



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: 15 de noviembre de 2005

Fecha de la traducción: 17 de mayo de 2006

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

INFORME FINAL

1 RESUMEN EJECUTIVO Y CONCLUSIONES

De acuerdo con la Orden de Trabajo No. 18, Contrato No. SAA – 151798, fechado 13 de abril de 2005, “Revisión de la posible intromisión y estudios de mitigación de agua salada y del modelo propuesto para las esclusas Pospanamax en los lados Pacífico y Atlántico del Canal de Panamá”, la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) contrató a DHI Water & Environment para realizar una revisión de los estudios de intromisión de agua salada.

Los estudios de intromisión de agua salada fueron adjudicados a WL Delft Hydraulics y presentados en los Informes A, B, C, D y F (véase la tabla a continuación). Este informe describe los resultados de la revisión de estos estudios.

<i>Estudio SAA-74337</i>	
<i>Informe A</i>	<i>Análisis de la intromisión de agua salada en las esclusas del Canal de Panamá, situación actual, Informe A de junio del 2003, Delft Hydraulics</i>
<i>Informe B</i>	<i>Análisis de la intromisión de agua salada en las Esclusas del Canal de Panamá, situación futura: Esclusas Pospanamax, esclusas de un solo nivel, Informe B de septiembre del 2003, Delft Hydraulics</i>



<i>Informe C</i>	<i>Análisis de la intromisión de agua salada en las Esclusas del Canal de Panamá, situación futura: Esclusas Pospanamax, esclusas de tres niveles, Informe C de septiembre del 2003, Delft Hydraulics</i>
<i>Informe D</i>	<i>Análisis de la intromisión de agua salada en las Esclusas del Canal de Panamá, situación futura: Esclusas Pospanamax, esclusas de dos niveles, Informe D de septiembre del 2003, Delft Hydraulics</i>
Estudio SAA-I35358	
<i>Informe F</i>	<i>Análisis de la intromisión de agua salada en las Esclusas del Canal de Panamá, situación futura: Esclusas Pospanamax, estudio, modelación y análisis de los sistemas de mitigación de la intromisión de agua salada para las configuraciones revisadas de esclusas de tres niveles, Informe F de abril del 2005, Delft Hydraulics</i>

Se han presentado las siguientes observaciones:

SWINLOCKS

Se ha simulado la intromisión de agua salada en los lagos Gatún y Miraflores utilizando el modelo de intromisión de agua salada en las esclusas (SWINLOCKS, por sus siglas en inglés). El modelo SWINLOCKS es un modelo de simulación basado en la conservación de los volúmenes de agua y de sal. Las mediciones, análisis teóricos y simulaciones hidrodinámicas numéricas determinan empíricamente los coeficientes de intercambio de sal, que integran las diferentes escalas de tiempo en eventos particulares: nivelación, flujos de densidad y movimiento ocasionado por los buques. El modelo se utilizó tanto en la simulación del intercambio de sal entre las esclusas como en la simulación de intercambio de sal entre las esclusas y el mar y entre las esclusas y los lagos. El modelo fue diseñado para calcular la carga de agua salada en los lagos Miraflores y Gatún.

Intercambio de sal entre las esclusas

Sobre la base de cómputos independientes de la intromisión de agua salada, se confirmó que el modelo SWINLOCKS calcula correctamente el intercambio de sal entre las esclusas. El factor crítico en el modelo SWINLOCKS son los coeficientes de intercambio. No obstante la determinación de los coeficientes se asocia a rangos más grandes, los coeficientes aplicados entre las esclusas aparentan ser inalterables y robustos. Las mediciones del campo y recopilación de datos en las esclusas son apropiadas para el propósito, a pesar de haber encontrado un rango significativo. Solamente se identificaron inconsistencias menores. Se concluyó que el modelo SWINLOCKS describe el desplazamiento salino entre las esclusas con suficiente exactitud.

Intercambio de sal en el Corte Gaillard

Se encontró una baja salinidad cerca de la antecámara de Pedro Miguel (rango de 0.1 ppt o partes por millar por sus siglas en inglés). Se sabe que para la mezcla de la columna de agua se utiliza aproximadamente un 1% de la energía mecánica ocasionada por el movimiento de los buques. Dado que la diferencia en la densidad (equivalente a 0.1 ppt) es muy baja, el cálculo de orden de magnitud muestra que la propulsión del buque producirá una mezcla vertical en la columna de agua en el Corte Gaillard. Como resultado, debe esperarse que la salinidad sea transportada de vuelta a través de las esclusas de Pedro Miguel con el vertido de agua. Por consiguiente, DHI espera que el intercambio de sal de las esclusas de Pedro Miguel al lago Gatún a través del Corte Gaillard sea mínimo. Para determinar si este sería el caso con las nuevas esclusas, se tendría que sustentar con simulaciones numéricas.



Intercambio de sal entre esclusas – lagos

La intromisión a los lagos depende del tamaño de los buques, el número de tránsito de buques, las operaciones de las esclusas y los cambios de dirección, y es un balance entre el flujo de entrada de sal proveniente de la esclusa superior, la densidad de la sal arrastrada por el flujo hacia fuera de la esclusa y el flujo de salida de sal ocasionado por el vaciado de la esclusa. Las concentraciones de sal disminuyen gradualmente lejos de las esclusas. DHI considera que la variación en espacio y tiempo de la sal cerca de la esclusa es decisiva para la determinación correcta del flujo de salida de sal durante el vaciado de la esclusa y, por lo tanto, la entrada y salida neta de sal.

Un modelo de caja de los lagos con solo tres compartimentos no puede describir los gradientes de sal en las inmediaciones de las esclusas. El modelo SWINLOCKS describe el intercambio de sal entre las esclusas y el lago, tomando en cuenta empíricamente todos los procesos. Para predecir la situación presente y todas las consecuencias que acarrearían las esclusas Pospanamax, no se puede utilizar únicamente el enfoque del modelo *box* ó de compartimientos que describe las condiciones de salinidad en los lagos. Esto se ha demostrado mediante una serie de simulaciones hidrodinámicas tridimensionales de intromisión de sal.

Medidas de campo en los lagos

Los niveles de salinidad en el lago Gatún y en el Corte Gaillard son muy bajos -- menos de 0.1 ppt. Los instrumentos CTD que se utilizaron no detectaron salinidad debajo de ese nivel. La única conclusión que se sacó de las medidas en el Informe A fue que la salinidad en el lago Gatún y el Corte Gaillard es de menos de 0.1 ppt. Sin embargo, a pesar de que los valores de salinidad son bajos, DHI espera que la variación (proporción entre la salinidad en la antecámara de la esclusa y el área central de lago Gatún) sea alta. Se recomienda que se tomen nuevas medidas en la vecindad de las esclusas de Gatún y Pedro Miguel. De igual forma, la concentración de iones en el agua dulce puede consistir de un número de sales que no sean de cloruro de sodio. Por lo tanto, la conductividad no es equivalente a NaCl. Se recomienda que se midan las diferentes sales que se encuentran en el lago a fin de determinar el origen del agua. Se debe medir la conductividad con un instrumento de alta precisión diseñado para aplicaciones en agua dulce.

Tinas de reutilización de agua

En el Informe F, Delft Hydraulics calculó los efectos de introducir tinas de reutilización de agua en las esclusas Pospanamax. En el modelo SWINLOCKS, las tinas de reutilización de agua han sido agrupadas y descritas por volumen de agua y la concentración promedio de sal en las tinas. DHI puede confirmar este enfoque.

Estudios de análisis de mitigación

En el Informe F, Delft Hydraulics identificó un total de 10 esquemas de mitigación. Esta identificación se considera completa. En cuanto a la determinación de los coeficientes de intercambio del esquema de mitigación de sal en las tinas, se menciona que la misma se basa sobre simulaciones computacionales de dinámica de fluidos 2DV. Sin embargo, se anticipa que el flujo alrededor de la tina será tridimensional. El análisis debe ser complementado con simulaciones de flujo 3D.



Investigaciones adicionales

Sobre la base de la revisión compendiada en los párrafos anteriores, se proponen las investigaciones adicionales que se detallan a continuación, a fin de adquirir un entendimiento total de la intromisión de agua salada tanto en la situación actual como después de construidas la esclusas Pospanamax.

Mejorar el conocimiento de las gradientes de flujo y salinidad en los lagos en las inmediaciones de las esclusas existentes mediante una combinación de mediciones y simulaciones de modelos 3D. Las mediciones de salinidad se deben preparar para valores muy bajos de salinidad y deben ser complementadas por el análisis de una muestra de agua para definir la composición química del agua del lago, así como en los tributarios, a fin de establecer el historial adecuado de salinidad. Las mediciones de salinidad pueden ser suplementadas con estudios de rastreo para proporcionar una medida independiente de la intromisión de agua salada en el lago Gatún.

Determinar mediante un modelaje 3D las gradientes de flujo y salinidad en los lagos en las inmediaciones de las esclusas Pospanamax. Identificar el intercambio de sal y las posibilidades de mejorar los esquemas de mitigación relativos a la maximización del flujo de retorno de agua salada durante los vaciados.

Determinar a largo plazo la concentración de sal en los lagos (escala de tiempo en años) después de construidas las esclusas Pospanamax mediante la combinación de simulaciones 3D y un modelo de esclusa. El procedimiento para realizar dicha combinación no es fácil de establecer, en tanto que lejos de las esclusas, la variación es mucho más lenta con una escala de meses a años. Para determinar la concentración de sal a largo plazo se requiere que ambas escalas de tiempo estén resueltas en el modelo. El enfoque para simular ambas escalas de tiempo se presenta como parte de este informe.

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



2 ANTECEDENTES

El Canal de Panamá es una vía interoceánica de 80 kilómetros de largo y cuenta con juegos de esclusas de tres niveles que conectan los océanos Atlántico y Pacífico a través del Istmo de Panamá. La Autoridad del Canal de Panamá (ACP) es la entidad autónoma del Gobierno de la República de Panamá responsable de la administración y operación del Canal a partir del 1° de enero de 2000, luego de su traspaso por parte del Gobierno de los Estados Unidos en virtud del Tratado del Canal de Panamá de 1977. El propósito de los estudios realizados por la ACP consiste en analizar la posibilidad de ampliar la capacidad de la vía interoceánica en el futuro próximo para permitir el tránsito de los grandes buques Pospanamax. A fin de determinar la demanda de tráfico prevista y formular las opciones de ampliación, la ACP está elaborando un programa de estudios integrados conocido como el Plan Maestro del Canal de Panamá, el cual actualmente se encuentra en su fase de borrador.

El sistema actual del Canal Panamax, que consiste en juegos de esclusas y de represas en las entradas de los océanos Atlántico y Pacífico y que posee fuentes de agua dulce tales como su cuenca y ríos, ha preservado el lago Gatún primordialmente como un cuerpo de agua dulce.

Los estudios iniciales indican que un nuevo juego de esclusas Pospanamax que dependa de su operación y de la mezcla de buques pudiese incrementar la intromisión de agua salada en el lago Gatún. Por este motivo, la ACP ha encargado a WL Delft Hydraulics tres estudios sobre la intromisión de agua salada.

1. SAA-74337 Estudios de intromisión de agua salada en las nuevas esclusas Pospanamax del Canal de Panamá: se llevaron a cabo mediciones de salinidad en las esclusas existentes y en el sistema de lagos para elaborar y calibrar un modelo numérico de las condiciones actuales. El modelo fue posteriormente modificado para incluir las nuevas esclusas Pospanamax y se llevaron a cabo pruebas de simulación para predecir la intromisión de agua salada que se anticipa debido a la operación de las nuevas esclusas con diferentes configuraciones de esclusas de 1, 2 y 3 niveles; combinaciones de ninguna, dos, tres y seis tinas de reutilización de agua; con intensidades de tráfico de 5, 10 y 15 esclusajes al día en las nuevas esclusas; y variando los niveles del lago Gatún y opciones de administración de agua.
2. SAA-110830 Estudio de intromisión de agua salada debido al sistema de reciclaje de agua en las esclusas Pospanamax en el Pacífico: se modificó el modelo numérico para predecir la intromisión de agua con diferentes configuraciones de un sistema de reciclaje de agua en las nuevas esclusas en el lado Pacífico. Debido a los resultados que demostraron una alta salinidad, la alternativa de reciclaje del agua bombeada se consideró desfavorable y, por lo tanto, no se estudiará bajo este contrato.
3. SAA-135358 Sistemas de mitigación de la intromisión de agua salada para la esclusas Pospanamax: se evaluaron diferentes sistemas de mitigación y se seleccionaron cuatro de los sistemas más viables para pruebas de simulación con el modelo numérico para predecir los efectos, beneficios y recursos necesarios para los diferentes escenarios de operación para esclusas de tres niveles con ninguno, dos o tres sistemas de reutilización de agua.



3 ALCANCE DEL TRABAJO

Conforme a los términos de referencia, el alcance del trabajo es el siguiente:

1. Analizar y presentar una evaluación por escrito de los informes finales de los estudios SAA-74337. Analizar los modelos de intromisión de sal, la estructura, metodología, lógica del programa, parámetros cuantitativos, presunciones básicas, datos, fórmulas, calibración, pruebas de simulación y herramientas utilizadas para elaborar los estudios sobre la base de descripciones de los modelos. Analizar y ofrecer comentarios sobre los factores críticos, parámetros no cuantitativos, criterios y variables que afectan la intromisión salina sobre la base de un análisis de los informes e intercambios con el o los autores. Analizar y hacer comentarios sobre las conclusiones y recomendaciones del informe y la coherencia de los resultados con los datos y resultados de otros estudios. Recomendar modificaciones y mejoras a los modelos, la metodología y premisas para perfeccionar la exactitud y coherencia de los resultados. Establecer si las modificaciones recomendadas justifican pruebas de modelos adicionales y, de ser así, describir dichas pruebas.
2. Analizar y presentar una evaluación por escrito del informe parcial y borrador final del estudio SAA-135358. Analizar los modelos de mitigación de la intromisión de agua salada, los sistemas de mitigación, la metodología y presunciones básicas utilizadas para desarrollar los estudios sobre la base de las descripciones de los modelos e intercambios con el creador del programa. Analizar y comentar sobre los factores críticos, los criterios y variables que afectan la intromisión de salinidad sobre la base de una revisión de los informes e intercambios con el o los autores. Analizar y hacer comentarios sobre las conclusiones y recomendaciones del informe y la coherencia de los resultados con los datos y resultados de otros estudios. Recomendar modificaciones y mejoras a los modelos y sistemas de mitigación para perfeccionar la exactitud y coherencia de los resultados. Establecer si las modificaciones recomendadas justifican pruebas de modelos adicionales y, de ser así, describir dichas pruebas.
3. Identificar y proponer que se realicen otros estudios y modelos a fin de definir mejor el problema de la intromisión de agua salada y desarrollar posibles soluciones. Describir las variables críticas que se van a definir y cuantificar y la interacción entre las mismas. Proponer las metodologías y las herramientas que se utilizarán en los estudios adicionales. Hacer una lista de los posibles proveedores de estos estudios y de las fuentes de información para realizar investigaciones adicionales. Calcular el tiempo, el costo y los recursos necesarios.



La ACP le proporcionó los cinco documentos que se detallan a continuación a DHI para realizar un análisis de los mismos:

Estudio SAA-74337	
Informe A	Análisis de la intromisión de agua salada en las esclusas del Canal de Panamá, situación actual, Informe A fechado junio del 2003, Delft Hydraulics
Informe B	Análisis de la intromisión de agua salada en las esclusas del Canal de Panamá, situación futura, esclusas Pospanamax de un solo nivel, Informe B fechado septiembre del 2003, Delft Hydraulics
Informe C	Análisis de la intromisión de agua salada en las esclusas del Canal de Panamá, situación futura, esclusas Pospanamax de tres niveles, Informe C fechado septiembre del 2003, Delft Hydraulics
Informe D	Análisis de la intromisión de agua salada en las esclusas del Canal de Panamá, situación futura, esclusas Pospanamax de dos niveles, Informe D fechado septiembre del 2003, Delft Hydraulics
Estudio SAA-135358	
Informe F	Análisis de la intromisión de agua salada en las esclusas del Canal de Panamá, situación futura, esclusas Pospanamax, estudio, modelación y análisis de los sistemas de mitigación de la intromisión de agua salada para las configuraciones revisadas de esclusas de 3 niveles, Informe F fechado abril del 2005, Delft Hydraulics

Además, la ACP programó una visita de tres días al sitio del 22 al 24 de junio de 2005 para dos delegados de DHI. Se discutió el alcance del trabajo y se visitaron las esclusas e instalaciones del Canal.

El 15 de septiembre de 2005 se presentó un borrador de los resultados del estudio en la sede de la ACP. Posterior al borrador del informe, se recibieron los comentarios de Delft Hydraulics (Tom Jongeling el 13 de septiembre de 2005) y de la ACP (21 de septiembre y 8 de octubre de 2005). Se hizo una revisión del borrador del informe para tomar en consideración los comentarios recibidos.



4 REVISIÓN

4.1 Modelo de intromisión de agua salada

El capítulo 5 del Informe A contiene una descripción del modelo de simulación. En el Informe F se denomina al modelo de simulación como el modelo SWINLOCKS (siglas en inglés para intromisión de agua salada en las esclusas) y de aquí en adelante se denominará SWINLOCKS.

SWINLOCKS es un modelo de compartimientos. El modelo describe el flujo de agua y sal tomando en consideración los siguientes parámetros:

- Variaciones en el nivel de agua de los lagos y océanos
- Intercambio de volúmenes de agua
- Volumen del buque (de encontrarse un buque en la cámara de las esclusas)
- Concentración de sal en las esclusas, lagos y océanos

El modelo SWINLOCKS define la salinidad como las concentraciones promediadas por volumen. El modelo SWINLOCKS consiste de un total de 28 compartimientos, con dos compartimientos representando los océanos, y cada uno de los lagos de Gatún y Miraflores representa un compartimiento. En la Figura 4.1 que se presenta a continuación se aprecia un esquema de la configuración de los compartimientos. SWINLOCKS calcula el balance de agua tomando en consideración la variación en los niveles de agua de los lagos y los vertidos en Gatún y Miraflores.

(Véase la Figura 4.1 en la versión en inglés)

Figura 4.1 Esquema de la configuración de los compartimientos del modelo SWINLOCKS y parámetros de entrada del Informe A

El transporte de salinidad se describe mediante el uso de coeficientes de intercambio. Se hacen distinciones entre:

- Nivelación de las superficies de agua / apertura y movimiento del buque (también llamado Paso 1 y Paso II)
- Esclusaje ascendente y esclusaje descendente

El modelo SWINLOCKS está bien documentado. Todas las premisas y ecuaciones están presentadas con claridad en el Informe A. La metodología y técnicas del modelo SWINLOCKS se basan en la experiencia holandesa en el control de la calidad del agua en esclusas para buques, Referencia /1/.

El concepto de coeficientes de intercambio para el cálculo del intercambio de sal está basado en la utilización de valores de salinidad promediados por volumen y los intercambios de volúmenes de agua conocidos. El concepto funciona cuando la salinidad promediada por volumen es una aproximación adecuada de la física.

En el capítulo 5 del Informe A se presentan y se explican las presunciones y las ecuaciones.



La intercambio de sal (SE, por sus siglas en inglés) entre las esclusas y las tinas se determina mediante una ecuación de tipo:

Igualdad de los niveles de agua y derrames en los vertederos

$$SE = e_x V_{ref} c$$

Apertura de las compuertas y movimiento del buque

$$SE = e_x V_{ref} c (\Delta c) - (S c)$$

en el que e_x es el coeficiente de intercambio, V_{ref} es el volumen de referencia, c es la concentración de sal correspondiente al volumen de referencia, Δc es la diferencia de salinidad entre las cámaras y S es el volumen sumergido de un buque.

El coeficiente de intercambio, en el caso del movimiento de un buque, depende del tamaño del buque con relación al volumen de referencia, según la fórmula:

$$e_x = (1 - S/V_{ref}) \cdot e_{x0}$$

El coeficiente de intercambio es una constante empírica que toma en consideración los siguientes procesos hidrodinámicos:

- Mezcla debido al movimiento de un buque
- Mezcla debido a las hélices de un buque
- Mezcla debido a los flujos de densidad (intercambio entre las esclusas)
- Estratificación en las esclusas
- Presencia de barreras ajustables en las esclusas
- Tiempo de apertura de las compuertas en la antecámara y la poscámara de las esclusas

Mediante el cálculo de SE, se puede determinar el coeficiente de intercambio usando los valores de salinidad promedio del volumen. La campaña de medición, las mediciones de salinidad en las estaciones lluviosas y secas (noviembre-diciembre del 2001 y en abril del 2002), fue diseñada a manera de determinar los coeficientes de intercambio de cada paso de la ecuación. Los coeficientes de intercambio de cada paso en las operaciones de las esclusas se evaluaron y se determinaron sobre la base de las mediciones de salinidad en las esclusas, las antecámaras y las poscámaras de las esclusas. Los valores calculados de los coeficientes de intercambio partiendo de las mediciones demuestran una gran dispersión, incluyendo los valores no físicos. Esto es más pronunciado en el caso del Paso 11, movimiento de un buque y corrientes de densidad. Una explicación lógica sobre esta dispersión serían las dificultades prácticas al hacer las mediciones con un buque dentro de las esclusas. Al mismo tiempo, hay gradientes de salinidad muy fuertes en las esclusas que agravan la determinación de la salinidad promedio del volumen. Se desarrolló un análisis teórico de los posibles rangos de los coeficientes de intercambio a fin de limitar la selección de los coeficientes de intercambio.



Comentarios: El modelo SWINLOCKS es un modelo empírico en el que los coeficientes de intercambio en las ecuaciones de transporte de sal se determinan mediante el uso de mediciones de campo.

Es notable la gran dispersión en los valores de los coeficientes de intercambio. Esto también se confirma en el Informe A y se han preparado pruebas de sensibilidad.

La representación de la intromisión de agua salada por poscámara-esclusas-antecámara mediante un enfoque con un modelo de compartimentos, es razonable y la opción obvia. La salinidad cambia abruptamente de cámara a cámara y se puede llegar un registro de la salinidad y calcular la intromisión de sal tal como se hace en el SWINLOCKS. Los complicados procesos hidrodinámicos dentro de las esclusas se pueden parametrizar mediante un coeficiente de intercambio empírico. Sin embargo, la presentación de los lagos (¡el lago Gatún tiene un volumen promedio de 5.17 km^3 !) en un compartimento es una simplificación importante del sistema.

4.2 INTERCAMBIO DE SAL A TRAVÉS DE LAS ESCLUSAS

A fin de evaluar y entender las consecuencias de las presunciones básicas y de los parámetros cuantitativos, se preparó un modelo simple de las esclusas de Gatún. Esto se hizo mediante la implementación de las fórmulas del modelo SWINLOCKS en un pequeño programa -- MATLAB. Se investigaron dos casos con condiciones cambiantes de contorno límite: 1) Esclusajes ascendentes continuos del océano Atlántico al lago Gatún 2) Esclusajes descendentes continuos del lago Gatún al océano Atlántico.

Se presumió un escenario con un buque de 200 m de eslora, 10 m de calado y 30 metros de manga o ancho. Todos los coeficientes de intercambio se establecieron según los del Informe A (Tablas 6.5 a 6.8).

Caso 1 - Esclusaje ascendente. La salinidad en la poscámara de la esclusa se fija igual, a 32 y 0 ppt en el lago o la poscámara. La salinidad en la antecámara y en la esclusa E permanece en 0 ppt a través de la simulación. Examinando los coeficientes de intercambio utilizados en el Informe A, Tabla 6.6, el coeficiente de salinidad en el caso del movimiento de un buque durante el esclusaje ascendente entre las esclusas E y F y entre las esclusas F y la antecámara se fijó igual en 0 ppt. Entonces el intercambio de sal se debe solamente al movimiento del volumen de un buque. En el caso del esclusaje ascendente, el intercambio de sal como resultado del movimiento de un buque baja a medida que el volumen del buque rellena el cuerpo de agua de la esclusa o antecámara aguas arriba. Si la salinidad en la antecámara se fija inicialmente en 0 ppt, como en este ejemplo, por ende no habrá intercambio de sal con la esclusa F. Véase la Figura 4.2.



(Véase figura 4.2 en la versión en inglés)

Figura 4.2 Simulación de esclusaje ascendente en las esclusas de Gatún. La salinidad se muestra en función de no operación.

Comentarios: El modelo SWINLOCKS predice que no habrá intromisión en el esclusaje ascendente si la salinidad en la antecámara es inicialmente cero.



Caso 2 - Esclusaje descendente. A modo de prueba, la salinidad tanto del lago Gatún como del océano Atlántico se fijó igual en 32 ppt. Después de un tiempo, se observaron concentraciones de sal por encima de 32 ppt, véase Figura 4.3. La razón de eso es la aplicación de un coeficiente de intercambio para igualar los niveles de agua por encima de 1 ppt. Un coeficiente de intercambio por encima de 1 ppt toma en consideración que hay una estratificación en la cámara superior y que el vaciado de agua se hace por el fondo de la cámara superior. Sin embargo, como un efecto secundario, esto puede crear salinidad, tal como se ejemplificó. Al hacer la misma simulación, pero con todos los coeficientes de intercambio para igualar los niveles de agua, se pone al igual con 1 ppt. Todas las concentraciones de sal gradualmente aumentan a 32 ppt, tal como se anticipó.

(Véase Figura 4.3 en la versión en inglés)

Figura 4.3 Desarrollo de la salinidad en las esclusas si los niveles son iguales a 32 ppt y el cociente de intercambio es de 1.2 tanto la poscámara como la antecámara. Nótese la generación de sal en la Esclusa D.

Comentarios: Aparentemente es posible crear valores de salinidad no físicos. Estos valores no físicos crean gradientes de salinidad artificial en el modelo SWINLOCKS.

(Véase Figura 4.4. en la versión en inglés)

Figura 4.4 Esclusajes continuos en el lado Atlántico. El desarrollo de salinidad en las esclusas si la salinidad en la poscámara es igual a 32 ppt y la salinidad del lago es igual a 0 ppt.

La Figura 4.4. muestra el desarrollo de la salinidad en las esclusas con esclusajes descendentes continuos (un total de 50 buques) en el lado Atlántico. Luego del esclusaje descendente de 10 buques, se llega a un equilibrio dinámico. Si se aumenta la salinidad en la poscámara en un 16%, de 32 ppt a 37 ppt, la salinidad en todas las esclusas aumentaría, y se calcula que el transporte de sal de la Esclusa F a la antecámara sería un 16% más alto.

Comentarios: El transporte de sal varía linealmente con la salinidad en la poscámara.

(Véase la Figura 4. en la versión en inglés)

Figura 4.5 Esclusajes descendentes en el lado Atlántico. El desarrollo de la salinidad en las esclusas si la salinidad de la poscámara es igual a 37 ppt y la salinidad del lago Gatún es igual a 0 ppt.



4.2 **CONDICIONES DEL CONTORNO LÍMITE EN LAS POSCÁMARAS DE LAS ESCLUSAS**

La temperatura en la poscámara de las esclusas de Miraflores durante la estación lluviosa es de aproximadamente 27 a 28°C, y durante la estación seca es de cerca de 21°C. La temperatura en el lago Miraflores no varía en conformidad. El efecto de una temperatura más baja en la densidad del agua de mar durante la estación seca es compensada por (véase el capítulo 5.6 del Informe A) un aumento en el nivel de salinidad durante la estación seca, usando las relaciones existentes entre la temperatura, la densidad y la salinidad. Las mediciones tomadas en las esclusas de Miraflores durante la estación seca registran una salinidad de 34 ppt. La tabla 5.8 en el Informe A presenta la concentración de sal en las poscámaras para todos los meses. La salinidad durante los meses de marzo y abril en la estación seca ha sido aumentada a 37 ppt.

Comentarios: La diferencia en temperatura entre las estaciones seca y lluviosa es de aproximadamente 7-8°C. Esto equivale a cerca de 3 ppt. Se ha incrementado la salinidad de la estación seca en 3 ppt (de 34 a 37 ppt). Sin embargo, un aumento en las diferencias en densidad no se puede equiparar mediante la salinidad sin violar las condiciones del contorno límite del balance de la masa y sal. Tal como se ilustra en la Sección 4.2, el sistema en la concentración de sal en la poscámara de la esclusa es casi lineal. Por consiguiente, si se incrementa la salinidad en la poscámara en un 9% (de 34 a 37 ppt), la entrada de sal aumenta en aproximadamente un 9%.

La condición del contorno límite de los niveles de agua en los océanos Pacífico y Atlántico va de acuerdo a la marea aproximadamente, véase el capítulo 5.6 del Informe A. Con relación al nivel de referencia preciso utilizado en el Canal de Panamá (PLD, por sus siglas en inglés), el movimiento de la marea para las esclusas de Miraflores es:

$$h_{\text{tailbay}} = 0.305 + A \cdot \sin 00_1 t + B \cdot \sin 00_2 t$$

en que $A = 1.8 \text{ m}$, $B = 0.575$, $00_1 = (2\mu/44760)$, $00_2 = (2\mu/43233)$ y t es el tiempo en segundos.

Marea en Balboa

(Véase Figura 4.6 en la versión en inglés)

Figura 4.6 Comparación del aproximado de la marea calculado por DHI (línea negra) y la marea oficial (línea roja) en Balboa

Comentarios: En el Informe A se establece que una reproducción precisa de la marea no es importante cuando se consideran períodos más largos de tiempo. La Figura 4.3 muestra una comparación entre la aproximación utilizada y una variación basada en las constantes armónicas normales (línea roja) en Balboa.

4.4. **INTERCAMBIO DE SAL EN LA ANTECÁMARA DE LA ESCLUSA**



En el capítulo 5.4 del Informe A se explica la simulación del intercambio de sal en la antecámara de la esclusa. El volumen de agua en la antecámara de la esclusa en el lago Miraflores y en el lago Gatún se define como el área de la superficie de las esclusas multiplicado por la profundidad local del agua menos la barrera ajustable en la entrada de las esclusas. Este volumen sirve de amortiguamiento entre el lago y las esclusas. El período de tiempo entre los esclusajes y la dispersión del agua salada debido a las corrientes de densidad se explica haciendo que el coeficiente de intercambio dependa del tiempo.

Comentarios: Los siguientes procesos hidráulicos se dan en la antecámara de la esclusa y lejos de las esclusas:

- Flujo de agua debido al movimiento de un buque
- Mezcla debido a las hélices de un buque
- Flujo debido al vaciado de agua
- Corrientes de densidad debido al intercambio en las esclusas al abrir las compuertas
- Flujo de densidad debido a las diferencias de salinidad con el cuerpo de agua ambiental

Estos procedimientos dependen de la geometría local y de la profundidad de las aguas en la antecámara de la esclusa, así como de la profundidad de las aguas circundantes y determinan la concentración de sal en la antecámara y el exceso de densidad asociado. El transporte y dispersión salinos lejos de la antecámara y dentro de los lagos es el resultado del balance entre el exceso de flujo inducido por la densidad hacia las partes más hondas del lago, el vaciado de agua en la antecámara de la esclusa y el flujo ambiental hacia las esclusas, ya sea debido al vaciado de las esclusas o derrame en los vertederos. Como consecuencia de esto, se ocasiona un incremento gradual de la salinidad lejos de las esclusas.

La representación de estos procesos mediante dos coeficientes de intercambio, uno para nivelar y uno para la apertura de las compuertas y el movimiento de un buque, es difícil. Las Figuras 6.1 y 6.4 en el Informe A muestran que hay un esparcimiento significativo en el cálculo de los coeficientes de intercambio de la situación esclusa-lago.

Debido a la presencia de las gradientes de densidad lejos de las esclusas y la dependencia de la batimetría local, para una descripción más exacta del intercambio entre el lago y la antecámara de la esclusa, se requerirá una resolución más en el espacio que la que ha sido aplicada con el modelo SWINLOCKS.

Esto tiene ciertas implicaciones para el cálculo del intercambio de sal por los vertederos y la validación del modelo, véase abajo. Para poder ilustrar la importancia de estos fenómenos, se han preparado unas cuantas simulaciones tridimensionales del intercambio de sal y el flujo en la vecindad de la antecámara de las esclusas de Gatún y el vertedero de Gatún.

Para poder evaluar el flujo y la dispersión de sal en la vecindad de las esclusas de Gatún y en la antecámara de la esclusa, se estableció un modelo tridimensional mediante la aplicación de la herramienta de modelación Malla Flexible MIKE 3 (FM, por sus siglas en inglés) de DHI, a fin de hacer una simulación tridimensional de flujo con superficie libre. El área del modelo, la cual se ilustra en la Figura 4.7, cubre un área de aproximadamente $2 \times 2 \text{ km}^2$, incluyendo el vertedero de Gatún. La malla de simulación horizontal varía entre 25 y 75 m, y se aplicaron 10 capas.

A modo de ilustración, se presume que la operación de la esclusa es una secuencia de esclusajes descendentes durante la tarde, seguidas de esclusajes ascendentes a la mañana siguiente. Se simuló un período de un día y medio. Se aplicaron las siguientes condiciones:



- Operación de la esclusa, 36 buques Panamax al día (18 esclusajes ascendentes y 18 esclusajes descendentes)
- Apertura de compuertas y movimiento de un buque. Esclusaje descendente: La entrada de sal de la esclusa F a la antecámara de la esclusa ocurre cuando una pulsación de agua salada con un volumen correspondiente al volumen de un buque Panamax de 90,000 m³ es seguida por un derrame (flujo de salida) de 95,000 m³. Esclusaje ascendente: El flujo de agua de salida correspondiente a 90,000 m³ con una salinidad igual a la de la antecámara es seguido por un volumen de derrame de 95,000 m³. Se presume que durante la noche las esclusas están cerradas.
- Vertedero de Gatún. Estación seca (1.8 m³/seg)
- Salinidad en la esclusa F. Se aplicó un valor constante de 0.5 ppt.

(Véase la Figura 4.7 en la versión en inglés)

Figura 4.7 Modelo de batimetría Malla Flexible MIKE 3 (FM, por sus siglas en inglés)
La profundidad del agua se tomó del mapa náutico digital Cmap.

En la Figura 4.8 se ilustra un ejemplo de la dispersión de sal en la estación seca después de día y medio de simulación.

(Véase la Figura 4.8 en la versión en inglés)

Figura 4.8 Estación seca. Concentraciones de sal cerca del fondo después de un día y medio de simulación. La unidad práctica de salinidad es igual a ppt. t1 y t2 indican la posición de la serie de tiempos ilustrados en la Figura 4.9a.

Las simulaciones muestran una dinámica de intercambio de sal entre la antecámara de la esclusa y el lago debido a la entrada de sal durante un esclusaje descendente y el vaciado de agua. Se forman corrientes de densidad en la antecámara de la esclusa y el agua salada fluye hacia las partes más profundas, como es de esperarse. Las corrientes del lago hacia las esclusas son muy débiles (menos de 4-10cm/s). Las simulaciones para la estación lluviosa demostraron que la distribución de salinidad es influenciada por el flujo hacia el vertedero y que la salida de salinidad a través del vertedero de Gatún aumenta en comparación con la estación seca.

No obstante, los resultados son únicamente **ilustrativos**; los mismos demuestran que existe una variación importante en la salinidad en la vecindad de las antecámaras de las esclusas y que la gradiente de salinidad es significativa. En particular, se notó que existe una diferencia en la concentración de sal entre el lado oeste y el lado este del muro de aproximación a la antecámara de la esclusa. Aparentemente, la salinidad tiende a ser más alta en el lado oeste. Esto pudiera ser debido a la restricción sobre la divergencia del flujo entre el muro de aproximación y tierra firme.



Lo que es interesante es el desarrollo a largo plazo de la salinidad en el lago. Se puede obtener una impresión de esto mediante la evaluación de las series de tiempos de la salinidad y la mezcla vertical. La Figura 4.9a muestra el desarrollo de la salinidad en el fondo en dos ubicaciones (en las esclusas de Gatún y en el canal de navegación, las posiciones se muestran en la Figura 4.8) durante el período de la simulación. La salinidad cerca de las esclusas aumenta rápidamente durante la secuencia de un esclusaje descendente, después de lo cual disminuye durante la noche y la secuencia de un esclusaje ascendente a la mañana siguiente, después de lo cual vuelve a incrementar durante un esclusaje descendente. Lejos de las esclusas, la variación de salinidad es más lenta y la salinidad aumenta después de un tiempo. La entrada de sal durante un esclusaje descendente fluye gradualmente hacia el lago y disminuye como resultado de la dilución. El flujo hacia las esclusas durante un esclusaje ascendente contrarresta el esparcimiento de sal en el lago. Se notó que el aumento de la salinidad en el canal de navegación, véase la Figura 4.9a, durante la segunda pulsación significativamente menor que durante la primera pulsación. No obstante, se requiere de series de tiempo de simulación más largos para estimar la tendencia. La Figura 4.9b presenta una sección transversal vertical de sal a todo lo largo del canal angosto. Se puede observar una pulsación de agua salada a una distancia lejana de las esclusas, y a una distancia aún más lejana la distribución de salinidad tiende a ser uniforme en la vertical.

(Véase figura 4.9a en la versión en inglés)

Figura 4.9^a Serie de tiempos de salinidad en la capa del fondo del lago Gatún (t1) y en el canal de navegación (t2). Las posiciones se muestran en la Figura 4.8.

(Véase Figura 4.9b en la versión en inglés)

Figura 4.9b Sección transversal vertical de salinidad a lo largo del canal de navegación, véase el panel superior después de la primera secuencia de esclusaje descendente (simulación por un período de 12 horas) y después de la segunda secuencia (simulación por un período de 36 horas). PSU es igual a ppt.



Comentarios: Las simulaciones indican que luego de cierto periodo de tiempo, cerca de las esclusas se desarrolla una distribución de la salinidad continua pero que varía con la estación. El equilibrio dinámico entre la entrada de sal a través de las esclusas y la salida de sal mediante el vaciado y el vertido de agua determina la distribución de la sal.

Debe enfatizarse que los resultados que se presentan son preliminares. En realidad, la mezcla debido al viento, la transferencia de calor y los movimientos del buque aumentarán la mezcla y, por lo tanto, influenciarán la distribución de la salinidad. La fuerza persistente del viento también influenciará la distribución de la salinidad. Se deben preparar periodos más largos de simulación (de un mes) para consolidar las observaciones.

El modelo SWINLOCKS calcula el volumen promedio de la concentración de sal en el lago Gatún. En realidad, la concentración de sal varía en todo el lago. Ocurrirán concentraciones de sal más altas cerca de las esclusas y la concentración será más baja lejos de las esclusas. Las simulaciones tridimensionales durante un periodo de 2 días indican que el modelo SWINLOCKS puede predecir una intromisión más alta de sal en el lago. A la vez, el modelo SWINLOCKS puede tasar en menos la transferencia de sal hacia fuera del lago a través de las compuertas. Mediante una estimación por un periodo más largo de tiempo y espacio en tres dimensiones, esto se debería cuantificar más ampliamente. Se hace referencia a la Sección 5.

4.5. INTERCAMBIO DE SAL MEDIANTE LOS VERTEDEROS

Tal como se explicó anteriormente, la salida de sal de los lagos mediante los vertidos, se calcula de un coeficiente de intercambio proporcional al volumen del vertido y la concentración de sal en el lago.

En el caso del lago Miraflores, la salinidad promediada por volumen es 1.5 ppt y 0.7 ppt en las estaciones seca y lluviosa, respectivamente. Para poder lograr estos valores, se determinó un coeficiente de intercambio de 1.5. Esto significa que la concentración promedio de sal en el agua que fluye sobre el vertedero es 1.5 veces la salinidad promediada por volumen. Mediante una comparación con la Tabla 3.4 en el Informe A, se puede ver que la concentración de sal en la antecámara de las esclusas de Miraflores es aproximadamente 1.5 veces la concentración promedio de sal en este lago.

No se pudo medir los valores de la salinidad promediada por volumen en el lago Gatún. Los valores de salinidad estuvieron por debajo de la exactitud de los instrumentos aplicados de 0.1 ppt. En la vecindad de las esclusas se observó una concentración de sal de hasta 0.2 ppt durante la estación seca. Sobre la base del análisis de salinidad, se escogió un coeficiente de intercambio de 7.5. Véase la Tabla 6.15 en el Capítulo 6 del Informe A. De la Tabla 6.15 se puede observar que la salinidad promedio del volumen en el lago Gatún es equivalente al coeficiente de intercambio dividido por la concentración de sal cerca de la represa de Gatún. Esto nos dice que el agua que se vierte a la represa Gatún tiene la misma salinidad que la antecámara de las esclusas de Gatún.

Comentarios: Primeramente, no pareciera posible que la salinidad en el vertedero sea igual a la salinidad en la antecámara de la esclusa. Segundo, la salinidad en el lago debe disminuir a medida que la distancia de las esclusas es mayor. Esto lo demuestran las simulaciones tridimensionales del lago Gatún y la antecámara de las esclusas.



4.4. CORTE GAILLARD

En el Informe A se trata sobre si la sal puede penetrar en el lago Gatún a lo largo del fondo del Corte Gaillard. Se midieron valores de salinidad muy bajos en el Corte y en la antecámara de las esclusas de Pedro Miguel. Según la Tabla 3.4, la salinidad máxima es 0.1 ppt. Esto corresponde a un intercambio de flujo en la esclusa de aproximadamente 0.05 m/s (velocidad frontal).

Sin embargo, la pregunta es si puede existir una estratificación en este angosto Corte con la intensidad de tráfico y la mezcla producida por los buques. Se pueden hacer las siguientes estimaciones conservadoras:

Según la Referencia /2/, cerca del 1 por ciento de la energía propulsora de un buque está disponible para mezclar la columna de agua. Se presume que por cada esclusaje un volumen de agua al de la esclusa forma una capa inferior con una densidad equivalente a 0.1 ppt, y que la profundidad del agua es de 20 m. La energía que se requiere para mezclar esta capa inferior sobre la vertical es igual a aproximadamente 1.5 MJ por buque (presumiendo de forma conservadora que una cantidad de agua igual al volumen de la esclusa con una densidad equivalente a 0.1 ppt sigue al buque). La energía propulsora que se requiere para navegar por el Corte Gaillard dependerá del tamaño del buque. Si presumimos un buque pequeño con una energía propulsora de, digamos, 500 kW, y presumiendo también que navegar por el Corte toma una hora, la energía disponible para la mezcla sería de 180 MJ.

Esto demuestra que de ocurrir un flujo estratificado en el Corte, la capa inferior de agua se mezclará con la capa superior debido a las acciones de la hélice del buque. Como consecuencia, la sal será llevada de vuelta a la esclusa con el agua del vertido.

4.7 PRUEBAS Y VALIDACIÓN

El capítulo 6 del Informe A presenta las pruebas y la validación del modelo SWINGLOCKS. Esto se hizo determinando el coeficiente de intercambio de la salida de sal mediante los vertidos en las esclusas de Gatún y Miraflores, de modo que los resultados de la simulación por un período de un año registren la medición correcta de la variación de salinidad.



Comentarios: Dentro del modelaje matemático se distingue entre la calibración y la validación del modelo. Se utilizan los datos medidos de un período de tiempo en particular para calibrar y probar el modelo hasta tanto se logre un acuerdo entre las observaciones y los resultados del modelaje para un juego específico de parámetros del modelo. Mediante la simulación de otro juego de datos medidos sin cambiar los parámetros del modelo y verificando que la simulación y las observaciones permanezcan en acuerdo, entonces así se hace la validación del modelo.

Las mediciones de sal en las esclusas han sido diseñadas y aplicadas para determinar los coeficientes de intercambio. Esto implica que el modelo calcula las concentraciones de sal medidas que se dan en los coeficientes de intercambio. Siempre que la salinidad promedio del volumen en el lago Gatún sea menos de 0.1 ppt y no mayor de 0.2 ppt cerca del lago Gatún, se estima que el coeficiente de intercambio de sal mediante el vertido en Gatún es de 7.5.

Desde el punto de vista del modelaje, el modelo SWINLOCKS se calibra sintonizando los coeficientes de intercambio de la salida de sal sobre el vertedero del lago Gatún, para reproducir la variación anual dentro de una banda de 0.1 a 0.2 ppt. Los coeficientes de intercambio en las esclusas han sido determinados de las mediciones.

Una validación requiere de la reproducción de un juego independiente de mediciones de salinidad.

4.8 MEDICIONES

La Sección 3 del Informe A describe la recopilación de datos en el campo. Se emprendieron dos programas de recolección de datos, uno durante la estación lluviosa (semanas de la 48 a la 50 del 2001), y uno durante la estación seca (las semanas 15 y 16 del 2002). El programa de la estación seca se revisó basado en la experiencia de la primera campaña. Tal como se mencionó anteriormente, los objetivos de las mediciones eran comprender el proceso de la intromisión de agua salada y proporcionar datos sobre la salinidad, para así determinar los coeficientes de intercambio en el modelo de simulación. La planificación, la recopilación de datos y la coordinación con la calibración del modelo SWINLOCKS se encuentran bien documentadas.

Las mediciones de salinidad se hicieron con dos instrumentos CTD (sus siglas en inglés) (conductividad-temperatura-profundidad) que dan una respuesta rápida (véase la Sección 3.2.4 del Informe A). La precisión del instrumento que se aplicó para el perfilado de la salinidad es de 0.01 ppt con un límite inferior de 0.1 ppt. La precisión del instrumento que se aplicó en una posición fija es de 0.1 ppt con un límite inferior de 0.1 ppt.

Comentarios: La instrumentación CTD aplicada es la apropiada para los rangos normales de salinidad tal como existen desde la poscámara y hacia arriba hasta las esclusas. Sin embargo, el límite inferior de los instrumentos (0.1 ppt) es problemático en cuanto a las mediciones en las antecámaras de las esclusas de Pedro Miguel y Gatún, en el Corte Gaillard y en el lago Gatún. La medición de los valores muy bajos en la estación lluviosa se hubiera podido utilizar para revisar la segunda campaña en la estación seca.



Se reconoce que es algo difícil hacer las mediciones de salinidad en las antecámaras de las esclusas de Pedro Miguel y Gatún, en el Corte Gaillard y en el lago Gatún debido a que los valores muy bajos están por debajo del límite de los niveles de los instrumentos CTD. Los valores observados están muy por debajo del límite normal de agua fresca de 0.4-0.5 ppt. El valor psu (o ppt) del agua destilada se define como cero. El agua fresca con una salinidad de cero tiene un valor psu muy bajo debido a otras sales disueltas. Las mediciones de cero salinidad; por lo tanto, se hicieron todos los días antes de la recopilación de datos del campo colocando el instrumento en agua potable y midiendo el valor ppt correspondiente. Los valores de salinidad, los cuales se midieron en los lagos y las esclusas superiores, han sido corregidos con estos valores cero.

Comentarios: En vista de los valores muy bajos de salinidad, los instrumentos CTD se debieron ajustar a cero en el agua destilada. Se debió preparar un análisis químico de las muestras de agua de los lagos y determinar el contenido de cloro y de otras sales disueltas. Mediante los análisis químicos del agua de grifo se podría determinar si esta agua pudiese ser usada para definir el nivel del instrumento CTD.

La conductividad eléctrica del agua dulce (por ejemplo, el agua del subsuelo) por lo general se mide con conductímetros de campo equipados con un sensor adecuado de conductividad y temperatura diseñado para este propósito. La escala dependerá del sensor y del conductímetro seleccionados; pero en el caso de la mayoría de los conductímetros puede ser desde agua dulce hasta agua salobre o salina. Una conductividad menor se puede medir fácilmente con los conductímetros y sensores apropiados.

El conductímetro se puede usar con las constantes (factor de calibración) generadas del sensor que no sean las del fabricante. La constante generada del sensor es, por ejemplo, medida para una solución KCl estándar de 0.01 N, con una conductividad de 141.3 mS/M a 25°C y con el conductímetro calibrado contra el valor medido. Durante las mediciones de campo, el instrumento debe ajustarse con otra solución KCl estándar de una salinidad cercana a la salinidad de las muestras de agua que se van a medir.

La conductividad en el agua dulce o casi dulce es influenciada por otros iones de sal disueltos (Ca, Mg, S etc.), así como el cloruro. Por consiguiente, es importante preparar un análisis químico de agua de las muestras seleccionadas e identificar las sales responsables de la medida de la conductividad.

La variación en la salinidad en la vecindad de la antecámara, hacia las partes más hondas de, por ejemplo, el lago Gatún y en los vertederos es muy importante para obtener un buen entendimiento del balance de agua salada en el lago Gatún. Con este fin, se midieron los perfiles a lo largo del cauce de navegación principal, en la parte más profunda al este de las esclusas de Gatún y cerca del vertedero de Gatún.

Comentarios: En vista de la importancia de la variación de salinidad en las cercanías de la antecámara del lago Gatún y del vertedero, sírvase referirse a la discusión concerniente al coeficiente de intercambio en el vertedero de Gatún que se presentó en los párrafos anteriores. Para limitar las incertidumbres, hubiese sido importante adquirir mayor información sobre la salinidad en esta área.



4.9 TINAS DE REUTILIZACIÓN DE AGUA

La discusión que se da a continuación está basada en el Informe B sobre un sistema de esclusas de un solo nivel, pero también es válido para sistemas de esclusas de dos y tres niveles. En el modelo SWINLOCKS las tinas de reutilización de agua, se agrupan como un solo volumen de agua con una concentración promedio de sal en las tinas (véase, por ejemplo, la Sección 3.2 del Informe B).

La figura 4.9 y la Figura 4.10 a continuación muestran en principio cómo se llena y cómo se vacía un sistema de tinas de reutilización de agua que consiste de 6 tinas. Esta situación se evalúa a continuación.

Se nota que el balance de agua está formulado correctamente tanto para el llenado como para el vaciado de las esclusas.

4.9.1 Balance de sal con el vaciado de las tinas de reutilización de agua

Cuando las esclusas se llenan con agua proveniente de las tinas de reutilización de agua, toda la sal de dichas tinas es transportada a la esclusa. Esto dará como resultado un coeficiente de intercambio al vaciar las tinas de reutilización de agua igual a 1.00, como se describe, por ejemplo, en las Tablas 5.1 y 5.2 en el Informe B.

En el Informe B (en la parte inferior de la página 5.1) se presenta el caso de una prueba, en la que la salinidad es 10 ppt en la tina de reutilización de agua más baja, y aumenta a 20 ppt en la tina de reutilización de agua más alta. La variación de tiempo de la concentración promedio de sal en la esclusa se puede calcular manualmente confirmando los resultados que se muestran en las Figuras 5.1 y 5.2 en el Informe B.

La página 5.2 del Informe B lee: "... los resultados se tornan más uniformes al final del llenado (pero la concentración más alta se encuentra presente en el fondo)".

Comentarios: El análisis parece ser válido y la conclusión "...de esto concluimos que las seis tinas de reutilización de agua pueden ser remplazadas por una sola tina de reutilización de agua siempre que los coeficientes de intercambio sean bien seleccionados" copiada de la página 5.2 del Informe B es correcta.

4.9.2 Balance de sal con el llenado de las tinas de reutilización de agua

La cantidad de sal que entra en las esclusas depende del perfil de concentración de sal en la esclusa y en la ubicación de los desagües de las esclusas.

La cantidad de sal transportada de la esclusa a las tinas de reutilización de agua se indica (véase, por ejemplo, la página 4-16 en el Informe B).

$$e_{wsbfill} V_{save} C_{lock}$$



$e_{wsbfill}$ Coeficiente de intercambio

V_{save} Volumen de agua en las tinas de reutilización de agua

c_{lock} Concentración promedio de sal en la esclusa

Se aplicó un coeficiente de intercambio mayor que 1.00. Se toma el coeficiente igual a $e_{wsbfill} = 1.25$ (véase la Tabla 5.1 en el Informe B) para un esclusaje ascendente y $e_{wsbfill} = 1.10$ (véase la Tabla 5.2 en el Informe B) para un esclusaje descendente. La razón principal de esta diferencia es que en el esclusaje descendente hay un buque dentro de la esclusa, en tanto que en el esclusaje ascendente no hay buque dentro de la esclusa.

La esclusa se llena gradualmente con agua por el fondo de la esclusa a las tinas de reutilización de agua. Primero se llena la tina de reutilización de agua superior; véase el volumen amarillo en la Figura 4.10. La concentración de sal más alta se encontrará en la tina de reutilización de agua superior. En este caso, el coeficiente $e_{wsbfill}$ será mayor que 1.00 (lo que significa que la concentración promedio de sal en las tinas de reutilización de agua es más alto que la concentración promedio de sal en la esclusa).

El Informe B (en la parte superior de la página 5.3 lee: "... cuando computamos la cantidad de sal que se transfiere sucesivamente a las tinas de reutilización de agua superior, a las tinas intermedias y a las tinas inferiores, encontramos que estas cantidades se ajustan bastante bien con las cantidades de sal presentes en las respectivas capas de agua inferiores en la cámara". Esto corresponde a la situación que se presenta, en principio, en la Figura 4.10. Este hallazgo no es sustentado mediante cifras en el informe.

Comentarios: Esta parece ser una observación válida a medida que el agua sale de la esclusa mediante un gran número de orificios en el fondo de la esclusa.

(Véase la Figura 4.9 en la versión en inglés)

Figura 4.9 Principio de vaciado de la cámara (por el fondo) y llenado de las tinas de reutilización de agua y la poscámara de la esclusa.

(Véase la Figura 4.10 en la versión en inglés)

Figura 4.10 Principio de vaciado de la esclusa (por el fondo) de las tinas de reutilización de agua y antecámara de la esclusa.

4.9.3 *Evaluación de las tinas de reutilización de agua y los coeficientes de intercambio*

Para poder evaluar los efectos de las tinas de reutilización de agua sobre la intercambio de sal de la poscámara a la antecámara de la esclusa, se elaboró un modelo sencillo de intercambio de sal para una esclusa de un solo nivel.



El modelo se basa en las fórmulas tomadas de la página 4-4 a la página 4-20 del Informe B y de los coeficientes de intercambio enumerados en las Tablas 5.1 y 5.2 en el Informe B. Se hicieron las presunciones que se detallan a continuación.

1. La concentración de sal en la antecámara se estableció igual a cero.
2. El nivel de agua en la antecámara se estableció igual a 27 m.
3. La concentración de sal en la poscámara se estableció igual a 32 ppt.
4. El nivel de agua en la poscámara se estableció igual a 0 m.

Se consideraron dos volúmenes diferentes de buques:

- a) Un esclusaje ascendente con un volumen de buque igual a 285.000m^3 (buques Pospanamax clase VIII)
- b) Un esclusaje ascendente con un volumen de buque igual a 1.1% del volumen de agua en la esclusa al nivel bajo

Se estudiaron tanto el esclusaje ascendente como el esclusaje descendente. Los resultados se presentan en la Figuras a-d del Apéndice A. La parte superior de las figuras presenta la cantidad de sal transferida de la esclusa a la poscámara.

La parte media muestra el nivel de agua en la esclusa, y la parte inferior muestra las concentraciones de sal.

Los resultados principales se presentan en la Tabla 4.1

Tabla 4.2 Análisis de sensibilidad de los coeficientes de intercambio, esclusa de un solo nivel: la cantidad de sal (por buque) transferida a la poscámara de la esclusa. Esclusaje ascendente, volumen del buque de 320.000m^3



	Coefficientes de intercambio – Tabla 5.2 en el Informe B	+10%	Cambio
Llenado de las tinas de reutilización de agua	1.1	1.21	3%
Vaciado de la esclusa (tina) a la poscámara de la esclusa	1.1	1.21	-2%
Movimiento del buque en la antecámara de la esclusa	0.15	0.165	2%
Apertura de las compuertas de la poscámara de la esclusa	0.4	0.44	1%

Comentarios: Los resultados para un sistema de esclusas de un solo nivel son congruentes y no son sensibles al valor del coeficiente de intercambio.

4.9.4 Volumen de buque reducido

Si se reduce el volumen relativo del buque en un 10%, de 285.000m³ a 257.000m³, la cantidad de sal que se transfiere a la poscámara de la esclusa durante un esclusaje descendente se reducirá en aproximadamente un 10%.

Comentarios. Al comparar el resultado para un juego de esclusas de un solo nivel con las esclusas existentes, el sistema de esclusas de un solo nivel con tinas de reutilización de agua aumentaría el intercambio de sal en más de una década.

4.9.5 Número reducido de tinas de reutilización de agua

Si se reduce el número de tinas de reutilización de agua de 6 a 3, se reduce el intercambio de sal en un 12%. Debe notarse que si se reduce el número de tinas de reutilización de agua de 6 a 3, se incrementaría la cantidad de agua que se usaría en un esclusaje descendente en un 60% (de 0.25 a 0.4 veces el volumen de agua sin tinas de reutilización de agua).

Se observó que un sistema de un solo nivel resulta en aproximadamente un intercambio de sal en un orden de magnitud más alto que con el sistema de tres niveles.

Comentarios: El análisis de un sistema de esclusas de un solo nivel, dos y tres niveles y de la aplicación de las tinas de reutilización de agua es correcto.



4.10 COEFICIENTES DE INTERCAMBIO EN LAS ESCLUSAS POSPANAMAX

Para poder evaluar el impacto de las esclusas Pospanamax es muy importante que los coeficientes de intercambio aplicados en el modelo SWINLOCKS tomen en consideración las configuraciones de las nuevas esclusas. Un aspecto de esto es la aplicación de las tinas de reutilización de agua, según se discutió en párrafos anteriores.

En el Informe C (en la Tabla 5.1 esclusaje ascendente y en la Tabla 5.2 esclusaje descendente) se presentan los coeficientes de intercambio en la nueva vía (sistema de 3 niveles). Al comparar estos coeficientes de intercambio con los coeficientes de intercambio utilizados para las vías existentes (Tablas 6.5, 6.6, 6.7 y 6.8 del Informe A), se puede observar que los coeficientes de intercambio de la nueva vía para a) mover buques entre y b) igualar los niveles de agua son casi idénticos con la vía existente.

Se aplicaron simulaciones Delft3D para evaluar las condiciones en las esclusas Pospanamax. Al combinar los resultados de las simulaciones Delft3D con la experiencia en las esclusas existentes, se definieron los coeficientes de intercambio. Esto demuestra, Sección 5 del Informe C para un sistema de esclusas de tres niveles (que ocasiona la menor intromisión de sal), que los coeficientes de intercambio se establecieron iguales a los de las esclusas existentes. Como consecuencia, en comparación con las esclusas existentes, las esclusas Pospanamax causan un incremento en el intercambio de sal debido al tamaño más grande de los buques y el uso de las tinas de reutilización de agua, solamente.

El coeficiente de intercambio entre la antecámara de las esclusas de Gatún y el lago se establecen igual al valor de las vías existentes.

Comentarios: Tal como se discutió anteriormente, el intercambio de sal de una esclusa a la siguiente no es muy sensible al valor de los coeficientes de intercambio. Por lo tanto, la entrada de sal a través de las esclusas Pospanamax debe ser descrita adecuadamente.

El coeficiente de intercambio entre la antecámara de las esclusas y el lago también depende, tal como se discutió en la Sección 4.4, de la profundidad de las aguas locales y la geometría de la antecámara de las esclusas. Esto amerita mayor atención, en tanto la entrada neta de sal al lago es el resultado entre la entrada y la salida de sal.

4.10 ESQUEMAS DE MITIGACIÓN

El Informe F describe la investigación de los esquemas de mitigación. Los sistemas de mitigación que se detallan a continuación han sido considerados y evaluados:

1. Vaciado escalonado de todas las cámaras de las esclusas (esclusaje simulado)
2. Vaciado de las cámaras intermedias y superiores
3. Vaciado de las cámaras superiores e inferiores.
4. Vaciado mejorado de las cámaras superiores e inferiores de las esclusas
5. Vaciado intensivo de la cámara superior de las esclusas
6. Intercambio de agua salada con agua dulce en la cámara inferior de las esclusas
7. Drenaje de la lengua de sal a través de una cuneta en el fondo de la antecámara de las esclusas



8. Vaciado del agua salada a través de un pozo en la antecámara de las esclusas
9. Vaciado del agua salada a través de un pozo con piso perforado en la antecámara de las esclusas
10. Barreras neumáticas en la entrada de la esclusa inferior

En consulta con la ACP, se investigaron exhaustivamente los sistemas de mitigación 1, 2, 9 y 10. Una evaluación del coeficiente de intercambio muestra que no debe ser difícil determinarlas para los sistemas de mitigación 9 y 10. Para los sistemas de mitigación 1 y 2, se pueden aplicar los coeficientes de intercambio ya establecidos.

El sistema 9. Vaciado del agua salada a través de un pozo con piso perforado en la antecámara de las esclusas. Las simulaciones Delft3D se aplicaron en una sección vertical 2D para determinar el coeficiente de intercambio. La salinidad en la esclusa superior se establece igual a 2 ppt y la salinidad del lago se establece en cero. El trazado vertical y el movimiento del buque varían.

Comentarios: En la antecámara de la esclusa el flujo es altamente tridimensional debido a la divergencia y convergencia del flujo. El movimiento del buque empuja el agua lateralmente. La hidrodinámica en la antecámara de la esclusa no se puede describir en un modelo 2DV.

Un punto crítico para la eficiencia del pozo es el arrastre de sal hacia arriba en la columna de sal, por lo tanto, reduciendo el drenaje de sal. El arrastre de sal depende de la gradiente de densidad a través de la superficie de contacto. Entre más alta la gradiente de densidad, menor es la tasa de arrastre. La aplicación de un valor de 2 ppt en la esclusa superior puede suministrar valores muy optimistas para la eficiencia del pozo. Se debe tomar nota de que los valores de sal en la cámara superior son tan bajos como 0.2 ppt. La cantidad absoluta de sal que penetra en la antecámara de la esclusa pudiera ser menos en caso de una salinidad de 0.2 ppt en la esclusa. Sin embargo, la cantidad de agua requerida para drenarla a través del pozo puede aumentar debido a que será mezclada en un cuerpo de agua mayor.

El sistema 10. Barrera neumática a la entrada de la esclusa inferior. Se presume que la barrera neumática está “bien diseñada” e impide el intercambio de sal debido a las diferencias en la densidad. Sin embargo, el intercambio de sal ocasionado por el movimiento del volumen del buque no se ve afectado.

Comentarios: Tal como se indica en el Informe F, no se han aplicado barreras neumáticas para aguas tan profundas (17 – 20 m) como las de las poscámaras del Canal de Panamá, sino tan solo hasta 15 m. De seleccionarse este sistema de mitigación, se deberán realizar estudios adicionales para asegurar la funcionalidad, tal como se propone en el Informe F.

En total, se han analizado diez (10) esquemas de mitigación. Estos esquemas se basan en estudios exhaustivos de ingeniería de punta y deben considerarse completos.



Comentarios: El análisis de los esquemas de mitigación presentado en el Informe F debe ser considerado completo.

Con la excepción de lo que se analiza específicamente, se puede investigar si, de cerrarse las compuertas tan pronto sea posible luego del movimiento de un buque en un esclusaje descendente, esto ayudaría a minimizar la mezcla entre la poscámara de la esclusa y la primera esclusa. Esto también podría ser estudiado aún más en el caso de la antecámara de la esclusa superior. Entre menos tiempo permanecen abiertas las compuertas, habrá menos mezcla y menos intercambio de sal.

Las compuertas de emergencia instaladas en el extremo aguas arriba de las esclusas podrían servir como medida de mitigación de agua salada si durante un esclusaje descendente se cierran después de que el buque pase y entra a la cámara de la esclusa superior. En el caso de los buques Pospanamax, esto se puede lograr si las compuertas de emergencia se diseñan para abrir y cerrar cuando existe un flujo de agua y una carga de agua de presión diferencial.

En general, la aplicación de un pozo de sal es una medida de mitigación factible y atractiva. Para minimizar la intromisión de sal, se recomienda realizar un análisis hidrodinámico tridimensional del intercambio de agua en la antecámara y diseñar un pozo de sal.



5 ESTUDIOS ADICIONALES

Esta sección describe los estudios adicionales que deben realizarse para una mejor definición del problema de la intromisión de agua salada y las posibles soluciones.

5.1 *Análisis del intercambio de sal entre la esclusa superior y los lagos*

Objetivo

- Un mejor entendimiento del flujo e intercambio de sal en la vecindad de las esclusas como prerrequisito para las investigaciones adicionales.
- Determinar el intercambio neto de sal a corto plazo entre la cámara superior, la antecámara de la esclusa y el cuerpo de agua circundante.
- Identificar las gradientes de salinidad y sus variaciones en la vecindad de las esclusas.

Esto debe ser desarrollado tanto para la antecámara de las esclusas de Gatún como para las de Pedro Miguel.

Metodología

Establecer y calibrar un modelo hidrodinámico tridimensional en la antecámara de la esclusa y en el lago. El modelo tridimensional debe resolver el flujo en la esclusa superior, la antecámara, y describir la intromisión de sal de las esclusas superiores como también el flujo sobre el vertedero (del lago Gatún) de una parte importante del lago. El modelo debe incluir las mezclas debido a los vientos, el intercambio de calor y los movimientos de los buques. También debe incluir el movimiento de un buque dentro de la primera esclusa. El modelo debe ser aplicado tanto para la estación seca como para la estación lluviosa.

Resultados

Mapas y gradientes de salinidad computados en la vecindad de las esclusas. Movimientos de agua, tiempo de transporte y estancia de los cuerpos de agua. Los resultados se deben aplicar a fin de planificar un programa dedicado a la medición.

5.2 *Determinación de la concentración de sal en los lagos a largo plazo*

Objetivo

Determinar la concentración de sal en los lagos (escala de tiempo en años-décadas) a largo plazo.

Metodología

Combinar simulaciones de modelos tridimensionales y de la esclusa para determinar la concentración de sal en los lagos (escala de tiempo en años) a largo plazo, después de la construcción de las esclusas Pospanamax. Establecer un procedimiento para tal combinación no



es sencillo debido a que: la salinidad cerca de las esclusas varía con cada esclusaje descendente y ascendente, en tanto que lejos de las esclusas la variación es mucho más lenta con una escala de tiempo de meses a años. Para determinar la concentración de sal a largo plazo, se requiere que ambas escalas de tiempo se resuelvan en el modelo.

Se podría utilizar el siguiente enfoque: Primero, se aplicaría un modelo de esclusa para simular la entrada y salida de sal en las secuencias diarias de esclusajes ascendentes y descendentes, para una gama de concentraciones de sal en el lago. Segundo, se aplicaría un modelo tridimensional. Para la entrada de sal, se podría utilizar el valor de salinidad calculado por el modelo de esclusa como condición de contorno límite para el modelo tridimensional. Para la salida de sal, la salinidad se determina mediante los resultados del modelo tridimensional. Esta salinidad se entra al modelo de esclusa y se computa la siguiente secuencia de esclusaje y así sucesivamente.

Se anticipa que la cantidad de sal transportada hacia el lago es escasamente dependiente de la concentración de sal en el lago cerca de la esclusa; en tanto que se anticipa que la cantidad de sal transportada hacia fuera del lago sea más o menos proporcional a la cantidad de sal en el lago cerca de las esclusas. Estas presunciones necesitan ser verificadas.

Resultados

Entrada de sal a los lagos y distribución de la salinidad a largo plazo.

5.3 Mediciones de salinidad e intromisión de sal

Objetivo

Para sustentar la creación y validación de un modelo tridimensional de la antecámara de la esclusa (Secciones 5.1 y 5.2) y adquirir un mejor entendimiento del intercambio de sal a través de las esclusas de vuelta hacia la esclusa.

Metodología

Conducir una serie de mediciones de alta precisión de la salinidad que consiste en:

- Mediciones de la salinidad en el perfil transversal perpendiculares a la costa durante la estación seca y la estación lluviosa.
- Mediciones continuas de la salinidad en ubicaciones fijas seleccionadas, por ejemplo, en la esclusa superior, la antecámara de la esclusa y el exterior de la poscámara, el vertedero de Gatún y una ubicación a cierta distancia
- Para optimizar la información, el diseño y la ubicación de las mediciones deberán ser preparados sobre la base de los resultados del modelo tridimensional.
- Elaborar un experimento con trazador de rodamina (u otro) para medir in situ la dilución desde la esclusa hasta la antecámara y el lago. La rodamina se puede medir aún en



concentraciones muy bajas y es un trazador único para el seguimiento del cuerpo de agua a través de las esclusas hasta el lago.

Resultados

Mediciones de mapas y gradientes de salinidad en la vecindad de las esclusas para validar el modelo tridimensional. Dilución y seguimiento del cuerpo de agua tras la inyección de rodamina desde, por ejemplo, la poscámara hasta el lago (experimento de rodamina).

Notas

Los valores de salinidad son muy bajos, menos de 0.2 ppt. DHI recomienda que se aplique, por ejemplo, un instrumento SeaBird 19plus que pueda medir la salinidad en agua dulce con una precisión de 0.1 ppm (partes por millón). Las muestras de agua en baja salinidad deben ser químicamente analizadas y se debe establecer una correlación entre el cloruro y la conductividad.

Véase también:

http://www.seabird.com/products/spec_sheets/19plusdata.htm

Se recomienda un trazador de rodamina para agua (WT, por sus siglas en inglés). Este trazador inocuo es fluorescente y puede ser detectado con una precisión muy elevada por un sensor de turbidez. A diferencia de la rodamina B, no se adhiere a los sedimentos suspendidos. Debe tenerse especial cuidado de que la dilución de rodamina previa a la inyección tenga una densidad igual al cuerpo de agua que va a trazar.

Se puede obtener información adicional sobre el trazador de rodamina en:

http://smig.usgs.gov/SMIG/rhodamine_reader.html

http://www.sensient-tech.com/solutions/industrial_other.htm

<http://www.dves.com/>

5.4 Esquemas de mitigación

Objetivo

Optimizar el trazado o el trazado propuesto para las antecámaras de las esclusas Pospanamax, disposición de los pozos de sal y la ubicación de las tomas de entrada del agua vaciada. Evaluar la estrategia de desagüe dependiente de las estaciones y la aplicación de las tinajas de reutilización de agua.

Metodología



Aplicar el modelo hidrodinámico tridimensional establecido de la antecámara y el lago. Implementar los nuevos trazados y optimizarlos a fin de minimizar la intromisión de agua salada. Analizar los beneficios de una estrategia de desagüe dependiente de las estaciones.

Resultados

Optimizar el trazado y la estrategia de desagüe de las esclusas Pospanamax. La optimización será sobre la base de mapas y gradientes de salinidad computados en la vecindad de las esclusas con esclusas Pospanamax. También se debe evaluar la interacción entre las esclusas nuevas y las esclusas existentes.

5.5. Programa de monitoreo

5.5.1 Mediciones de salinidad a largo plazo

Objetivo

Establecer una línea base del sistema de observación de la salinidad. Desde la perspectiva de un ecosistema, se deben determinar las gradientes de salinidad y tiempo de estancia de los cuerpos de agua. Proporcionar la base para una evaluación funcional del impacto del análisis del ecosistema. Esta información puede ser aplicada para cumplir con los requisitos ambientales.

Metodología

Se recomienda un cambio en el espacio y tiempo de la salinidad en el sistema del Canal, a lo cual se le debe dar seguimiento mediante un programa de monitoreo que incluya mediciones transversales desde las esclusas hasta los flujos de entrada y el lago, al igual que en los tributarios (ríos y arroyos).

Se recomienda que el programa incluya mediciones de alta precisión y sensibles a la conductividad que describan la dinámica en las áreas a través de las diferentes estaciones del año. El programa puede incluir monitoreo automático. La sensibilidad de las mediciones tiene que ser menos de 0.1 ppt. Refiérase también a la Sección 5.3.

Se recomienda que estas mediciones se realicen de manera suplementaria a un programa de muestreo de agua con análisis de laboratorio del contenido de cloruro en el agua. Las muestras se pueden recolectar desde mediciones de cortes de las secciones transversales de las esclusas hasta las entradas de agua al lago, al igual que de las corrientes de entrada en los ríos y riachuelos.

Es importante medir la salinidad de la descarga de agua en los compartimientos de la antecámara de Gatún y Miraflores. Esto también proporcionará una verificación y validación independientes del modelo SWINLOCKS.

Resultados

Mediciones de salinidad a largo plazo para establecer la línea base del análisis de las condiciones y tendencias.



5.5.2 *Modelaje de hidrodinámica y salinidad para monitoreo*

Objetivo

Correr modelos hidrodinámicos del sistema del Canal que puedan simular el tiempo de estancia y renovación de los cuerpos de agua y transporte salino durante el período de seguimiento. Proporcionar información hidrodinámica para la interpretación de las mediciones.

Metodología

Establecer un modelo hidrodinámico. Un modelo 2D debe considerarse adecuado. Se deben establecer parámetros de intercambio de sal. Véase también la Sección 5.2. Eventualmente, este modelo puede tornarse operacional en condiciones de tiempo real en combinación con las mediciones para darle seguimiento al sistema del Canal y una recopilación de datos sistemática.

Resultados

Mapas continuos del cuerpo de agua y de la distribución salina durante el seguimiento.

5.5.3 *Evaluación de los efectos biológicos – Revisión de la literatura / Evaluación basada en el modelo*

Objetivo

Evaluar los criterios para la definición de agua dulce y definir un programa de monitoreo biológico.

Metodología

Se recomienda se realice una revisión de la literatura con miras a resumir las tolerancias conocidas de los organismos de agua dulce a la salinidad. El enfoque tiene que ser en una baja salinidad, por ejemplo, menos de 1 ppt y en los organismos pertinentes a las áreas en cuestión. Además, también se deben incluir los efectos sobre los procesos físicos y químicos (floculación, adsorción, desorción, etc.).

Resultados

Identificación de especies clave sensibles al monitoreo biológico. Sobre la base de la revisión de la literatura, el monitoreo de datos y, especialmente la distribución modelada de la salinidad a través de las diferentes estaciones del año, se puede hacer una evaluación del efecto esperado.

5.5.4 *Monitoreo biológico*

Objetivo

Monitorear la condición biológica con énfasis en la influencia del agua salada.



Metodología

Sobre la base de la revisión de la literatura antes mencionada, se seleccionan las especies clave, hasta donde sea posible, para un programa continuo de monitoreo. Se debe monitorear una abundancia de especies en su emplazamiento en la vecindad de las esclusas, al igual que en estaciones de referencia. Se recomienda un monitoreo de las especies clave suplementado con una caracterización biológica más amplia de la composición de especies bénticas y pelágicas y la abundancia.

Los datos recopilados del programa de monitoreo tienen que ser evaluados basados en la información de los programas de monitoreo de la salinidad y de los resultados de los modelos de distribución salina en el lago a través de las estaciones del año.

Se prevé que el programa de monitoreo biológico se tiene que llevar a cabo a lo largo de un período de tiempo de varios años para evaluar hasta qué punto los cambios son el resultado de las fluctuaciones naturales o de los cambios en la salinidad inducidos por la operación de las esclusas. Sin embargo, un programa de monitoreo bien diseñado, combinado con el modelaje adecuado, puede ser una herramienta poderosa en el intento de distinguir entre los cambios inducidos por la salinidad y los cambios inducidos por otras causas.

Otros factores ambientales también pueden jugar un papel en la variación biológica, mientras que otras variables ambientales y de calidad de agua pueden ser pertinentes para el monitoreo. Se requiere de más detalles y evaluaciones adicionales para decidir sobre esto.

Resultados

Línea base de la condición biológica y base científica para la evaluación de posibles cambios debido al cambio en las condiciones y distribución de la salinidad. Las actividades antes mencionadas deben ser coordinadas con estas actividades.



6 *REFERENCIAS*

- Referencia 1 Kerstma J., Kolkman P.A., Regeling H. J. & Venis, W.A. Water Quality Control at Ship Locks. Prevention of Salt- and Fresh Water Exchange. (Control de la Calidad de Agua en las Esclusas para Buques. Prevención del intercambio entre agua dulce y agua salada). 1994 A. A. Balkema Rotterdam, Países Bajos.
- Referencia 2 Carsten Jurgensen. Entrainment Induced by Piers, Dams, and Ships in a Stratified Channel Flow. (Arrastre inducido por los muelles, las represas y los buques hacia un flujo estratificado en un canal). Tesis de doctorado. Universidad Técnica de Dinamarca, Lyngby, 1989.



APÉNDICE A

Análisis de una esclusa de un solo nivel, resultados de modelaje suplementarios



21 Esclusajes Ascendentes Relación-Buque-Volumen = 0.001 Flujo de sal hacia la antecámara

(Véase figura A-1 en la versión en inglés)

Concentración de sal en la esclusa N

(Véase figura A-1 en la versión en inglés)

Concentración de sal en la esclusa

(Véase figura A-1 en la versión en inglés)

Figura A -1 Esclusaje Ascendente. Esclusa de un solo nivel con 6 tinas de reutilización de agua, volumen del buque es igual a 4,000m³



22 Esclusajes Ascendentes Relación-Buque-Volumen = 0.8 Flujo de sal hacia la antecámara

(Véase figura A-2 en la versión en inglés)

Concentración de sal en la esclusa N

(Véase figura A-2 en la versión en inglés)

Concentración de sal en la esclusa

(Véase figura A-2 en la versión en inglés)

Figura A-2 Esclusaje Ascendente. Esclusa de un solo nivel con 6 tinas de reutilización de agua, volumen del buque es igual a 320,000m³

31 Esclusaje Descendente Relación-Buque-Volumen = 0.001 Flujo de sal hacia la antecámara

(Véase figura A-3 en la versión en inglés)

Concentración de sal en la esclusa N

(Véase figura A-3 en la versión en inglés)

Concentración de sal en la esclusa

(Véase figura A-3 en la versión en inglés)

Figura – A-3 Esclusaje Descendente. Esclusa de un solo nivel con 6 tinas de reutilización de agua, volumen del buque es igual a 400m³



32 Esclusaje Descendente Relación-Buque-Volumen = 0.8 Flujo de sal hacia la antecámara

(Véase figura A-4 en la versión en inglés)

Concentración de sal en la esclusa N

(Véase figura A-4 en la versión en inglés)

Concentración de sal en la esclusa

(Véase figura A-4 en la versión en inglés)

Figura – A-4 Esclusaje Descendente. Esclusa de un solo nivel con 6 tinas de reutilización de agua, volumen del buque es igual a 320,000m³



APÉNDICE B

Breve descripción del sistema del Canal de Panamá y los procesos hidráulicos



Breve descripción del sistema del Canal

La Figura C-1 representa el perfil longitudinal del Canal de Panamá. Las esclusas dobles de tres niveles conocidas como las esclusas de Gatún en la entrada del Atlántico mueven al buque hacia el lago Gatún. A través del Corte Gaillard, el cauce se dirige hacia las esclusas de Pedro Miguel, un juego doble de esclusas de un solo nivel y al lago Miraflores. De aquí, las esclusas dobles de dos niveles de Miraflores se conectan a la entrada del Pacífico.

(Véase Figura C.1 en la versión en inglés)

Figura C.1 Perfil longitudinal del sistema del Canal de Panamá (por cortesía de la ACP)

Las esclusas de Gatún elevan a los buques hasta 26 m, al nivel del lago Gatún, que tiene un nivel medio de agua de +25.9 m por encima del nivel de referencia preciso (PLD, por sus siglas en inglés). El nivel de agua en el lago Gatún varía con las estaciones y la variación máxima es de 2.8 m. La represa de Gatún mantiene y controla el nivel del agua en el lago y en el Corte Gaillard. El nivel del agua en el lago Miraflores es de aproximadamente +16.6m PLD y es controlado por el vertedero de Miraflores. Por lo tanto, las esclusas de Pedro Miguel elevan a los buques hasta 9.3 m y las esclusas de Miraflores hasta 16.6 m.

La Tabla C.1 a continuación ofrece un resumen de las esclusas. Refiérase al Informe A.

Esclusas	Lado Pacífico				
	Dimensiones nominales de las esclusas		Nivel medio nominal del agua		
	(metros)		(metros a PLD)		
	Largo	Ancho	Alto	Bajo	Elevación
Lago Gatún			+25.91		
Esclusa C	332.1	33.5	+25.91	+16.46	9.45
Lago Miraflores			+16.46		
Esclusa B	332.1	33.5	+16.46	+7.92	8.53
Esclusa A	329.2	33.5	+7.92	+0.30	7.62
Océano Pacífico				+0.30	

Esclusas	Lado Atlántico				
	Dimensiones nominales de las esclusas		Nivel medio nominal del agua		
	(metros)		(metros a PLD)		
	Largo	Ancho	Alto	Bajo	Elevación
Lago Gatún			+25.91		
Esclusa F	329.2	33.5	+25.91	+17.38	8.53
Esclusa E	329.2	33.5	+17.38	+8.54	8.84
Esclusa D	332.1	33.5	+8.54	+0.06	8.48
Océano Atlántico				+0.06	



Las esclusas operan 24 horas al día e inician con esclusajes ascendentes en las mañanas, a los cuales les siguen los esclusajes descendentes al medio día. Más tarde, durante la noche, el rumbo de navegación cambia nuevamente de esclusaje descendente a esclusaje ascendente.

El llenado de la esclusa se hace por gravedad. La esclusa se llena con agua proveniente del lago (lago Gatún – Corte Gaillard – lago Miraflores) que entra en la esclusa inferior durante la operación de esclusaje. Por consiguiente, los largos, anchos y elevaciones nominales de las esclusas determinan la cantidad de agua que se vierte durante la operación de esclusaje. El llenado se hace a través del fondo y de los muros de las esclusas.

La Figura C.2 a continuación ilustra la operación de las esclusas

(Véase la Figura C.2 en la versión en inglés)

Figura C.2 Ilustración de las operaciones de esclusaje ascendente (izquierda) y esclusaje descendente (derecha) de las esclusas de Gatún, tomado de la referencia, Informe A

Procesos hidráulicos en las esclusas

En el Informe A se identificaron los siguientes procesos y parámetros hidráulicos que afectan la intromisión de agua salada, véase las Tablas C.2 y C.3. Se hizo una distinción entre el esclusaje ascendente y el esclusaje descendente.



Esclusaje ascendente			
Nivel del agua en la cámara de la esclusa	Compuertas	Procesos hidráulicos	Parámetros importantes
Bajo	Abiertas aguas arriba	Intercambio de flujo en la esclusa. En las esclusas medias y superiores, la intromisión de la corriente de densidad es mitigada por el escalón en el piso de la esclusa. El buque entra y empuja el cuerpo de agua frente al buque hacia delante, lo que forma un flujo de retorno a lo largo y por debajo del buque.	Diferencia de densidad, dilución del cuerpo de agua en la poscámara, tamaño del buque, tiempo de apertura, acción de la hélice del buque
Nivelación ascendente	Cerradas	La cámara se llena a través de las aberturas en el piso con menos agua salada proveniente de aguas arriba o del lago. Los chorros causan una fuerte mezcla vertical. El agua de llenado se toma del fondo de la esclusa superior o del lago, lo que causa un reciclaje del agua salada.	La variación del nivel del agua en la poscámara determina la cantidad de agua del vertido.
Alto	Abiertas aguas arriba	Intercambio de flujo en la esclusa. En cuanto a un nivel bajo de agua, el escalón en el piso mitiga el intercambio de densidad en la esclusa media y la esclusa superior. La salida del buque empuja el cuerpo de agua frente a la proa, lo que crea un flujo de retorno a lo largo de los lados y por debajo del buque. La acción de la hélice crea una fuerte mezcla detrás del buque.	Diferencia de densidad, dilución del cuerpo de agua en la poscámara, tamaño del buque, tiempo de apertura, acción de la hélice del buque
Nivelación descendente	Cerradas	Es posible que existan gradientes verticales de salinidad ocasionadas por las olas internas. La remoción de agua hacia la esclusa inferior se hace a través del fondo y se desagua hacia la esclusa inferior o poscámara.	El agua del desagüe es más salina que la del cuerpo de agua promedio.



Esclusaje descendente			
Nivel del agua en la cámara de la esclusa	Compuertas	Procesos hidráulicos	Parámetros importantes
Alto	Abiertas aguas arriba	Intercambio de flujo en la esclusa. En las esclusas medias y superiores, la intromisión de la corriente de densidad es mitigada por el escalón en el piso de la esclusa. El buque entra y empuja el cuerpo de agua frente al buque hacia delante, lo que forma un flujo de retorno de más agua salina a lo largo y por debajo del buque hacia la antecámara o esclusa aguas arriba.	Diferencia de densidad, dilución del cuerpo de agua en la poscámara, tamaño del buque, tiempo de apertura, acción de la hélice del buque. Los efectos de la salinidad son menores en la mayoría de de las esclusas superiores de Gatún y Pedro Miguel.
Nivelación descendente	Cerradas	La cámara se llena a través de las aberturas en el piso con menos agua salada proveniente de aguas arriba o del lago. Los chorros causan una fuerte mezcla vertical, pero esto es influenciado por la presencia del buque. El agua de llenado se toma del fondo de la esclusa superior o del lago, lo que causa un reciclaje del agua salada. Durante la marea alta hay un menor vertido de agua, por lo tanto, también hay menos desagüe de agua salada.	Variación de la marea en la poscámara.
Bajo	Abiertas aguas arriba	Intercambio de flujo en la esclusa. En cuanto a un nivel alto del agua, el escalón en el piso mitiga el intercambio de densidad en la esclusa media y la esclusa superior. La salida del buque empuja el cuerpo de agua frente a la proa, lo que crea un flujo de retorno a lo largo de los lados y por debajo del buque, por lo que más agua salada entra a la cámara. La acción de la hélice crea una fuerte mezcla detrás del buque.	Diferencia de densidad, dilución del cuerpo de agua en la antecámara, tamaño del buque, tiempo de apertura, acción de la hélice del buque
Nivelación ascendente	Cerradas	Es posible que existan gradientes verticales de salinidad ocasionadas por las olas internas. La cámara se llena con agua proveniente de la esclusa superior o de la antecámara de la esclusa. La salinidad es menor y, debido a los chorros, al final del proceso de llenado se tiene un cuerpo de agua casi homogéneo.	



Según el Informe A, existen varias diferencias entre un esclusaje ascendente y un esclusaje descendente. Durante un esclusaje ascendente, el movimiento hacia arriba del volumen del buque mueve hacia abajo el equivalente de un cuerpo de agua menos salina. La intromisión de sal durante el esclusaje ascendente es, por lo tanto, causada principalmente por el flujo de intercambio en la esclusa. La situación es a la inversa durante un esclusaje descendente. El movimiento del volumen del buque impulsa hacia arriba un cuerpo de agua más salina. Esto ocasiona una intromisión de sal que trabaja conjuntamente con la intromisión de sal ocasionada por las diferencias de densidad (intercambio en las esclusas).

***Comentarios:** La intromisión de sal es más pronunciada durante un esclusaje descendente y mucho menor durante un esclusaje ascendente. El movimiento del volumen del buque es más importante que los efectos clásicos del intercambio de densidades en las esclusas. El análisis de los procesos hidráulicos se hizo sobre la base de mediciones completas, bien documentadas y científicamente correctas.*



PLAN DE CALIDAD DEL PROYECTO DE DHI

Análisis de la posible intromisión de agua salada y estudios y modelos de mitigación para las esclusas Pospanamax propuestas

Plan de calidad del proyecto

Cliente Autoridad del Canal de Panamá		Representante del cliente Señor Johnny Wong			
Proyecto Análisis de la intromisión de agua salada y estudios y modelos de mitigación para las esclusas Pospanamax propuestas		Número de proyecto 53445			
Autores H. Jacob Vested		Fecha 7 de julio de 2005			
		Aprobado por Señor Jens Kirkegaard Director de proyecto			
A	Plan final de calidad del proyecto	HJV	EAH	JKJ	070605
Análisis	Descripción	Por	Verificado	Aprobado	Fecha
Palabras clave Canal de Panamá, intromisión de agua salada, análisis, modelos numéricos		Clasificación <input type="checkbox"/> Abierto <input type="checkbox"/> Interno <input checked="" type="checkbox"/> Propiedad			
Distribución Autoridad del Canal de Panamá. DHI:			Johnny Wong HJV, EAH, OSP, ISH, JAO		Número de copias 1 digital 1 digital



Las responsabilidades del cuerpo administrativo se describen a continuación.

El supervisor del proyecto / Gerente de garantía de calidad

- Desempeñarse como asesor del gerente de proyecto
- Aprobar el informe final del proyecto
- Aprobar el inicio del proyecto y aprobar el cierre del proyecto

El ingeniero de calidad

- Asistir en la preparación del plan de calidad del proyecto
- Realizar auditorías internas para garantizar el cumplimiento con el sistema de calidad

El gerente de proyecto

- Es responsable de la ejecución técnica y financiera del proyecto, así como de su planificación y calidad
- Es responsable de todos los acuerdos con el cliente y los subcontratistas
- Sirve como oficial de enlace con los jefes de departamento involucrados en lo concerniente a la asignación del equipo de trabajo para ejecutar la obra
- Es responsable del cumplimiento con el Manual de Administración de Proyecto de DHI
- Aprueba los informes intermedios del proyecto

El subgerente de proyecto

- Es responsable de llevar a cabo las funciones del gerente de proyecto en caso de la ausencia del mismo

El experto/ingeniero del proyecto

- Es responsable de revisar la descripción del trabajo asignado por el gerente de proyecto
- Es responsable de la ejecución oportuna y adecuada del trabajo asignado – de acuerdo a los requerimientos del plan de calidad
- Puede obtener asistencia del personal de su propio departamento para desempeñar el trabajo asignado dentro del presupuesto acordado



3 PLAN DE CALIDAD Y SISTEMA DE CALIDAD

El presente plan de calidad describe la organización y los procedimientos de trabajo establecidos por DHI con el propósito de asegurar la calidad del trabajo desempeñado por el equipo de proyecto de DHI con relación a este proyecto encargado por el cliente.

El plan de calidad se basa en los procedimientos elaborados por DHI para optimizar el desempeño del proyecto, y se usarán un número de procedimientos establecidos en el sistema de calidad de DHI como suplementarios a los procedimientos descritos en este plan de calidad y las especificaciones del contrato.

En caso de cualquier discrepancia, el orden de prevalencia será:

1. El contrato y cualesquiera acuerdos subsiguientes
2. El presente plan de calidad
3. El sistema de calidad de DHI

La administración del proyecto se ceñirá al sistema de calidad de DHI, en lo que el manual de calidad de DHI describe la organización en general, y los procedimientos para la ejecución de proyectos se describen en el manual de administración de proyectos de DHI.

Los procedimientos para la ejecución del presente trabajo de análisis se ceñirán a la descripción de las funciones, según la definición descrita en los términos de referencia del contrato número SAA-135036, fechado 13 de abril de 2005.



4 CONTROL DEL DOCUMENTO Y DE LA INFORMACIÓN

4.1 Comunicación durante el proyecto

En el proyecto se hará uso del correo electrónico para la comunicación general y específica, al igual que para la intercambio de información. Este medio debe considerarse suplementario al medio de comunicación más tradicional, como lo son el correo y el facsímile.

Para la comunicación durante el proyecto se aplicarán los procedimientos que se detallan a continuación:

Toda la correspondencia contractual obligatoria se hará por escrito, será firmada y enviada por facsímile o carta. Los documentos enviados por correo electrónico serán considerados aceptables, siempre y cuando se envíen como adjuntos y posteriormente se envíen las copias impresas. Los acuerdos serán válidos únicamente tras la confirmación firmada por ambas partes.

Todos los acuerdos hechos con el cliente o con los subcontratistas deben ser documentados, enviados a los participantes y archivados según la manera usual.

Toda la comunicación verbal que se haga internamente durante el proyecto pertinente a la obra, deberá ser documentada por escrito.

El gerente de proyecto retiene los archivos actualizados de las comunicaciones durante el proyecto y de toda la documentación del proyecto.

Toda la documentación y todos los documentos pertinentes a la administración del proyecto reposarán en el archivo del proyecto, según el manual de administración de proyectos de DHI.

Su distribución y acciones en torno al proyecto entre el equipo de trabajo serán controladas por el gerente del proyecto y los expertos del proyecto. Además, se llevará un listado de la distribución y se llevará un registro de las instrucciones adicionales junto con – o directamente sobre – cada documento relativo al proyecto.

Toda la comunicación electrónica será archivada en una carpeta de MS Exchange/Outlook en la red de DHI.

4.2 Control de la documentación y cambios en la información

En cuanto al control de los documentos, se utilizarán los procedimientos que se detallan a continuación:

Registro de los documentos

El gerente del proyecto mantendrá un registro de todos los documentos. Dicho registro deberá incluir un listado actualizado de todos los documentos controlados del proyecto y su estatus (conclusión, aprobación y última revisión).



Identificación

El sistema de Control de la documentación se basará en la siguiente identificación básica de todos los documentos relativos al proyecto.

- El número del proyecto
- El título del proyecto
- El número del documento
- El título del documento
- El número de la revisión
- La fecha
- La firma (del autor del documento, del revisor y del aprobador)

Toda la documentación en borrador de relevancia para la revisión del proyecto incluirá en la primera página la identificación que se detalla a continuación.

- El número del proyecto
- El tema
- La fecha
- Las iniciales

Divulgación externa

El gerente del proyecto – o en su ausencia, el supervisor del proyecto – deberá aprobar todo aquel material que vaya a ser divulgado fuera del grupo que conforma el equipo del proyecto de DHI. Esta aprobación se ceñirá a la revisión y aprobación que haya sido esbozada para la actividad en cuestión.

Control de la documentación y cambios en la información

Cada vez que se haga una actualización, se llevará un control de toda la documentación y cambios a la información mediante la emisión de una nueva revisión del documento, conjunto de datos o programa.

Toda revisión será preservada y debidamente archivada en el sistema de archivos del proyecto.

Se requiere que todas aquellas personas que reciban una revisión determinen las posibles consecuencias del cambio y actualicen el trabajo anterior como corresponde.

Preservación del material original

Todo material e información original deberá ser preservado y archivado. Subsiguiente a la conclusión del proyecto, dicho material se archivará en los archivos centrales de DHI, de conformidad con los procedimientos estándar de archivo.



El material reposará en los archivos por un mínimo de diez años.

Confidencialidad

Ningún material proporcionado por la ACP que no sea del dominio público, ni ninguno de los informes preparados por DHI según lo establecido en este contrato, serán divulgados a terceras personas sin la autorización previa de la ACP.

5 TAREAS Y PROCEDIMIENTOS QUE SE APLICARÁN

Previo a la visita al sitio y a la reunión de inicio del proyecto con la ACP, los miembros del equipo del proyecto deberán leer y familiarizarse con los informes preparados por Delft Hydraulics (denominados Informes A, B, C, D y F).

Primera revisión

Los informes se revisan a fin de obtener una primera impresión del trabajo. Se hace un enfoque en los aspectos que aquí se detallan:

- La intromisión de agua salada en las esclusas, se aplica el modelo SWINLOCKS para simular la intromisión de agua salada, es decir, sus ecuaciones y presunciones básicas, estructura, metodología, lógica del programa y los parámetros cuantitativos.
- Los factores críticos formulados como coeficientes de intercambio a fin de establecer los parámetros del flujo de dos capas, el movimiento del buque, etc. que afectan la intromisión salina y obtener unos resultados de calibración del modelo de alta precisión.
- Sistemas de mitigación propuestos y metodología y presunciones básicas.
- Simulación de esquemas de mitigación.

Visita al sitio y reunión de inicio del proyecto en Panamá

El gerente del proyecto y un miembro del proyecto participaron en un viaje de familiarización de dos días preparado por la ACP, durante el cual sostuvieron una reunión de inicio del proyecto con la ACP.

Durante la reunión de inicio del proyecto, los representantes de DHI presentaron su primera interpretación del estudio. Como parte de esta interpretación del estudio, DHI se instruye sobre las expectativas de la ACP en cuanto a los estudios preparados por Delft Hydraulics.

La metodología de revisión se discutió ampliamente y le fue explicada a la ACP durante la reunión de inicio del proyecto.

Segunda revisión



Sobre la base de la metodología de revisión acordada, DHI estudia los informes, lo que incluye:

- Una evaluación del enfoque (o enfoques) aplicado(s) al modelo para la simulación de la intromisión de agua salada en cuanto a un análisis de la duración y escalas del tiempo de los procesos de intromisión de agua salada en las esclusas.
- Datos recopilados de las mediciones en el campo y su validez para el modelaje, calibración, incluyendo la historia de a) apertura de las compuertas / velocidad de llenado, b) buque (tamaño, velocidad, etc.), c) flujo pluvial y escorrentía superficial, d) evaporación, e) batimetría precisa del lago (cerca de las esclusas), series de tiempo de los niveles de agua, corrientes, salinidad y temperatura.
- Corridas de calibración, parámetros de calibración y datos utilizados en la calibración. Pruebas independientes de calibración y evaluación de la capacidad de predicción.
- Evaluación de la resolución versus las restricciones computacionales (tiempo computacional) y el fenómeno físico, el efecto de la navegación / movimiento de un buque sobre la mezcla y el flujo a través de las esclusas, las hélices de los buques y el establecimiento de parámetros del fenómeno hidrodinámico sin resolver.
- Implementación (establecimiento de parámetros) de los esquemas de mitigación en los modelos de la intromisión de agua salada, lo que incluye las tinajas de reutilización de agua y los flujos internos.
- Evaluación de la precisión del modelo.

Para este análisis, DHI debe tener acceso a los manuales científicos de carácter público que describen el software aplicado y los cuales han sido puestos a disposición de la ACP como parte del estudio.

DHI reconoce que no toda la información concerniente a la aplicación y uso funcional del modelo se puede contener en documentación por escrito. Sobre la base del análisis, DHI ha elaborado una lista por escrito de preguntas y solicitud de clarificaciones. Esta lista se ha presentado a Delft Hydraulics (al igual que a la ACP). Se estableció contacto con el gerente de proyecto de Delft para deliberar sobre los resultados, enfoques de modelo, factores críticos y esquemas de mitigación.

Evaluación de la consistencia y conclusiones

Sobre la base del primer y segundo análisis, DHI prepara sus comentarios sobre las conclusiones, recomendaciones de los informes y la consistencia de los resultados en cuanto a otros estudios similares.

DHI aplica independientemente métodos analíticos y modelos simples de mezcla similares a los del modelo SWINLOCKS para evaluar el orden de la magnitud, congruencia y expectativas de los resultados. Se mantiene abierta la opción de hacer una comparación con los resultados de esquematizaciones simplificadas mediante la aplicación de modelos numéricos de DHI, cuando sea pertinente.



Modificaciones y mejoras

DHI evalúa la necesidad de hacer modificaciones y mejoras a tanto el modelo y a los sistemas de mitigación. Hasta el punto que sea necesario, DHI recomienda las modificaciones y mejoras apropiadas para los modelos y sistemas de mitigación, a fin de incrementar la precisión y congruencia de los resultados.

DHI evalúa si estas modificaciones recomendadas justifican corridas adicionales de modelos y, de ser así, las describe.

Sobre la base de una comprensión cabal del trabajo realizado, se delibera sobre la necesidad de llevar a cabo estudios y modelos adicionales para llegar a una mejor definición del problema de la intromisión de agua salada y las posibles soluciones. Estas incluyen:

- Definir y cuantificar las variables críticas y la interacción entre las mismas.
- Proponer las metodologías y herramientas que pueden ser utilizadas en los estudios adicionales.
- Elaborar una lista de los posibles proveedores para llevar a cabo estos estudios.
- Elaborar una lista de las fuentes de información de utilidad para las investigaciones adicionales.
- Estimar el tiempo, el costo y los recursos requeridos.

La documentación para el proyecto deberá ser desarrollada de modo que describa el alcance, los métodos y los resultados del estudio, de conformidad con el Alcance de los Servicios, en particular:

Se elaborará un informe en borrador que incluya: un resumen ejecutivo, una descripción detallada de la metodología, información justificativa, hallazgos, resultados, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y fuentes de información utilizados.

Los resultados y las conclusiones serán justificados, en la medida de lo posible, de forma cuantitativa y cualitativa al igual que metodológicamente. Como parte del informe en borrador se incluirán los procesos analíticos, los cálculos, los análisis relacionados y todas las expresiones matemáticas desarrollados, junto con la documentación técnica.

Todos estos documentos serán controlados de conformidad con la sección 4 del presente Plan de Calidad del Proyecto.



6 *MANEJO DE INCIDENTES*

Como incidente se entiende cualquier problema que se reporte en el proyecto, y el cual pudiera afectar el proyecto.

Para mantener un control de los incidentes, el equipo del proyecto mantendrá archivos, informes del estatus de seguimiento y la respuesta real a los incidentes.

Todos los incidentes deberán ser reportados al Gerente del Proyecto.

El Ingeniero del Proyecto deberá informar al Gerente del Proyecto sobre cualquier incidente y las medidas que se proponen. En el evento de que el incidente represente un riesgo, el Ingeniero del Proyecto deberá evaluar y proponer las medidas preventivas para prevenir el potencial de riesgos similares.

Dichas medidas se implementarán, luego de ser acordadas con el Gerente de Proyecto y el Ingeniero de Calidad.

En todos los casos, el Gerente de Proyecto deberá evaluar si la naturaleza del incidente amerita que se le notifique al Supervisor del Proyecto y al Gerente de Calidad de DHI.

En el caso en que el riesgo haya sido reportado por el Cliente o en caso de que el material haya sido remitido al Cliente antes de descubrir el riesgo, se acordarán las medidas correctivas con el Supervisor del Proyecto antes de remitir la información al Cliente.



7 *AUDITORÍAS DE CALIDAD*

A intervalos apropiados durante la ejecución del proyecto, el Ingeniero de Calidad llevará a cabo auditorías internas de los equipos del proyecto de DHI.

Estas auditorías proporcionarán pruebas de si el sistema de calidad es el apropiado y si se adhiere al proyecto.

Los hallazgos que resulten de estas auditorías serán reportados por escrito a la unidad que haya sido auditada y al Gerente de Proyecto, y toda la documentación relativa a estos hallazgos y cualesquiera medidas correctivas que se hayan acordado posteriormente serán aprobados por el Ingeniero de Calidad.



8 *ENTRA DE RESULTADOS*

DHI presentará a la ACP un (1) original y cinco (5) copias impresas y dos juegos de archivos digitales en CD-ROM de los informes y resultados de la presentación. La versión digital de los informes será en formato MS Word 2000 y toda otra información será en Excel, Access, PowerPoint o cualquier otro formato compatible con MS. El informe será impreso en papel de hilo formato A4, y se presentará de forma organizada en carpetas plásticas fuertes y rígidas de cuatro aros, etiquetadas a modo de identificar los estudios, con separadores con orejas en todas las secciones y anexos del informe. Los informes serán reproducibles tanto en copias a colores y en blanco y negro. Todos los discos de computadora estarán debidamente etiquetados e identificados.