.1 Factibilidad de las locomotoras actuales

El Equipo de Evaluación tiene serias dudas de que las locomotoras actuales puedan manejar los buques Pospanamax de mayor tamaño, especialmente con los métodos de remolque y frenado. Los prácticos del Canal han estimado que se requieren al menos 4 locomotoras con un tiro de línea de 444,800 N (100,000 lbs.) para manipular de forma segura un buque de 140,000 toneladas de carga desde un solo muro. La mayor parte de la maniobra consistirá de centrar y mantener el buque firme mientras avanza de una cámara a la otra. Se requerirá cierta acción de frenado y remolque, porque el propio motor del buque será la fuerza impulsora principal.

Es la opinión del Equipo de Evaluación que ningún sistema de locomotoras será efectivo en una esclusa de un solo nivel debido a los ángulos extremos que los cables tendrían que formar entre el casco de la nave y las locomotoras cuando el buque se encuentra en el nivel más bajo de agua (a nivel del mar) y las locomotoras están, como mínimo, a 26 metros (85 pies) sobre el buque en el tope de los muros de las esclusas. Aún una operación de amarre asistida con remolcadores desde el buque hasta el muro será difícil, impráctica e insegura. **Desde el punto de vista operativo, esta alternativa no debe ni siquiera considerarse.**

Para una estructura de esclusa de dos niveles, el uso potencial de las locomotoras es casi incierto. Aunque los problemas son menos evidentes, la diferencia de altura de 13 a 16 metros entre el agua mínima y el tope del muro exige que las locomotoras tengan que proporcionar las fuerzas requeridas a diferentes ángulos sobre sus componentes horizontales y verticales. Para una operación asistida con remolcadores, la altura de los niveles también presentará un problema operativo. **Desde el punto de vista operativo, esta alternativa solamente debe considerarse en caso que la opción de tres niveles falle.**

El Equipo de Evaluación considera que las locomotoras existentes no son factibles para una esclusa Pospanamax que trabaje a las velocidades de esclusaje de hoy día. Además, los requisitos y la factibilidad de una locomotora de cuarta generación que pueda atender buques Pospanamax de manera efectiva y eficiente en una esclusa de tres niveles (y tal vez en una esclusa de dos niveles) deben estudiarse para determinar sus costos y méritos técnicos.

5.2 Costos de la infraestructura de las esclusas

Utilizando la información desarrollada en la sección 4 sobre Costos de capital, de operación y de mantenimiento, en sus subsecciones 4.1, 4.2 y 4.3, las siguientes dos tablas son modificaciones de la Tabla 4.3.1 e incluyen únicamente los costos adicionales de la infraestructura de las esclusas.

Costos de capital del sistema de posicionamiento de buques con remolcadores para dos estructuras de esclusas de 3 niveles	Dólares en millones
Compuertas rodantes (16)	95.59
Muros de las esclusas	14.68
Volúmenes adicionales de excavación	27.50
Longitud y excavación adicional para las tinas de reutilización de agua	51.99
Defensas tipo V para forrar los muros de las cámaras	13.48
Costos adicionales de capital	\$203.25

Tabla 5-2-1. Desglose de costos de capital de la infraestructura adicional para un sistema de posicionamiento de buques con asistencia de remolcadores.



Costos de capital del sistema de posicionamiento de buques con locomotoras para dos estructuras de esclusas de 3 niveles	Dólares en millones
Muros de aproximación (4) que incluyen defensas de tipo V	105.76
Rieles de remolque y de retorno, ranuras conductoras y equipo de agujas de cambiavías	57.12
Instalaciones de reparación (4)	1.60
Transformadores de rieles y equipo de agujas	3.83
Costos adicionales de capital	\$168.31

Tabla 5-2-2. Desglose de costos de capital de la infraestructura adicional requerida para un sistema de posicionamiento de buques con asistencia de locomotoras.

Según estas tablas es evidente que si únicamente se toman en cuenta los costos adicionales de infraestructura, la alternativa de posicionamiento de los buques con locomotoras es económicamente más atractiva porque la misma requiere una inversión adicional de \$168.31 millones más que el costo estimado del diseño conceptual de una estructura de tres niveles que utilizaría un sistema de posicionamiento de buques asistido con remolcadores. Esta alternativa representa ahorros de \$34.94 millones cuando se compara con la infraestructura adicional necesaria para un sistema de posicionamiento de buques asistidos con remolcadores en una esclusa Pospanamax de tres niveles, donde el ancho de las esclusas aumenta a 68 metros y la longitud a 500 metros. Debemos destacar que el costo de la infraestructura de las locomotoras no se incluyó en las estimaciones de costo recibidas con los estudios del Diseño Conceptual de las Esclusas.

Los costos de mantenimiento de la infraestructura de las esclusas difieren drásticamente entre ambas alternativas. Los únicos requisitos de mantenimiento para la opción asistida con remolcadores serán el reemplazo de las defensas de tipo V cuando las mismas se desprendan de los muros. Podría tomarse la decisión eventual de eliminarlas, como se hizo en la esclusa de Berendrecht, con lo que también se eliminaría este renglón del costo.

Mientras tanto, se hace la suposición de que para un sistema de locomotoras no se requerirá ningún mantenimiento importante en 30 años de los rieles y de las ranuras conductoras, por lo que su costosa reparación o reemplazo no afectará mucho.

5.3 Costos de las locomotoras y remolcadores

Para una operación de relevo en una vía única de una esclusa de tres niveles se requieren veinte (20) locomotoras de remolque de cuarta generación como se explica en la sección 4, 4.2.2 sobre estas locomotoras. Se necesitarán 40 locomotoras para que ambas estructuras operen de la misma manera que operan las esclusas hoy día. A un supuesto precio de \$3 millones por unidad, **la inversión total inicial para la compra de nuevas locomotoras es por lo menos \$60 millones, con otra inversión de \$60 millones que se necesitará cuando las operaciones de relevo o carrusel sean necesarias.**

Los costos anuales de operaciones y de mano de obra de mantenimiento de esta alternativa que utiliza estructuras de dos esclusas suman \$14.25 millones para las operaciones de relevo similares a las esclusas actuales y \$13.02 millones para las operaciones de relevo del escenario dos. Para las operaciones normales similares a las operaciones actuales, el costo es de \$9.26 y \$8.64 millones en el escenario dos, como se indica en el Apéndice A, Tablas de Costos, Tabla A-1, sobre la alternativa de manejo con Locomotoras. *Se estima que el costo anual de los materiales es de \$30,000 al mes por estructura de esclusa, con un total de \$720,000.*



Si se adopta la alternativa de remolcadores compactos para las esclusas como se analiza en la sección 2, 2.9.2 sobre recursos de remolcadores, se necesitarán dos remolcadores por estructura para una esclusa Pospanamax de tres niveles. Si añadimos otro remolcador para los graneleros y buques cisterna más difíciles que requieren dos remolcadores por la proa, se necesita un total de 6 remolcadores compactos. A un precio de \$5.6 millones por remolcador, **la inversión inicial total para la compra de los remolcadores compactos para las esclusas es de \$33.60 millones.** Para la alternativa de la esclusa de dos niveles, sólo se necesita un total de 4 de estos remolcadores especiales, lo que requeriría una **inversión inicial de \$22.40 millones.**

Si la opción del transporte de sogas se implementa, ello supone una inversión (\$250,000 por transporte de sogas) de \$5.0 millones por veinte transportes para las dos estructuras de esclusas y las operaciones de relevo. Su compra también se hará a intervalos, al igual que las locomotoras, hasta el momento en que las operaciones de relevo sean necesarias.

Los costos anuales de las operaciones y la mano de obra del mantenimiento de las esclusas en esta alternativa suman \$8.45 millones para las operaciones de relevo y \$5.92 millones para las operaciones normales de las dos estructuras de esclusas, tal como se como se presenta en el Apéndice A, Tablas de Costos, Tabla A-2, sobre la “Alternativa de manejo con remolcadores y transporte de sogas”. Se estimó **un costo adicional de materiales de \$60,000 por año** si la opción del transporte de sogas se implementa.

Los costos anuales las operaciones de los remolcadores y de la mano de obra del mantenimiento de esta alternativa suman \$13.34 millones para las operaciones de relevo de las dos estructuras de esclusas, como se presenta en la sección 4, 4.4.3 sobre las Cuadrillas de los Remolcadores y 4.5.2 sobre el Mantenimiento de Remolcadores.

Según estas tablas es evidente que desde el punto de vista de la inversión inicial en el equipo, la opción de posicionamiento de buques con remolcadores compactos para las esclusas es económicamente más atractiva porque la misma requiere una inversión inicial de \$33,600,000 para una estructura de tres niveles. Esta opción representa ahorros de \$26.4 millones al compararla con la inversión inicial del sistema de posicionamiento de buques con locomotoras en una esclusa Pospanamax de tres niveles que funciona de forma similar a las esclusas existentes.

Cuando los costos anuales de operación, materiales y mantenimiento, conjuntamente con el proyecto de suministro de agua de río Indio se incluyen en un lapso de 30 años a un **factor de tasa de descuento de 12 %**, los costos del ciclo de vida son de **\$70.58 millones**, a favor de la alternativa de posicionamiento de buques con locomotoras. El desglose completo de los análisis económicos se presenta en el Apéndice A, Tablas de Costos, Tabla A-4, sobre el “Análisis de Costo a un Factor de Tasa de Descuento de 12%”.



Sistema de posicionamiento con locomotora (que opera de manera similar al sistema existente)	Dólares en millones
Inversión inicial en la infraestructura	168.31
Inversión inicial en el equipo	60.00
Operaciones anuales, materiales y mantenimiento por 30 años (incluye la compra adicional de locomotoras para los relevos y el proyecto de suministro de agua de río Indio)	147.26
Costo total al valor neto actual	375.57
Sistema de posicionamiento con asistencia de remolcadores	
Inversión inicial en la infraestructura	203.25
Inversión inicial en el equipo	36.10
Operaciones anuales, materiales y mantenimiento por 30 años (incluso la compra adicional del transporte de sogas para los relevos y el proyecto de suministro de agua de río Indio)	206.80
Costo total al valor neto actual	446.15

Tabla 5-3-1. Desglose de los costos totales de capital de los sistemas de posicionamiento con locomotoras y con remolcadores en una esclusa con cámaras más anchas y largas.

Es importante resaltar que para cualquier alternativa de sistema de posicionamiento de buques que se escoja serán necesarios nuevos remolcadores de 50 a 60 toneladas de fuerza de halado para asistir a los barcos que transitan los canales navegables del Canal. Ello es especialmente cierto en las entradas de las esclusas, en el Corte Culebra y posiblemente más allá, y en el nuevo canal de desvío que lleva a la estructura de las esclusas en el sector Pacífico. La cantidad de estos remolcadores que se necesite dependerá de la cantidad esperada de tráfico según se deriva de los estudios actuales de mercadeo. En vista de que estos nuevos remolcadores son necesarios independientemente del sistema de posicionamiento de buques que se escoja para las esclusas y que se utilizarán principalmente fuera de las esclusas, sus costos no se incluyen ni deberán incluirse como parte de la evaluación de la factibilidad económica de las distintas alternativas de posicionamiento de buques en las esclusas. Sin embargo, su costo sí debe tomarse en consideración cuando el costo de inversión del programa de expansión se totalice eventualmente.

5.4 Tiempos de Esclusaje

En la sección 2 sobre los Procedimientos de Esclusaje para las Esclusas Pospanamax, se obtuvieron tiempos estimados de esclusaje para los diferentes escenarios de operación independientemente de los tiempos de llenado y vaciado de las esclusas, y los tiempos de apertura y cierre de las compuertas. En la sección 3 sobre la Capacidad Operativa de las Nuevas Esclusas, se añadieron los tiempos de llenado y vaciado de las esclusas y los tiempos de apertura y cierre de las compuertas y se realizaron las estimaciones del tiempo total de esclusaje y del ciclo de esclusaje para las esclusas de uno, dos y tres niveles.

En vista de que las comparaciones de costo se basaron en una esclusa de tres niveles, que se considera como la más factible desde el punto de vista de las operaciones, la comparación de los tiempos de esclusaje utilizará la misma estructura básica de las esclusas con el valor agregado de que, para las operaciones de relevo, la esclusa de tres niveles será la estructura con los tiempos de ciclo de esclusaje más bajos y la mejor capacidad de rendimiento.

La siguiente tabla de resumen contiene los tiempos de esclusaje totales de los cinco diferentes modos de operación para los dos tipos de buques Pospanamax que se han considerado:



locomotoras en un muro, el amarre a un muro asistido con remolcador, el amarre en la mitad de la cámara asistido con remolcador, el amarre a un muro asistido con remolcador con transporte de sogas, el amarre en la mitad de la cámara asistido con remolcador y transporte de sogas.

Portacontenedores	Tiempo de esclusaje (mins.)
Locomotoras en un muro	148.7
Amarre a un muro con asistencia de remolcador	185.7
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	160.78
Amarre a un muro con asistencia de remolcador con transporte de sogas	165.7
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador con transporte de sogas	140.7
Graneleros Secos y Buques Cisterna	Tiempo de esclusaje (mins.)
Locomotoras en un muro	188.7
Amarre a un muro con asistencia de remolcador	220.7
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	195.7
Amarre a un muro con asistencia de remolcador con transporte de sogas	200.7
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador y transporte de sogas	175.7

Tabla 5-4-1. Tiempo de esclusaje de una esclusa de tres niveles para tipos diferentes de buques Pospanamax y métodos de operación con remolcadores.

La siguiente tabla de resumen contiene los tiempos de esclusaje totales de los cinco diferentes métodos de operación para los dos tipos de buques Pospanamax que se han considerado: locomotoras en un muro, el amarre a un muro asistido con remolcador, el amarre en la mitad de la cámara asistido con remolcador, el amarre a un muro asistido con remolcador y transporte de sogas, el amarre en la mitad de la cámara asistido con remolcador y transporte de sogas.

Portacontenedores	Tiempo del ciclo de esclusaje (mins.)
Locomotoras en un muro	102.8
Amarre a un muro con asistencia de remolcador	113.8
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	103.8
Amarre a un muro con asistencia de remolcador con transporte de sogas	93.8
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador con transporte de sogas	83.8
Graneleros Secos y Buques Cisterna	Tiempo del ciclo de esclusaje (mins.)
Locomotoras en un muro	128.8
Amarre a un muro con asistencia de remolcador	133.8
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador	123.8
Amarre a un muro con asistencia de remolcador con transporte de sogas	113.8
Amarre en la mitad de la cámara con asistencia de remolcador con transporte de sogas	103.8

Tabla 5-4-2. Tiempo del ciclo de esclusaje en operaciones de relevo con una esclusa de tres niveles para tipos diferentes de buques Pospanamax y métodos de operación con remolcadores.

Es razonable considerar que en el futuro las esclusas Pospanamax de una vía eventualmente estarán trabajando a capacidad total. Las operaciones de relevo, aunque improbables al principio, se convertirán en una necesidad. Ahora es necesario escoger un sistema de posicionamiento de buques que sea confiable, seguro y eficiente y que al mismo tiempo produzca el mayor rendimiento por esclusaje. De las Tablas 5-4-1 y 5-4-2 es evidente que un sistema de amarre asistido con



remolcadores en la mitad de la cámara será el más eficiente. La seguridad se convertirá en un problema que tendrá que resolverse mediante un diseño adecuado del sistema de llenado y vaciado de las esclusas que debe proporcionar el llenado con poca o ninguna turbulencia, o fuerzas longitudinales o transversales para que este modo de amarre funcione. La efectividad de dicho sistema de llenado y vaciado se demostrará únicamente cuando se realicen las pruebas con el modelo a escala. Estas pruebas también deben incluir la prueba del comportamiento de un buque del diseño modelo en las esclusas.



6. RECOMENDACIONES

- a. Después que el Equipo de Evaluación visitó el puerto de Amberes y con la experiencia práctica del sistema de posicionamiento de buques asistido con remolcadores que se utiliza allí, se desarrollaron varios escenarios que parecen factibles para una esclusa Pospanamax. Es nuestra recomendación que la ACP debe realizar pruebas de campo de este sistema en nuestras esclusas existentes. Debe escogerse un buque que transite por nuestras cámaras, y cuyas dimensiones estén en proporción con las dimensiones del buque del diseño para una cámara Pospanamax. Varios temas necesitan confirmarse, especialmente la seguridad de la operación, cómo se comporta el sistema en las esclusas de niveles múltiples y si los tiempos de esclusaje estimados son razonables tanto para la opción de amarre a un muro como la del amarre en la mitad de la cámara. Los resultados de esta prueba pueden incorporarse como una actualización o una revisión de este informe, a fin de mejorar su integridad y documentación.
- b. Aunque no se recomiendan locomotoras de remolque para una esclusa de un nivel y tal vez se consideren marginalmente factibles para una esclusa de dos niveles, las locomotoras de remolque se consideran una alternativa factible para el posicionamiento de buques en una estructura de esclusa de tres niveles. Debido a los grandes desplazamientos de los buques Pospanamax, las locomotoras actuales de la ACP no podrán proporcionarle a estos buques la asistencia adecuada debido a la falta de espacio para su colocarse debidamente al costado del buque en los puntos donde pueden ejercer una fuerza efectiva. Hay que contratar a un equipo de ingenieros de transporte, electricidad, mecánicos e ingenieros estructurales que desarrollen un diseño conceptual para las locomotoras de remolque de cuarta generación. Existen dudas acerca del diámetro y el peso del cable de molinete que se requiere y de la eficiencia y seguridad con que el personal de la ACP podrá manejarlo. Las cargas sobre los muros y las estructuras de los rieles también representan un problema. Con un diseño conceptual de las esclusas y un precio a la mano, la factibilidad técnica y económica puede evaluarse adecuadamente y luego hay que reevaluar este informe, especialmente la sección de costos, donde se supuso un precio por unidad de locomotora de \$3.0 millones.
- c. Si en fecha posterior se toma la decisión de implementar un sistema de posicionamiento de buques asistido con remolcadores en las nuevas esclusas, hay que actualizar los simuladores computarizados de la Sección de Capacitación Marítima de la ACP y adiestrar localmente y en el extranjero a nuestra fuerza de prácticos y capitanes de remolcador para que esté preparada para la implementación del nuevo sistema de posicionamiento de buques en las esclusas.
- d. El estudio de Capacidad del Canal de Panamá Pospanamax previamente desarrollado (por la ACP) debe ser reevaluarse para incorporarle estas nuevas estimaciones de tiempo de esclusaje y dar nueva consideración a la capacidad estimada, especialmente para fines de la factibilidad financiera.



7. CONCLUSIONES

- a. Un sistema de posicionamiento de buques para las esclusas asistido con remolcadores es factible para las nuevas esclusas Pospanamax y debe considerarse como una de las alternativas de análisis.
- b. Este sistema funcionará en forma eficiente y segura si se cumplen las siguientes condiciones:
 - i. El ancho de la cámara propuesta debe ser 20% más ancha que la manga del buque del diseño ó al menos 12.2 metros (40 pies) más, para permitirle a los remolcadores de proa abandonar la cámara en caso de no ser necesarios.
 - ii. La longitud de la cámara propuesta debe ser al menos 100 metros (328 pies) más que el buque de diseño, con el fin de permitir que los remolcadores de proa tengan el espacio para maniobrar y la posibilidad de realizar esclusajes Panamax en tándem.
 - iii. Una holgura de 3 metros (10 pies) bajo la quilla es esencial para permitir que estos buques avancen por las esclusas a tiempo.
 - iv. El sistema de llenado y vaciado de las esclusas debe trabajar de manera tal que se desarrolle poca o ninguna turbulencia y las que se desarrollen las fuerzas longitudinales o transversales que permitan el amarre seguro a los muros o en la mitad de la cámara. Las fuerzas hidrodinámicas resultantes no deben crear una situación peligrosa en la que se puedan romper las líneas de amarre.
 - v. El concepto de remolcadores compactos para las esclusas debe implementarse a fin de reducir las exigencias sobre las flotas de remolcadores Pospanamax de la ACP.
- c. Si es posible realizar el amarre en la mitad de las cámaras o sólo a un muro y se emplea un transporte de sogas para mover las líneas de amarre de una cámara a otra eliminando así la necesidad de amarrar y soltar las amarras en cada nivel, esta opción asistida con remolcador tendrá una mayor capacidad de rendimiento en las esclusas (8 a 13 minutos menos de tiempo del ciclo de esclusaje, dependiendo del tipo de buque) que la opción de locomotoras que funciona desde un solo muro.
- d. Con un sistema de posicionamiento de buques asistido con remolcadores no se requieren ciertas infraestructuras de las esclusas tales como los muros de aproximación, los rieles de remolque y las ranuras conductoras, los transformadores de rieles y el equipo de agujas de cambiavías. Por causa de las mayores dimensiones de la cámara, se necesitan cambios en las compuertas, en la longitud de los muros y en las tinas de reutilización de agua. Probablemente también se requieran defensas adicionales en las cámaras.
- e. Suponiendo un precio por unidad de locomotora de \$3.0 millones y un precio por unidad de remolcador de \$5.6 millones, las inversiones en las infraestructuras y los respectivos costos anuales de operaciones y de mano de obra de mantenimiento para las operaciones de relevo en ambas estructuras de tres niveles durante un ciclo de vida de 30 años, el resultado es que los costos adicionales actuales del valor neto a un **factor de tasa de descuento de 12 %** que son necesarios para implementar un sistema de posicionamiento de buques son de **\$375.57 millones con un sistema de locomotoras** que opere desde ambos muros como en las esclusas actuales, y de **\$446.15 millones para un sistema de**



remolcadores con transporte de sogas. La diferencia neta es de \$70.58 millones en favor del sistema de posicionamiento de buques con locomotoras.



8. REFERENCIAS

1. Diseño Conceptual de las Esclusas Pospanamax, SISTEMA DE ESCLUSAS DE 3 PASOS – Tarea 4 – Borrador del Informe Final, Consorcio Pospanamax, 15 de septiembre del 2002.
2. Diseño de Concepto para el Canal de Panamá, Estructura de Esclusas del Atlántico, Tercera Vía, Informe Principal (borrador), Diseño de Dos Niveles, Cuerpo de Ingenieros de los EEUU, 25 de octubre de 2002.
3. Proyecto para Identificar y Evaluar Conceptos Alternos para el Posicionamiento de Buques en las Esclusas, Universidad de Texas A & M, junio de 1999.



APÉNDICE A



**TERCER JUEGO DE ESCLUSAS ALTERNATIVA POSPANAMAX Y PANAMAX
ALTERNATIVA DE MANEJO CON REMOLCADORES Y TRANSPORTE DE SOGAS**

Primeros 20 años																			Después de 20 años									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20									
Oficios	Admin	Locom.	M&V	Aux.	T&P	Sub-Acuático	Rea-condicionamiento	Totales	Costo por unidad	Costo	Admin.	Locom.	M&V	Aux.	T&P	Sub-acuático	Rea-condicionamiento	Totales	Costo									
Inspectores de Mantenimiento MG-11	2							2	53,316.82	106,633.64	2							2	106,633.64									
Oficinista de Abastos NM-03								0	20,441.51	0.00								0	0.00									
Supervisor de Equipo de Mant. MS-11								0	68,458.67	0.00		1						1	65,458.67									
Líder de Electromecánicos ML-.11		2	2	1	1			6	58,645.02	351,873.54		2	2	1	1			6	351,873.64									
Electromecánicos MG-11		5	5	1				11	53,316.82	586,485.00		10	5	1				16	853,069.12									
Mecánico e Equipo Industrial MG-10			2	1	2			5	51,132.89	255,664.45			2	1	2			5	255,664.45									
Trabajador de Electromecánica MG-08		3	3	2	2		1	10	24,023.14	240,231.40		6	3	2	2			13	312,300.82									
Operador de Grúas MG-11								1	53,316.82	53,316.82								0	0.00									
Aparejador MG-10								0	51,132.89	0.00								0	0.00									
Trabajador de Aparejos MG-07								0	20,266.80	0.00								0	0.00									
Electricista MG-10								3	51,132.89	153,398.67					3			3	153,398.67									
Trabajador en Electricidad MG-08								2	324,023.14	48,046.28				3	2			2	48,046.28									



Mecánico de Mantenimiento MG-10			1	1			2	251,132.89	102,265.78			1	2			2	102,265.78
---------------------------------	--	--	---	---	--	--	---	------------	------------	--	--	---	---	--	--	---	------------

TERCER JUEGO DE ESCLUSAS ALTERNATIVA POSPANAMAX Y PANAMAX (Continúa)																			
ALTERNATIVA DE MANEJO CON LOCOMOTORAS (Continúa)																			
	Primeros 20 años								Después de 20 años										
Trabajador Mecánico MG-08			1	1			1	2	24,023.14	48,046.28			1				2	48,046.28	
Mecánico Buzo MG-10								0	71,586.05	0.00							0	0.00	
Asistente de buzo MG-05								0	36,282.22	0.00							0	0.00	
Subtotales	2	10	14	7	10	0	1	44		1,945,961.88	2	19	14	7	10	0	0	52	2,299,757.25
	Cuadrilla		Proyección		Int.	Vac.	Total		Costo por unidad	Costo	Cuadrilla		Proyección		Int.	Vac.	Total	Totales	Costo
Contraestre MS-11/ CHO FN08	1		4.2		4	0.5	5.0		68,458.67	342,293.35	2		8.4		8	1.1	9.0		616,128.03
Capataz de pasacables MS-05	1		4.2		4	0.0	4.0		29,701.34	118,805.36	1		4.2		4	0.0	4.0		118,805.36
Pasacables MG-04	12		50.4		50	6.7	57.0		17,384.02	990,889.14	24		100.8		101	13.6	114.0		1,981,778.28
Operador de Locomotoras de esclusas MG-09	8		33.6		34	4.6	38.0		32,380.28	1,230,450.14	16		67.2		67	9.0	76.0		2,460,901.28
Subtotales										2,682,438.49									
Costo por esclusa por año										4,628,400.37									

Tabla A-1. Alternativa de Manejo con Locomotoras



TERCER JUEGO DE ESCLUSAS ALTERNATIVA POSPANAMAX Y PANAMAX																			
ALTERNATIVA DE MANEJO CON LOCOMOTORAS																			
Oficios	Primeros 20 años								Costo por unidad	Costo	Después de 20 años								
	Admin.	Locom.	M&V	Aux.	T&P	Sub-acuático	Rea-condicionamiento	Totales			Admin.	Locom.	M&V	Aux.	T&P	Sub-acuático	Rea-condicionamiento	Totales	Costo
Inspectores de Mantenimiento MG-11	2							2	53,316.82	106,633.64	2							2	106,633.64
Oficinista de Abastos NM-03	1							1	20,441.51	20,441.51	1							1	20,441.51
Supervisor de Equipo de Mant. MS-11								0	68,458.67	0.00								0	0.00
Líder de Electromecánicos ML-11			2	1	1			4	58,645.02	234,582.36			2	1	1			4	234,582.36
Electromecánicos MG-11			5	2				7	53,316.82	373,217.74			5	3				8	426,534.56
Mecánico e Equipo Industrial MG-10			2	1	2			5	51,132.89	255,664.45			2	1	2			5	255,684.45
Trabajador de Electromecánica MG-08			3	2	2		1	7	24,023.14	168,161.98			3	3	2			8	192,185.12
Operador de Grúas MG-11								0	53,316.82	0.00								0	0.00
Aparejador MG-10								0	51,132.89	0.00								0	0.00
Trabajador de Aparejos MG-07								0	20,266.80	0.00								0	0.00
Electricista MG-10					3			3	51,132.89	153,398.67					3			3	153,398.67
Trabajador en Electricidad MG-08					2			2	24,023.14	48,046.28				3	2			2	48,046.28
Mecánico de Mantenimiento MG-10			1	1				2	51,132.89	102,265.78			1	2				2	102,265.78
Trabajador Mecánico MG-08			1	1				2	24,023.14	48,046.28			1					2	48,046.28

Proyecto del Tercer Juego de Esclusas

Traducción



Mecánico Buzo MG-10								0	71,586.05	0.00							0	0.00	
Asistente de buzo MG-05								0	36,282.22	0.00							0	0.00	
Subtotales	3	0	14	8	10	0	0	35		1,510,458.69	3	0	14	10	10	0	0	37	1,597,798.65

TERCER JUEGO DE ESCLUSAS ALTERNATIVA POSPANAMAX Y PANAMAX (Continúa)
ALTERNATIVA DE MANEJO CON LOCOMOTORAS (Continúa)

	Primeros 20 años						Costo por unidad	Costo	Después de 20 años						Totales	Costo
	Cuadrilla	Proyección	Int.	Vac.	Total				Cuadrilla	Proyección	Int.	Vac.	Total			
Contraestrate MS-11/ CHO FN08	1	4.2	4	0.5	5.0		68,458.67	342,293.35	2	8.4	8	1.1	9.0		616,128.03	
Capataz de pasacables MS-05	1	4.2	4	0.0	4.0		29,701.34	118,805.36	1	4.2	4	0.0	4.0		118,805.36	
Pasacables MG-04	12	50.4	50	6.7	57.0		17,384.02	990,889.14	24	100.8	101	13.6	114.0		1,981,778.28	
Operador de Locomotoras de esclusas MG-09	0	0.0	0	0.0	0.0		32,380.28	0.0	0	0	0	0.0	0.0		0.0	
Subtotales								1,451,987.85							2,761,711.67	
Costo por esclusa por año								2,962,448.54	Costo por esclusa por año						4,304,510.32	

Tabla A-1. Alternativa de Manejo con Locomotoras y Transporte de sogas



	AF2000	AF2001	AF2002	Variación AF-01 VS AF-02	% de cambio
Costos de operación de remolcadores (función 300003)	\$28,896,974.14	\$29,395,623.05	\$37,216,682.54	\$ 7,821,059.49	27%
Costos de Mantenimiento de Remolcadores (función 300002)	\$6,527,251.45	\$7,637,897.83	\$11,709,121.14	\$4,071,223.31	53%
Total de costos MRRT (300000)	32,993,683.31	41,383,048.80	\$51,800,813.05	\$10,417,764.15	25%
Ingresos MRRT (300000)	\$52,984,867.98	\$55,329,308.02	\$67,248,948.54	\$11,919,640.52	22%
Utilidad MRRT (300000)	\$19,991,184.67	\$13,946,259.22	\$15,448,135.49	\$1,5101,876.27	11%

<p>Las variaciones en el costo de operación se deben a que:</p> <p>En el 2000 aparecieron por primera vez algunos servicios corporativos, y los mismos fueron aumentando en el 2001 y luego en el 2002 aparecieron todas las unidades de negociaciones ejecutoras. La variación se hace mayor en el 2002 porque también aparece la cuenta de costo indirecto corporativo (costos de las funciones que son gastos adminis-</p>	<p>La cuenta de inventario también va en aumento del 2000 (\$545K), en el 2001 (\$8623K), hasta el 2002 (996K. Otra de las cuentas que aumenta significativamente es la de depreciación, que va de 20008 (2,325K), 2001 (\$2,994K) al 2002 (\$3,357). Ésto se debe a la llegada de los nuevos remolcadores.</p>	<p>Las variaciones en el costo de mantenimiento se deben a los servicios corporativos, principalmente los de la División Industrial, que aumentaron del 2000 (\$3,333), 2001 (\$5,558), al 2002 (\$8,453K). Inclusión de nuevas tarifas para el 2002.</p>
---	---	---



trativos).

Tabla A-3. MRRT-Costos de Operación y Mantenimiento

