



## Proyecto del Tercer Juego de Esclusas

Traducción

**Nombre del estudio en inglés:** Panama Concept Design of Atlantic Locks Structure, Third Lane Lock, Double Lift Structure

**Nombre del estudio en español:** Diseño Conceptual del Canal de Panamá de las Estructuras de Esclusas del Atlántico, Tercera Vía de Esclusas, Configuración de Dos Niveles

**Fecha del informe final:** 4 de abril de 2003

**Fecha de la traducción:** 5 de julio de 2006

**Nombre del consultor:** USACE

## RESUMEN EJECUTIVO

### 1.1 Antecedentes

El presente Informe contiene el diseño al nivel conceptual de una estructura de una sola esclusa de dos niveles con tinas de reutilización de agua, en el sector del océano Atlántico del Canal de Panamá. Al utilizar las tinas en las operaciones, se ahorraría el 50% del agua requerida para las operaciones regulares de las esclusas. La esclusa y su sistema de ahorro de agua se han diseñado para que funcionen con o sin la utilización de las tinas de reutilización de agua.

El 25 de febrero de 2002 se recibió el aviso de proceder con este trabajo, con una fecha de entrega de ocho meses para esta primera configuración. El trabajo se inició con reuniones en Panamá y Pittsburgh, Pennsylvania, Estados Unidos, a las que asistieron el personal de la Autoridad del Canal de Panamá, así como también una gran cantidad de personal del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos con mucha experiencia en múltiples disciplinas y de las numerosas Oficinas de Distrito y de División y de las instalaciones de investigación del Cuerpo.

### 1.2 Reseña



El presente Informe contiene el diseño al nivel conceptual de una estructura de una sola esclusa con una configuración de dos niveles, que se ha elaborado mediante narraciones, planos, cálculos de diseño y cómputos de costos. Aun cuando el informe es completo y favorece las actuales condiciones y criterios acerca del sitio como lo establece el párrafo sobre el Alcance del Trabajo, cualesquier cambios de criterios podrían tener efectos significativos en el diseño presentado. El Informe también presenta el costo de construcción estimado así como los costos para continuar con la ingeniería y el diseño y la administración de la construcción. Este diseño muestra que las esclusas pueden construirse en el sitio ajustado A-2 de Gatún que se encuentra adyacente a las esclusas existentes a un ángulo de 9.75 grados, utilizando en general técnicas de construcción convencional. Se requerirán técnicas especiales de construcción para construir los muros de entrada de la manera más eficiente. La localización del sitio de la esclusa se ha ajustado para proporcionar el manejo seguro y eficiente del tráfico. El estimado del primer costo de la construcción de la esclusa es de aproximadamente \$840,000,000. Además, también se han identificado y calculado los costos de los renglones recomendados de trabajo que se requieren para proceder con el diseño final. También se presenta un cronograma para lograr el diseño y la construcción. El tiempo de construcción estimado para la terminación de todos los aspectos es de seis años, que pueden reducirse según se explica a continuación.

Se preparó un informe del criterio de diseño de acuerdo con los requisitos del Alcance del Trabajo que se amplió a medida se procedía con el desarrollo del diseño. Este criterio es de acuerdo con el criterio del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos y resultaría en una estructura que se espera que sea tan confiable y duradera como la de las actuales esclusas del Canal de Panamá, minimizando a la vez los riesgos de su operación y mantenimiento. Al preparar el criterio final para la preparación de los planes y las especificaciones de la construcción, el criterio deber uniformarse para la construcción de las esclusas a ambos extremos del Canal.

### **1.3 Elementos del proyecto**

La presente es una reseña breve de la evaluación, las conclusiones logradas y las recomendaciones de los elementos principales del proyecto. El Informe Principal y los Apéndices presentan el trabajo detallado junto con los cálculos de apoyo y la descripción escrita de la metodología y los procedimientos utilizados. A continuación se presenta un resumen de los elementos principales:

#### **1.3.1 Las compuertas de la esclusa**

Utilizando un proceso de filtrado preliminar para establecer un criterio de evaluación, se evaluaron los tipos y configuraciones posibles de las compuertas con un mínimo de esfuerzo de diseño, aunque utilizando la experiencia y el juicio de los ingenieros. El filtrado inicial se realizó durante la Reunión Inicial del Equipo del Proyecto de Panamá que se celebró en Pittsburgh, Pennsylvania, EE.UU., en abril del 2002. El esfuerzo de selección inicial identificó las compuertas que se continuarían como alternativas en el estudio para escoger las compuertas. Este proceso de filtrado inicial mostró que las compuertas de inglete y las compuertas rodantes fueron los tipos de compuertas más favorables para utilizarlas en la estructura de dos niveles del



Canal. Debido a la información reciente disponible de un diseño para un proyecto actual del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, también se tomó la decisión de avanzar con la evaluación de la compuerta del tipo de sector conjuntamente con los otros dos tipos de compuertas.

Se ha realizado un estudio detallado por separado sobre la selección de las compuertas que se incluye con el Informe Principal como el Apéndice B – Estudio de Selección de Compuertas. El significado de la selección de las compuertas de la esclusa requirió que estos tres tipos de compuertas se desarrollaran a un nivel de diseño casi igual para hacer una comparación a cabalidad y proporcionar una recomendación justificable del tipo de compuerta. Para poder identificar los costos relativos a cada tipo de estructura se realizaron los siguientes análisis:

1. Se realizó el diseño estructural de cada tipo de compuerta utilizando STAADPro, un paquete de software de análisis y diseño estructural de propósito general. Para diseñar las compuertas de inglete de la esclusa se utilizó el CMITER, un programa de computadora desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. para diseñar y analizar las compuertas de inglete. Se realizó un análisis separado por elementos finitos para investigar el desempeño de las compuertas rodantes y las compuertas de inglete. Los diseños de las compuertas resultaron en un costo estimada para cada tipo de compuerta, incluyendo sus componentes complementarios.
2. El Centro de Diseño Marino del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. desarrolló los planes de instalación. Según el caso, se identificaron los costos de los componentes adicionales (lastre, grúas, etc.) que se requieren para instalar y remover las compuertas y se incluyeron en el resumen de costos de las alternativas de las compuertas.
3. Se calculó la excavación de roca requerida para construir cada tipo propuesto de compuerta y se le asignó un precio.
4. Se determinó la proporción de los elementos de la albañilería de la esclusa para cada tipo de compuerta. La cantidad de concreto y acero de refuerzo se estimó y se le asignó un precio a cada opción.
5. Se determinó el tamaño del equipo mecánico y asignó un precio para cada tipo de compuerta.

La siguiente tabla presenta un resumen de los pesos de las compuertas y los costos totales de construcción para los elementos de los respectivos tipos de compuerta.

<b>Alternativa de Compuerta de Sector</b>		
<b>Compuertas de Sector</b>	<b>Comentario</b>	<b>TOTAL</b>
Compuertas de sector con equipo operativo	Peso de la compuerta = 4,400 MT	\$155,227,600
Construcción de los tramos anteriores y nichos	Geometría compleja, grande, tiene	



de las compuertas (incluyendo el refuerzo y la excavación)	un uso excesivo de agua	\$184,065,500
Elementos pertinentes	Puente de tramo largo, estructuras, facilidad de mantenimiento	\$9,792,514
<b>Total</b>		<b>\$349,085,613</b>

#### Alternativa de Compuerta Rodante

Compuertas rodantes	Comentario	TOTAL
Compuertas rodantes con equipo operativo	Peso de la Compuerta = 5,100 MT	\$187,378,304
Construcción de los tramos anteriores y nichos de las compuertas (incluyendo el refuerzo y la excavación)	Se construyen fácilmente, pero son grandes	\$167,880,171
Elementos pertinentes	Puentes de tramos moderados. No incluye una instalación de mantenimiento separada.	\$3,852,975
<b>Total</b>		<b>\$359,111,450</b>

#### Alternativa de Compuerta de Inglete

Compuertas de Inglete	Comentario	TOTAL
Compuertas de inglete con equipo operativo	Peso de la compuerta = 3,550 MT	\$131,914,854
Construcción de los tramos anteriores y nichos de las compuertas (incluyendo el refuerzo y la excavación)	Nicho de la compuerta de tamaño mínimo.	\$63,267,751
Elementos pertinentes	12 puentes, infraestructura de la instalación de mantenimiento. Se utiliza la grúa gigante Titán para instalar las compuertas	\$6,732,514
<b>Total</b>		<b>\$210,915,118</b>

**Figura 1-1 Costos Comparativos de las Compuertas**

La tabla de costos comparativos muestra que las compuertas de inglete tienen un peso significativamente menor, con un peso total de 3,550 t en comparación con 4,400 t para las compuertas de sector y 5,100 t para las compuertas rodantes. Las compuertas de inglete también tienen un costo total significativamente menor por las compuertas y sus costos asociados (los tramos anteriores de las compuertas, nichos y puentes), con un costo total de \$202,000,000, en comparación con \$349,000,000 de las compuertas de sector y \$360,000,000 por las compuertas rodantes. El peso menor de la compuerta de inglete también la haría más fácil de manejar. Tal cual era de esperar, el costo de las compuertas y los nichos en el caso de las compuertas rodantes y de sector es significativamente mayor debido al tamaño de su nicho en comparación con los requisitos del tramo de muro adicional para la compuerta de inglete. El uso de agua de la compuerta de inglete es casi igual al requerido por la compuerta rodante, siendo solamente 0.5% mayor. La compuerta de sector requerirá 13% más agua que una compuerta rodante. Se evaluaron los tres tipos de compuertas contra el criterio de evaluación que se describe en el Apéndice B sobre el Estudio de la Selección de las Compuertas, y como se muestra en la tabla siguiente, la compuerta de inglete tiene la calificación más favorable.

#### Criterio de Evaluación y Calificación



Alternativa de la Característica	Primer costo	Facilidad y frecuencia de mantenimiento	Riesgo de cierre prolongado de la navegación como resultado de accidentes significativos	Acceso del cruce sobre la esclusa	Historial o precedente de servicio confiable	Compatibilidad con la tina de reutilización de agua y el sistema de llenado y vaciado	Conservación de agua	EVALUACIÓN PONDERADA
<b>Compuertas de Inglete</b>	3	3	3	2	3	3	3	2.86
<b>Compuertas rodantes</b>	1	2	2	3	3	3	3	2.43
<b>Compuertas del Sector</b>	2	1	2	1	1	2	1	1.43
El procedimiento incluyó la calificación de la alternativa individual mediante un criterio individual para considerar la comparación relativa. 3 es la más alta, 1 es la más baja.								

**Figura 1-2 Criterio de Evaluación y Calificación**

En resumen, la compuerta de inglete tiene un costo significativamente más bajo, es casi igual en uso de agua, tiene una confiabilidad comprobada, proporciona la configuración del sistema de llenado y vaciado y del conducto más compatible con el proyecto, tiene el riesgo más bajo de operación y mantenimiento y puede mantenerse fácilmente, especialmente con la experiencia de la ACP con las esclusas del Canal existente. La compuerta de inglete es el tipo de compuerta que se recomienda para las esclusas del Atlántico. La operación de las compuertas se lograría mediante la utilización de cilindros hidráulicos de conexión directa similares a los que se están instalando en las esclusas existentes. Los dos métodos para manejar las compuertas para su mantenimiento se desarrollaron y se presentan en el Informe Principal. El Apéndice B sobre el Estudio de la Sección de las Compuertas contiene una explicación completa sobre la evaluación de las alternativas de las compuertas.

Como elemento del proyecto, se recomienda un sistema de cierre de emergencia capaz de cerrar el flujo abierto que proviene del canal del lago Gatún a través de la tercera vía de esclusas. Esta estructura estaría ubicada aguas arriba de las compuertas de las esclusas de Gatún. El uso de una sola compuerta en la entrada de Gatún en comparación con compuertas dobles podría justificarse como una medida de ahorro adicional de costo, considerando la protección que un sistema de cierre de emergencia ofrece. La reducción del costo podría lograrse en la fabricación de la compuerta, en la construcción de albañilería, en el equipo de operación y mediante una reducción de la longitud de construcción del muro de entrada de agua.

### 1.3.2 Alineación de la estructura de las esclusas



La alineación de la estructura de las esclusas de dos niveles se optimizó tanto longitudinal como transversalmente mediante un proceso progresivo del estudio de varias alineaciones y posibilidades de ángulos. Se encuentra en la mejor ubicación para utilizar la estratigrafía geológica del sitio de Gatún. Esta ubicación evita problemas con la tierra turbosa que existe en el sector Atlántico, ya que las estructuras pueden colocarse en cimientos de roca para minimizar los costos de construcción. La alineación recomendada está a un ángulo de 9.75 grados de la línea norte del cauce de navegación de las esclusas existentes de Gatún. Por lo tanto, coloca la estructura de las esclusas a una línea recta casi continua desde el canal de entrada del Atlántico y proporciona solamente una desviación menor desde la entrada del cauce de navegación del lago Gatún. Solamente tiene un impacto menor en la instalación de atraque del lago Gatún, mientras que mantiene una distancia de tres esloras para entrar a la esclusa en línea recta. Al compensar la alineación con la adición de las tinas de reutilización de agua, se cuenta con una distancia suficiente hasta el costado de la entrada del canal desde el océano Atlántico y el lago Gatún, para manejar fácilmente los buques que entran y salen de las esclusas existentes y de la nueva.

### 1.3.3 Sistema de llenado y vaciado

Se examinó una cantidad de tipos de posibles de sistemas de llenado y vaciado para escoger el tipo de sistema más favorable para estas grandes esclusas. Las evaluaciones se centraron en los tiempos de llenado y vaciado con tinas de reutilización de agua, tasas de transferencia de agua, características del manejo de buques y resistencia de calabrote, compatibilidad con otras características del proyecto, y el costo y la capacidad de construcción e integración de las tinas de reutilización de agua. Se proporcionan dos diseños tal como lo requiere el Alcance del Trabajo: un sistema lateral de llenado y vaciado de fondo entrelazado similar al sistema de esclusas existentes y un sistema de alcantarilla longitudinal en las cámaras. El sistema lateral de fondo entrelazado utiliza alcantarillas en los muros laterales, mientras que el sistema de alcantarilla longitudinal en las cámaras tiene las alcantarillas ubicadas longitudinalmente a lo largo del piso de la esclusa. Los sistemas se diseñaron para proporcionar el tiempo requerido para el llenado y vaciado requerido de aproximadamente 12 a 15 minutos para equiparar los niveles de agua con las tinas de reutilización de agua y para minimizar los impactos en las operaciones sin las tinas de reutilización de agua, al igual que bajo condiciones de mantenimiento. Se investigó el llenado y vaciado a través de los umbrales de las compuertas para esta configuración de la esclusa y niveles, pero se descartó debido a las consideraciones de mantenimiento. El sistema de llenado y vaciado lateral de fondo entrelazado es similar al de las esclusas existentes y su desempeño está comprobado. El sistema proporciona tiempos de equiparación promedio entre 10.8 y 12.9 minutos para las operaciones sin tinas de reutilización de agua. Cuando se utilizan tinas de reutilización de agua, se espera que el promedio del tiempo de equiparación sea de 13.4 a 15.1 minutos. La resistencia del calabrote deberá mantenerse a niveles razonables durante el ciclo de equiparación. El diseño del sistema de alcantarilla longitudinal en la cámara proporciona tiempos similares de equiparación que varían entre 9.2 y 11.8 minutos para las operaciones sin tinas de reutilización de agua. Se espera que los tiempos de equiparación del sistema longitudinal de fondo con el uso de las tinas de reutilización de agua varíe de 13.3 a 14.9 minutos. La resistencia del calabrote será mayor con el sistema de alcantarillas longitudinales cuando se compara con el sistema lateral de fondo



entrelazado, pero estará dentro de los límites aceptables. Se espera que ambos sistemas se desempeñen bien para la configuración de dos niveles y que sean compatibles con otros elementos recomendados del diseño. Los sistemas se han diseñado para que funcionen de manera segura y eficiente con tinas de reutilización de agua durante la operación regular. El sistema lateral de fondo entrelazado se desempeñará bien cuando el agua se equipara sin las tinas de reutilización de agua y bajo las condiciones de mantenimiento. El desempeño hidráulico podría degradarse ligeramente con el sistema de alcantarillas longitudinales en la cámara al funcionar sin las tinas de reutilización de agua o bajo condiciones de mantenimiento.

#### 1.3.4 Tinas de reutilización de agua

Las tinas de reutilización de agua se integraron al uso del sistema de llenado y vaciado para proporcionar el 50% de ahorro de agua requerido. Se trata de dos tinas laterales ubicadas en el lado oeste de las esclusas para cada nivel de la esclusa. Como punto de partida del diseño, se utilizaron los informes de Moffatt & Nichol, que se habían preparado previamente para investigar el uso potencial de los sistemas de las tinas de reutilización de agua. Por razones de economía, las tinas se integraron en la parte posterior de los muros de las esclusas. Con ello se minimizan los requerimientos de espacio lateral así como también la excavación del conducto de las tinas. Las tinas se diseñaron para proporcionar un sistema razonable y confiable de rendimiento en base a la tecnología que se utiliza en la actualidad. Ello produjo un tiempo de llenado y vaciado con las tinas de reutilización de agua de aproximadamente 13 a 15 minutos, tal como lo solicitó la ACP. Se recomienda la utilización de un modelo hidráulico para los estudios futuros con el fin de refinar adicionalmente los parámetros de diseño y las condiciones de operación.

#### 1.3.5 Muros de la esclusa

Los muros de la esclusa se han diseñado tomando en cuenta las características pertinentes, proporcionando el espacio para el uso de locomotoras como el sistema de posicionamiento de buques, al igual que para brindar la solución más económica para integrar los elementos del proyecto. Las tinas de reutilización de agua se encuentran ubicadas en el lado oeste de la esclusa y se integran espacialmente (no estructuralmente) en la parte posterior de los muros. Los monolitos de operación de las válvulas se incorporan en los muros y en las tinas. Los muros de la esclusa incluyen las alcantarillas de llenado y vaciado, y son monolitos de gravedad de cimientos de roca. Específicamente, los monolitos utilizan un tope o talón en su base para aumentar la estabilidad, para reducir las presiones de la carga y eliminar la necesidad de una losa de concreto de base que sirva de soporte. Se hace un uso extenso de concreto compactado con aplanadora para economizar en la construcción de los muros de las esclusas y se utiliza el concreto convencional en las áreas de las alcantarillas, galerías y el revestimiento de la cámara de la esclusa. Los muros de la esclusa contienen 810,100 m<sup>3</sup> de hormigón fresco moldeado in situ y 993,000 m<sup>3</sup> de concreto compactado. Se aplicaron las cargas correspondientes, siendo las cargas de control por deshidratación y en caso de terremoto. Se ha permitido espacio en la parte



superior de los muros para incluir un sistema de posicionamiento de buques similar al de las esclusas existentes. Los monolitos de las compuertas de la esclusa se construirán como estructuras convencionales de gravedad con cimientos de roca. Aproximadamente el 40% de esta construcción será una construcción de hormigón fresco moldeado in situ.

### 1.3.6 Muros de entrada

Estos muros presentan una condición especial debido al tamaño de las cargas del impacto que serán transmitidas por los grandes buques Pospanamax. Las cargas que se desarrollaron según conversaciones con los prácticos del Canal se encontraron excesivamente altas. Los criterios del impacto de los buques se desarrollaron conforme a consultas con los fabricantes de las defensas y las recomendaciones de diseño de la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Navegación (PIANC). No obstante, hay que realizar una investigación detallada antes del diseño final para definir la necesidad y el tamaño de estas cargas. La longitud del muro representa una eslora y media de un buque según lo solicitó la Oficina de Proyectos de Capacidad del Canal. Los muros de la entrada del Atlántico se construirán sobre concreto compactado y los muros de entrada del Gatún serán de cubierta de concreto fresco moldeado in situ con cimientos en pozos perforados y se construirán mayormente en húmedo utilizando técnicas de construcción especializadas. Si se utilizan remolcadores para maniobrar los buques para entrar a la esclusa, la longitud y el tamaño de estos muros pueden reducirse para lograr ahorros significativos en el costo del proyecto.

### 1.3.7 Diseño Sísmico

Para escoger el nivel de diseño en caso de terremoto, se examinaron y analizaron los informes existentes, la sismicidad de la región y los estudios del sistema existente de esclusas. Se determinó que se utilizaría el valor medio de 0.31g como el terremoto creíble máximo para este diseño a nivel conceptual. Tiene un periodo de retorno entre 300 y 1,000 años. Actualmente el Servicio Geodésico de los EE.UU. está realizando estudios adicionales y este valor debe reevaluarse cuando estos estudios se finalicen a fines del 2002. Hay que realizar análisis más sofisticados para verificar el desempeño durante eventos sísmicos, siguiendo las prácticas regulares del Cuerpo de Ingenieros para regiones sísmicamente activas.

## 1.4 Recomendaciones

Al proceder con este proceso de diseño, se recomienda que los Informes sobre el Memorandum de Diseño de los Elementos se preparen conjuntamente con el modelo físico de las principales características del trabajo antes de proceder con el diseño de la construcción y la preparación de los planos y las especificaciones de construcción. Este informe proporciona una evaluación final de las opciones disponibles para las condiciones específicas del sitio, para escoger los elementos más apropiados, para optimizar el diseño y para establecer los parámetros del diseño. Los planos y especificaciones finales para la construcción podrán prepararse utilizando este documento. Aunque el informe sobre el diseño al nivel conceptual presenta el diseño de los diferentes elementos según el sitio específico, no optimiza el diseño ni considera los cambios



que posiblemente que se estén llevando a cabo. Estos cambios podrían incluir el método de maniobrar los buques, lo que cambiaría las dimensiones de las esclusas y reduciría las cargas sobre los muros al eliminar las cargas que se transmitirían a los muros con el uso de las locomotoras. Para escoger los sistemas de cierre de emergencia hay que considerar el desarrollo de cualquier proyecto específico de seguridad institucional. También hay que tomar decisiones sobre los métodos de mantenimiento de las esclusas y compuertas, los que podrían cambiar ciertos diseños de los elementos que hemos presentado. Debe llevarse a cabo el análisis económico del costo del ciclo de vida para evaluar la viabilidad de la compra de una grúa levadiza de alta capacidad para las compuertas, que sirva para atender casos de respuesta a emergencias y apoyar otras actividades del sistema del mantenimiento del Canal. El uso de una sola compuerta de esclusa en la entrada de Gatún debe reevaluarse conjuntamente con un sistema de cierre de emergencia, como una medida potencial de ahorrar costos.

## 1.5 Oportunidades

Otras decisiones que deben tomarse son las relativas a los flujos de financiamiento y oportunidades de economizar en la construcción. Si se utilizan remolques para maniobrar los buques para entrarlos y transitarlos por las esclusas, la longitud de los muros de entrada podría reducirse o eliminarse para utilizar muros de tope o talón corto similares a los que se utilizan comúnmente en las grandes esclusas de Europa. El trabajo preliminar que podría eliminarse del contrato de la construcción principal podría incluir la compra separada de las compuertas de la esclusa (a un costo de \$100,000) y/o realizar primero la excavación de la esclusa (a un costo de \$80,000,000) como renglones autofinanciados de la obra. Esto retrasaría la fecha en que se iniciaría el préstamo del dinero y reduciría el período de la acumulación de intereses, bajando así el costo de la inversión. Otro renglón que debe considerarse es el momento en que se suministren las tinas de reutilización de agua. Este es un renglón costoso de \$66,000,000 que tal vez no se requiera hasta cierto momento en el futuro, después que se abran las esclusas. Pueden tomarse las medidas para incluirlas en la construcción de la esclusa, pero no se construirían sino hasta después que la esclusa esté produciendo ingresos con sus operaciones y sean necesarias. Todos estos puntos son pertinentes para reducir el costo de la inversión. Además, hay que uniformar y ajustar el tamaño de los parámetros del diseño sísmico según el nivel de riesgo aceptable para la ACP, considerando los costos que corresponderían a cada nivel de diseño por sismo. Estos diseños necesitan prepararse para evaluar el riesgo y la ACP debe que participar en estas discusiones para equilibrar el nivel del riesgo con los costos pertinentes.