



## Proyecto del Tercer Juego de Esclusas

Traducción

**Nombre del estudio en inglés:** Review of saltwater intrusion and mitigation studies and models for proposed Post-Panamax locks

**Nombre del estudio en español:** Revisión de los estudios y modelos de intromisión y mitigación de agua salada para las esclusas Pospanamax propuestas

**Fecha del informe final:** Noviembre de 2005

**Fecha de la traducción:** 12 de mayo de 2006

**Nombre del consultor:** DHI Water & Environment / Parsons Brinckerhoff / Montgomery Watson Harza

### RESUMEN EJECUTIVO

De acuerdo con la Orden de trabajo No. 18, Contrato No. SAA-151798, con fecha de 13 de abril de 2005 'Revisión de los Estudios y Modelos de Posible Intromisión Mitigación de Agua Salada para las Esclusas Pospanamax Propuestas para los lados Atlántico Y Pacífico del Canal de Panamá.', DHI Water & Environment ha sido contratada por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) para preparar una revisión de los estudios que se han llevado a cabo para investigar la intromisión de sal.

Los estudios de la intromisión de agua salada fueron otorgados a DHI Delft Hydraulics y presentados en los Informes A, B, C, D y F; véase la tabla a continuación. Este informe describe los resultados de las revisiones de esto estudios.

<b>Estudio SAA-74337</b>	
Informe A	Análisis de la Intromisión de Agua Salada en las Esclusas del Canal de Panamá, Situación Actual, Informe A Junio 2003, Delft Hydraulics
Informe B	Análisis de la Intromisión de Agua Salada en las Esclusas del Canal de Panamá, Situación Futura, Esclusas Pospanamax, Esclusas de Un Nivel, Informe B Septiembre 2003, Delft Hydraulics
Informe C	Análisis de la Intromisión de Agua Salada en las Esclusas del Canal de Panamá, Situación Futura, Esclusas Pospanamax, Esclusas de Tres Niveles, Informe C Septiembre 2003, Delft Hydraulics
Informe D	Análisis de la Intromisión de Agua Salada en las Esclusas del Canal de Panamá, Situación Futura, Esclusas Pospanamax, Esclusas de Dos Niveles, Informe D Septiembre 2003, Delft Hydraulics
<b>Estudio SAA 135358</b>	



Informe F	Análisis de la Intromisión de Agua Salada en las Esclusas del Canal de Panamá, Situación Futura, Esclusas Pospanamax, Modelo y Análisis de los Sistemas de la Intromisión y Mitigación para Configuraciones Revisadas de Esclusas de Tres Niveles, Informe F Abril 2003, Delft Hydraulics
-----------	---

Se hicieron las siguientes observaciones:

### **SWINLOCKS**

La intromisión de agua salada dentro de los lagos de Gatún y Miraflores es simulada con el modelo de Intromisión de Agua Salada en las Esclusas (SWINLOCKS, por sus siglas en inglés). SWINLOCKS es un modelo basado en la conservación del volumen de agua y sal. Las medidas, análisis teóricos y simulaciones hidrodinámicas numéricas (Delft3D) determinan empíricamente los coeficientes del intercambio de sal. Integra las diferentes escalas de tiempo en un solo evento: ecualización, flujos de densidad y movimientos del buque. El modelo es utilizado para las simulaciones de ambos, el intercambio de sal entre las esclusas, al igual que para el intercambio de sal entre las esclusas y el mar, y entre las esclusas y los lagos. El modelo está diseñado para calcular el monto de sal en los lagos de Gatún y Miraflores.

### **Intercambio de Sal entre las Esclusas**

Basados en cálculos independientes de intromisión de sal se confirma que SWINLOCKS calcula correctamente el intercambio de sal entre las esclusas. El factor crítico en SWINLOCKS son los coeficientes de intercambio. Aun cuando la determinación de los coeficientes está asociada con una gran dispersión, parece ser que los coeficientes aplicados entre las esclusas son cónsonos y sensatos. Las medidas de campo y la recolección de datos dentro de las esclusas son adecuadas para el propósito aun cuando se encontró una gran dispersión. Sólo se identificaron inconsistencias menores. Se concluyó que los modelos SWINLOCKS describen el transporte salino de una esclusa a la otra con suficiente precisión.

### **Intercambio de Sal en el Corte Culebra**

Se observó un bajo nivel de salinidad en la antecámara de las esclusas de Pedro Miguel (orden de 0.1ppt). Se conoce que aproximadamente 1% de la energía mecánica del movimiento de los buques es utilizable en la mezcla de la columna de agua. Como la diferencia en las densidades es mínima (equivalente a 0.1ppt), un cálculo de orden de magnitud nos da que la propulsión del buque mezclará la columna de agua sobre la vertical en el Corte Culebra. Como resultado, debe esperarse que la salinidad sea transportada de regreso a través de las esclusas de Pedro Miguel conjuntamente con el agua vertida. Consecuentemente, DHI espera que casi no se transporte sal desde las esclusas de Pedro Miguel a través del Corte Culebra y hacia el lago Gatún. El que esto pueda esperarse para el nuevo juego de esclusas necesita ser sustentado mediante simulaciones numéricas.

### **Intercambio de Sal entre Esclusas – Lago**

La intromisión de sal dentro de los lagos depende en gran parte del tamaño de los buques, del número de buques que transitan, de las operaciones de las esclusas, de operaciones de esclusajes de cambio de vía, y es un balance entre la entrada de la sal desde la esclusa superior, el flujo de la densidad de la sal desde las esclusas y la salida de sal debido al vertido. Las concentraciones de sal disminuyen gradualmente a lo lejos de las esclusas. Es la opinión de DHI que la variación en espacio y tiempo de sal cerca de las esclusas es decisiva para la correcta determinación de la salida de la sal durante el vertido y, por ende, la entrada/salida neta de sal.

Un modelo de caja de los lagos con solo tres compartimentos no puede describir los niveles de sal cerca de las esclusas. Los modelos SWINLOCKS describen el intercambio de sal entre las esclusas y los lagos tomando en cuenta todos los procesos empíricamente. No se puede utilizar



solamente un enfoque de modelo de caja que describa las actuales condiciones de salinidad en los lagos para predecir la situación actual y las consecuencias totales de las esclusas Pospanamax. Esto ha sido demostrado mediante una serie de simulaciones hidrodinámicas tridimensionales de la intromisión de agua salada.

### **Medidas de Campo en los Lagos**

Los niveles de salinidad en los lagos Gatún y Miraflores son muy bajos, menos de (0.1 ppt). Los instrumentos para registrar las conductividad, temperatura y presión (CTD, por sus siglas en inglés) aplicados no pudieron detectar salinidad por debajo de ese nivel. La única conclusión tomada del Informe A mediante los instrumentos fue que la salinidad es menor de (0.1 ppt en lago Gatún y en el Corte Culebra. Sin embargo, aun cuando los niveles de salinidad sean bajos, DHI espera que la variación (proporción entre la salinidad en los muros de la antecámara y el centro del lago Gatún) sea alta. Se recomienda que nuevas medidas se tomen en los alrededores de las esclusas de Gatún y Pedro Miguel. En agua fresca, la concentración de iones puede igualmente consistir en un número de sales además del cloruro sódico. La conductividad por ende, no es equivalente al cloruro sódico. Se recomienda la medición de los diferentes tipos de sales presentes en el agua del lago para poder determinar el origen del agua. La conductividad debe ser medida con un instrumento de alta precisión especialmente diseñado para aplicaciones en agua fresca.

### **Tinas de Reutilización de Agua**

En el Informe F, Delft Hydraulics calculó el efecto de introducir tinas de reutilización de agua en las esclusas Pospanamax. En el modelo SWINLOCKS, las tinas de reutilización de agua (WSB, por sus siglas en inglés) están agrupadas, descritas por el volumen de agua y la concentración promedio de sal en las tinas. Este enfoque puede ser confirmado por DHI.

### **Análisis de Estudios de Mitigación**

Un total de 10 esquemas de mitigación han sido identificados por DELFT Hydraulics en el Informe F. Esta identificación se considera completa. En cuanto a la determinación de los coeficientes de intercambio para el esquema de mitigación de sal mediante un pozo, se señaló que está basada en las simulaciones de la dinámica de los fluidos computacional 2DV (2DV Computational Fluid Dynamics). Sin embargo, debe esperarse que el flujo alrededor del pozo sea fuertemente 3D. El análisis debe ser complementado con simulaciones de flujo 3D.

### **Investigaciones Adicionales**

Basados en el resumen ejecutivo antes descrito, las siguientes investigaciones adicionales son propuestas para así poder completar el entendimiento de la intromisión de agua salada tanto en la actualidad como después de la construcción de las esclusas Pospanamax.

Mejorar el conocimiento del flujo y las gradientes de salinidad en los lagos en los alrededores de las esclusas mediante la combinación de las medidas y simulaciones con modelos 3D. Las medidas de salinidad se deben preparar para valores de salinidad muy bajos y suplementadas con análisis de muestras de agua para definir la composición química del agua del lago al igual que en los tributarios para establecer un antecedente adecuado de salinidad. Las medidas de salinidad podrían ser suplementadas con estudios de rastreo para proveer una medida independiente de la intromisión del agua de mar dentro del lago Gatún.

Determinar mediante modelos 3D el flujo y los niveles de los gradientes de salinidad en los lagos y en los alrededores de las esclusas Pospanamax.

Determinar la concentración de sal en los lagos a largo plazo (escala de tiempo anual) luego de la construcción de las esclusas Pospanamax, mediante la combinación de simulaciones 3D y un modelo de las esclusas. No es sencillo establecer un procedimiento para esta combinación, ya



que la salinidad cercana a las esclusas varía con los esclusajes aguas arriba o aguas abajo, en tanto que lejos de las esclusas la variación es más lenta en una escala de tiempo de meses a años. Para determinar las concentraciones de sal a largo plazo se requiere que ambas escalas de tiempo sean resueltas en el modelo. Un enfoque para simular ambas escalas de tiempo se describe como parte del Informe.

Establecer un programa de monitoreo de la salinidad y biología a largo plazo. Este programa debe ser respaldado por un sistema de calidad de agua del Canal (modelo de salinidad) y un análisis de la sensibilidad biológica del sistema con respecto a los cambios de salinidad.