



## Proyecto del Tercer Juego de Esclusas

Traducción

**Nombre del estudio en inglés:** Conceptual design study of locks water saving basins for proposed Post-Panamax locks at the Panama Canal

**Nombre del estudio en español:** Diseño conceptual de tinas de ahorro de agua para las esclusas Pospanamax propuestas en el Canal de Panamá

**Fecha del informe final:** 2002

**Fecha de la traducción:** 17 de mayo de 2006

**Nombre del consultor:** Montgomery Watson Harza

### RESUMEN EJECUTIVO

La Autoridad del Canal de Panamá (ACP) está realizando un estudio del Canal de Panamá para evaluar la factibilidad de construir instalaciones y obras que aumenten la capacidad del Canal y la capacidad de tránsito de buques. Las esclusas propuestas (~61m x 457m x 18.3m ó 200' x 1500' x 60') serán significativamente más grandes que las esclusas actuales (33.5m x 305m x 13m ó 110' x 1000' x 43'). Por lo tanto, las nuevas esclusas más grandes aumentarán drásticamente las demandas de agua del lago Gatún. Las actuales instalaciones de la esclusa además del consumo de agua municipal, generación hidroeléctrica, derrames ocasionales y la evaporación, han producido cambios en el nivel del agua de hasta 2.5m (9') en el lago Gatún. Por lo tanto, se justificó un estudio conceptual para el diseño de sistemas de tinas de reutilización de agua en las nuevas esclusas para determinar la factibilidad de diferentes opciones de sistemas de tinas de reutilización de agua y las ganancias en el ahorro de agua que se pudieran obtener. Las opciones del estudio para el proyecto fueron:

- OPCIÓN 1 – Estructura de esclusa de tres niveles – con dos tinas de reutilización de agua lado a lado en un costado de la esclusa - 50% de ahorro de agua,
- OPCIÓN 2 – Estructura de esclusa de dos niveles – con tres tinas de reutilización de agua lado a lado a un costado de la esclusa – 60% de ahorro de agua,
- OPCIÓN 3 – Estructura de esclusa de tres niveles – con tres tinas de reutilización de agua lado a lado a ambos costados de la esclusa – 60% de ahorro de agua y
- OPCIÓN 4 – Estructura de esclusa de dos niveles – con dos tinas de reutilización de agua apiladas en un costado de la esclusa – 50% de ahorro de agua (también se estudió un arreglo de tinas lado a lado).



Como parte del estudio, se realizó una recopilación exhaustiva de datos junto con la formulación de criterios de diseño detallados. Estos criterios y los procedimientos de diseño se aplicaron para determinar las configuraciones y tamaños relacionados de las tinas y conductos. Estas obras se diseñaron de manera conceptual, tomando en cuenta todos los aspectos hidráulicos, estructurales y geotécnicos. También se realizaron desgloses detallados de los costos probables de las opciones.

Se creó un modelo interno de hoja de cálculo para realizar los análisis hidráulicos. Este modelo se revisó comparándolo con el modelo LOCKSIM del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE, por sus siglas en inglés) y se calibró con las esclusas existentes con resultados satisfactorios. Se realizó un diseño preliminar de las alcantarillas de llenado y vaciado (LI/V) de la esclusa para determinar estimaciones razonables de pérdidas del gradiente hidráulico en la interfaz de los dos sistemas y, más importante, para determinar el umbral superior del tamaño del conducto de las tinas de reutilización de agua (es decir, el conducto de las tinas no debe ser mayor que la alcantarilla de LI/V de la esclusa).

Se realizaron cientos de corridas de modelos individuales para crear curvas paramétricas que proporcionaron la oportunidad de investigar escenarios de probabilidad con un rango de tamaños y configuraciones de alcantarillas. Estas curvas también se trazaron de acuerdo con dos de los criterios de diseño más importantes que fueron el tiempo de ecualización de los niveles y la tasa instantánea máxima de LI/V. Los criterios explícitos para las alcantarillas de LI/V de la esclusa fueron:

- La tasa instantánea máxima de LI/V no debe exceder los 2.28 m/min. (7.5 ft/min.) (el máximo para las esclusas existentes con dos operaciones de alcantarilla), y
- Los tiempos de LI/V para un sistema de 3 niveles debe ser 8 a 9 min. por cada nivel (basado en el sistema existente) y para un sistema de dos niveles (3 niveles x 8 a 9 = 24 a 27 min. totales)/2 niveles = 12 a 13.5 min./nivel. Un factor de 3/2 se usó para calcular el tiempo de LI/V para un sistema de dos niveles, suponiendo tiempos operativos totales iguales para los sistemas de tres niveles y dos niveles. Este factor se usó solamente como un objetivo en el diseño preliminar del sistema de LI/V.

En la aplicación de estos criterios, se encontró que los tamaños de las alcantarillas de LI/V de las esclusas finalizadas fueron:

- Opciones 1 y 3 – lado Atlántico (8.84 m – 29°),
- Opciones 1 y 3 – lado Pacífico (8.53 m – 28°),
- Opciones 2 y 4 – lado Atlántico (7.92 m – 26°) y
- Opciones 2 y 4 - lado Pacífico (7.62 m – 25°).

Un estudio comparativo, descrito en detalle en las páginas 122 a 124, comprobó que las válvulas de izada vertical se deben usar para el conducto de las tinas debido a los tiempos de ecualización más rápidos y al flujo simétrico del flujo en dos direcciones. También se crearon curvas paramétricas para el diseño de conductos de tinas de reutilización de agua. Los criterios de diseño para los conductos de las tinas fueron:

- Los conductos de las tinas no deben ser mayores que los tamaños preliminares de las alcantarillas de LI/V,
- Ninguna solución de conductos debe exceder una tasa instantánea máxima de LI/V de 2.28 m/min (7.5 ft/min) para las operaciones de las tinas a las esclusas, y



- Ninguna solución de conductos debe tener un tiempo individual de operación de las tinas de menos de 2 minutos (lo que se presume es el menor tiempo necesario para abrir e inmediatamente cerrar las válvulas).

Usando estos criterios, estuvieron disponibles una gran cantidad de soluciones de manera que se formularon metodologías para combinar los resultados de la alcantarilla de LI/V de la esclusa y los análisis del conducto de las tinas para calcular mayor cantidad de estadísticas significativas incluyendo el tiempo de operación total, tránsitos transmitidos por día, etc.

Estas estadísticas se presentaron a la ACP para su revisión. La configuración del conducto final resultante de las tinas y los tamaños seleccionados (para conductos cuadrados) por la ACP fueron:

- Opción 1 – 4 conductos/tina (6.10 m – 20’),
- Opción 2 – 4 conductos/tina (7.32 m – 24’),
- Opción 3 – 2 conductos/tina (8.53 m – 28’) y
- Opción 4 (tinas lado a lado) – 4 conductos/tina (6.71 m – 22’)

***La selección de la ACP de la cantidad y tamaños de los conductos para las opciones anteriores está basada en el deseo de obtener un rango aproximado de precios para las diferentes opciones. Por lo tanto, las selecciones de conductos no serían necesariamente las óptimas para cada opción, pero proporcionarían un rango de precios para la comparación y selección entre las opciones .***

En este punto, la ACP detuvo el trabajo antes de que pudiera finalizar el tamaño del conducto de las tinas para la configuración de tina apilada para la Opción 4. La razón principal para detener el trabajo fue que la ACP tiene ahora nuevas configuraciones alternas revisadas que deben ser estudiadas. La ACP deseaba que se aplicara la mayor cantidad posible de los costos restantes a la nueva orden de trabajo, de manera que la ACP le indicó al equipo de estudios que suspendiera todo el trabajo en el contrato actual. La suma del contrato se redujo de acuerdo con esta directriz. Un análisis preliminar usando el mismo tamaño de conducto que el seleccionado para las tinas dispuestas lado a lado indicó que las características de desempeño de las tinas apiladas serían similares. Sin embargo, estas revisiones preliminares también indicaron que se necesitarían mejoras adicionales al tamaño de los conductos para la configuración de las tinas apiladas, ya que los tiempos de eculización fueron aproximadamente 15% más largos cuando se compararon con la configuración de tinas lado a lado.

Sobre la base de los tamaños resultantes de conducto, seleccionados por la ACP, se espera que los conductos necesiten bifurcarse con el fin de colocar más válvulas de menores dimensiones, más confiables y probablemente menos costosas. Por lo tanto, el nicho de la válvula a cada conducto alojará dos válvulas de control principales y cuatro nichos para las mamparas de mantenimiento (los nichos se ubicarán tanto aguas arriba como aguas abajo de las válvulas de control).

Durante todo el proceso del diseño conceptual, se hizo rápidamente evidente que dos de los factores más importantes sobre el tamaño de las tinas y conductos para la reutilización de agua requeridas eran el rango de los niveles de agua (lago y océano) y las longitudes de las cámaras de las esclusas (426.7 m ó 1400’, 457.2 m ó 1500’, y 487.7 m ó 1600’) para los cuales se deben diseñar los sistemas. Esto es especialmente importante en el lado del océano Pacífico donde el rango de mareas puede exceder los 7 metros. Estas variaciones tuvieron impactos significativos, especialmente en las alturas de los muros de las tinas requeridas para que se lograra el porcentaje teórico de ahorro de agua bajo todas las condiciones operativas. Si los resultados de



este estudio muestran que los sistemas de tinas para la reutilización de agua que manejarían el rango completo de niveles de agua y variaciones de longitud de esclusajes no son económicamente justificables, los sistemas se pudieran volver a diseñar de acuerdo a un menor rango de condiciones hidrológicas (ver los datos de excedencia de porcentaje en el Apéndice C) e hidráulicas (longitudes de esclusaje de 426.7 m ó 1400', 457.2 m ó 1500', y 487.7 m ó 1600') que pueden reducir significativamente los tamaños del conducto así como las alturas de los muros de las tinas.

Durante el diseño hidráulico también se descubrió que el diseño de una configuración de tinas apiladas con tinas solamente en un lado de la esclusa es problemático debido a que el rango de niveles de agua y las longitudes de esclusajes necesitan un “traslape” entre tinas si el porcentaje teórico de ahorro de agua siempre se va a obtener (para una explicación más detallada de “traslape” refiérase a la página 79). No obstante, el problema se puede superar aumentando el ancho de las tinas a un valor mayor que el de las esclusas ( $m > 1.0$ ). Sin embargo, esto conlleva una excavación adicional para las esclusas superiores así como costos más altos. Por lo tanto, en los estudios futuros, una configuración de tinas apiladas en ambos costados de la esclusa sería una configuración superior basada en consideraciones hidráulicas, aunque sería indudablemente más costosa. Si se tienen tinas en ambos costados de la esclusa se dará margen a que las tinas en un costado sean compensadas desde aquellas en el otro costado (lo cual manejará mejor el “traslape” necesario).

Los resultados de los análisis hidráulicos se resumen y comparan para todas las opciones (tanto en unidades métricas como inglesas) en las siguientes tablas.

**Disposición del sistema y porcentajes teóricos de ahorro de agua para todas las opciones**

OPCIÓN	No. de niveles	No. de tinas por nivel	No. de conductos por tina	Diámetro del conducto	Porcentaje teórico de ahorro de agua
Opción 1	3	2	4	6.10 m (20')	50%
Opción 2	2	3	4	7.32 m (24')	60%
Opción 3	3	6 (mitad del tamaño)	2	8.53 m (28')	60%
Opción 4	2	2	4	6.71 m (22')	50%

**Uso total de agua y tiempos de llenado y vaciado por esclusaje para las opciones del lado Atlántico**

**Unidades métricas**

OPCIÓN	Altura de entrada de agua sin tinas (m)			Altura de entrada de agua con tinas (m)			Volumen de entrada de agua con tinas (promedio de esclusaje = 61 m x 457 m) (10 m <sup>3</sup> )			Promedio total de tiempos de llenado y vaciado por esclusaje (min)
	min	media	max	min	media	max	min	media	max	
Opción 1	7.01	8.49	10.04	3.51	4.24	5.02	97.71	118.27	139.85	31.46
Opción 2	10.48	12.73	15.00	4.19	5.10	6.00	116.74	142.06	167.38	26.52
Opción 3	7.01	8.49	10.04	2.80	3.40	4.02	78.17	94.65	111.98	36.43
Opción 4*	10.48	12.73	15.00	5.24	6.37	7.50	145.97	177.58	209.18	26.35



\*tinas lado a lado

**Unidades inglesas**

OPCIÓN	Altura de entrada de agua sin tinas (ft)			Altura de entradas de agua con tinas (ft)			Volumen de entrada de agua con tinas (promedio de esclusaje = 200' x 1500') (millones de galones)			Promedio total de tiempos de llenado y vaciado por esclusaje (min)
	min	media	max	min	media	max	min	media	max	
Opción 1	23.00	27.85	32.93	11.50	13.92	16.46	25.81	31.24	36.24	31.46
Opción 2	34.37	41.78	49.23	13.74	16.72	19.70	30.83	37.52	44.21	26.52
Opción 3	23.00	27.85	32.93	9.20	11.14	13.18	20.65	25.00	29.58	36.43
Opción 4*	34.37	41.78	49.23	17.18	20.90	24.62	38.55	46.90	55.25	26.35

\*tinas lado a lado

**Uso total de agua y tiempos de llenado y vaciado por esclusaje para las opciones del lado Pacífico**

**Unidades métricas**

OPCIÓN	Altura de entrada de agua sin tinas (m)			Altura de entrada de agua con tinas (m)			Volumen de entrada de agua con tinas (promedio de esclusaje = 61 m x 457 m) (10 m <sup>3</sup> )			Promedio total de tiempos de llenado y vaciado por esclusaje (min)
	min	media	max	min	media	max	min	media	max	
Opción 1	6.10	8.46	11.17	3.05	4.23	5.58	84.96	117.93	155.66	34.72
Opción 2	9.12	12.70	16.69	3.65	5.08	6.67	101.62	141.55	186.07	27.58
Opción 3	6.10	8.46	11.17	2.44	3.38	4.47	67.97	94.31	124.56	37.28
Opción 4*	9.12	12.70	16.69	4.56	6.35	8.35	127.11	177.07	232.63	27.55

\*tinas lado a lado

**Unidades inglesas**

OPCIÓN	Altura de entrada de agua sin tinas (ft)			Altura de entrada de agua con Tinas (ft)			Volumen de entrada de agua con tinas (promedio de esclusaje = 200' x 1500') (millones de galones)			Promedio total de tiempos de llenado y vaciado por esclusaje (min)
	min	media	max	min	media	max	min	media	max	
Opción 1	20.01	27.77	36.64	10.00	13.92	16.46	22.44	31.15	41.11	34.72
Opción 2	29.91	41.67	54.77	11.96	16.72	19.70	26.84	37.39	49.15	27.58
Opción 3	20.01	27.77	36.64	8.00	11.14	13.18	17.95	24.91	32.90	37.28
Opción 4*	29.91	41.67	54.77	14.96	20.90	24.62	33.57	46.77	61.44	27.55



\*tinas lado a lado

Las opiniones de las estimaciones de costos probables para tres de las cuatro opciones se pueden ver en las siguientes tablas.

**Opiniones de costos probables (nivel conceptual) para las opciones del lado Atlántico**

<u>OPCIÓN</u>	Costos de construcción civil/estructural (Dólares de EE.UU., en millones)	Costos de elementos mecánicos (Dólares de EE.UU., en millones)	Costo de elementos eléctricos (Dólares de EE.UU., en millones)	<b>Total de costos (Dólares de EE.UU., en millones)</b>
Opción 1	\$325	\$30.0	\$1.6	<b>\$357</b>
Opción 2	\$360	\$30.0	\$1.6	<b>\$392</b>
Opción 3	\$418	\$23.7	\$1.6	<b>\$444</b>

**Opiniones de costos probables (nivel conceptual) para las opciones del lado Pacífico**

<u>OPCIÓN</u>	Costos de construcción civil/estructural (Dólares de EE.UU., en millones)	Costos de elementos mecánicos (Dólares de EE.UU., en millones)	Costo de elementos eléctricos (Dólares de EE.UU., en millones)	<b>Total de costos (Dólares de EE.UU., en millones)</b>
Opción 1	\$380	\$30.0	\$1.6	<b>\$412</b>
Opción 2	\$466	\$30.0	\$1.6	<b>\$498</b>
Opción 3	\$547	\$23.7	\$1.6	<b>\$573</b>