



## Proyecto del Tercer Juego de Esclusas

Traducción

**Nombre del estudio en inglés:** Flood mitigation program for Gatun lake

**Nombre del estudio en español:** Programa de mitigación de inundaciones del lago Gatún

**Fecha del informe final:** 10 de febrero de 2005

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

**Nombre del consultor:** Moffatt & Nichol Engineers

## RESUMEN EJECUTIVO

### 1 INTRODUCCIÓN

---

#### 1.1 Antecedentes

Como parte de la elaboración de un Plan Maestro global para la ampliación del Canal de Panamá, la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) estudia varias opciones para mejorar la infraestructura del Canal y las actuales limitaciones de la misma, que incluye la capacidad actual del vertedero de Gatún.

Al diseñarse el vertedero actual a principios del siglo XX, se disponía de muy poca información respecto a la hidrología y las características hidráulicas del río Chagres. La capacidad actual del vertedero fue diseñada de acuerdo con los caudales calculados con base en niveles de crecidas históricas a lo largo del río y un nivel máximo de operación del lago de 25.90 m. (85 pies). Con el paso de los años, el nivel máximo de operación fue aumentado a 26.67 m. (87.5 pies) para atender las demandas de mayor cantidad de agua y para mayor calado a los buques cada vez más grandes. Hoy, luego de 90 años de operación, se ha recabado un volumen importante de información hidrológica correspondiente tanto al río como a la climatología de la región. Estudios realizados desde 1945 han encontrado que la capacidad actual del vertedero es insuficiente para manejar las crecidas máximas de forma segura. Las normas internacionales que rigen embalses como el de Gatún estipulan que el vertedero se debe diseñar con capacidad para la Crecida Máxima Probable (CMP). Por tanto, se necesita mayor capacidad del vertedero para satisfacer este criterio y así proteger el lago y la viabilidad del sistema mismo del Canal.



Aumentar la capacidad del vertedero permitirá además que el lago opere a una mayor elevación sin perjudicar la seguridad de las estructuras ni de la navegación. Aumentaría también el aporte de agua del sistema de lagos del Canal. Por eso, como parte de la evaluación de un vertedero nuevo, también se debe analizar el nivel máximo óptimo de operación del lago Gatún (NMOL) tanto con el vertedero actual como con el propuesto.

Como componente del análisis del NMOL óptimo, habrá que contemplar una variedad de temas que incluyen las demandas actuales y futuras de agua, tanto para la navegación como para usos municipales e industriales. Además de estos impactos, se tendrá que sopesar con sumo cuidado los impactos de las crecidas potenciales sobre las estructuras e instalaciones en las riberas del lago, puesto que en ellas se encuentran numerosas estructuras de la ACP y de terceros. De igual manera, se debe prestar cuidadosa atención a los efectos de elevaciones mayores del Lago sobre el vertedero actual, en atención a dichas consideraciones.

Por último, también se han manifestado inquietudes en cuanto a la estabilidad de la presa y vertedero de Gatún de ocurrir un evento sísmico. La ACP ha emprendido actualmente un análisis de la estabilidad sísmica de las esclusas actuales y todas las otras estructuras clave como parte del Plan Maestro a largo plazo, y sin lugar a dudas se debe incluir la estabilidad del vertedero actual como parte de este análisis.

## 1.2 Propósitos del estudio

El propósito principal de este estudio es analizar la estabilidad y capacidad del vertedero existente de Gatún y recomendar opciones para incrementar la capacidad de vertido para mitigar las inundaciones potenciales que podrían suceder de darse precipitaciones severas.

El objetivo secundario y conexo es revisar las implicaciones estructurales, ambientales, hidráulicas y de costos de un aumento en el NMOL actual, producto de la capacidad adicional de vertido, con miras a reducir la necesidad de limitar los calados en el Canal durante períodos prolongados de sequía.

## 1.3 Alcance de este informe

En primer lugar, este estudio de factibilidad analiza el vertedero y presa existentes del lago Gatún y evalúa su capacidad hidráulica y estructural para soportar una condición de Crecida Máxima Probable (CMP), como también de responder a eventos sísmicos. Se presenta además un diseño al nivel de factibilidad para la capacidad adicional de vertido.

El segundo componente del Programa de Mitigación de Crecidas examina entonces el efecto de una serie de aumentos incrementales en el NMOL en las estructuras existentes adyacentes y que son afectadas por las aguas del lago Gatún como resultado de la capacidad adicional de vertido. Estas estructuras incluyen el vertedero existente, las esclusas de Pedro Miguel y Gatún, algunas presas auxiliares, instalaciones de la ACP en Gamboa y algunas instalaciones y estructuras propiedad de terceros ubicadas alrededor del lago y aguas abajo del vertedero existente.

Se evalúan además los impactos ambientales y socioeconómicos, con recomendaciones para la atenuación o prevención de impactos donde corresponda. Se incluyen estimados de costos para la modificación o reconstrucción de aquellas estructuras que podrían verse afectadas por los aumentos incrementales, basados en diseños conceptuales o en datos obtenidos de informes anteriores.

Por último, se suministra un análisis de los beneficios económicos para ayudar a determinar el NMOL óptimo.



## 6. RESUMEN Y RECOMENDACIONES

---

### 6.1 Vertedero existente

Las conclusiones y recomendaciones principales provenientes de los análisis del vertedero existente son:

- A pesar de que el vertedero de Gatún ha operado con mucho éxito durante 91 años, ahora requiere de mejoras para satisfacer los requisitos actuales de seguridad para presas. Se puede incorporar a dichos mejoramientos las modificaciones necesarias para adecuarlos a un NMOL más elevado.
- La presa de Gatún ha sido designada como estructura de “Alto Riesgo”. Debido a esta calificación y las consecuencias económicas que podrían suscitarse como resultado de una suspensión prolongada del Canal ocasionada por una rotura de la presa, la crecida de diseño recomendada es la Crecida Máxima Probable.
- La capacidad hidráulica del vertedero por sí sola no responde a los requisitos de control de crecidas para la presa de Gatún y otras estructuras del Canal, de ocurrir la Crecida Máxima Probable. El plan actual de control de crecidas vislumbra la descarga adicional de agua a través de las estructuras de las esclusas. Descargas anteriores de agua vertida a través de los túneles de las esclusas han deteriorado las estructuras de las mismas. Se necesita capacidad adicional de vertido y la mejor manera de adquirirla es mediante la construcción de un vertedero adicional.
- La crecida de diseño de entrada y los niveles de agua superior e inferior bajo los cuales tiene que operar actualmente el vertedero son considerablemente diferentes a los que se pronosticaron en la época de diseño de la estructura. Se recomienda configurar el vertedero según el rango completo de condiciones hidráulicas para garantizar que pueda desempeñarse con seguridad conforme a los requisitos.
- Los terremotos con períodos de retorno de 1,000 y 5,000 años (Nivel I y Nivel II) fueron seleccionados para los análisis de estabilidad estructural. Los análisis de estabilidad de la sección tipo **cimacio** del vertedero, bajo cargas hidráulicas y sísmicas indican que puede responder a criterios globales de estabilidad por deslizamientos y vuelcos de acuerdo con un nivel máximo de operación del lago de 27.44 m. (90.0 pies) y un nivel del reservorio bajo CMP de 28.05 m. (92.0 pies).
- Análisis estructurales anteriores de las pilastras del vertedero realizados por la ACP han detectado una deficiencia en la estabilidad lateral debido a una falta de acero de refuerzo vertical. Investigaciones preliminares indican que se podría rectificar esta deficiencia mediante la colocación de tendones verticales en las pilastras y estructuras horizontales entre los extremos superiores de las pilastras.
- Las compuertas del vertedero ya rebasaron su vida útil y deben ser reemplazadas. Se recomienda que las compuertas de izamiento vertical “Stoney” se sustituyan por compuertas de izamiento vertical equipadas con ruedas fijas y cabrestantes eléctricos aéreos.
- Para propósitos de planificación, el costo estimado para la renovación de las pilastras del vertedero asciende a \$2,534,000. El costo estimado de la construcción requerida para reemplazar las compuertas y cabrestantes del vertedero es \$27,331,000.



- Las operaciones de control de crecidas son esenciales para el funcionamiento continuo y seguro del Canal de Panamá, por lo que el programa propuesto de mejoramiento al vertedero debe llevarse a cabo lo más pronto posible. El trabajo de restauración en el vertedero actual puede reducir su capacidad temporalmente mientras se remueven las compuertas actuales y se realizan las modificaciones a las pilastras, guías y cabrestantes de las compuertas. Los factores que podrían mitigar esta pérdida provisional de capacidad consisten en incorporar el vertedero nuevo antes de los trabajos de restauración, programar el trabajo de restauración para la época seca y organizarlo de manera que solamente una compuerta esté fuera de servicio en un momento determinado. Se debe modificar la programación del proyecto de acuerdo con el plan global de la ACP para el mejoramiento del Canal.
- El refuerzo de las pilastras existentes podría realizarse sin limitar la capacidad del vertedero.

## 6.2 Nuevo vertedero

El lago Gatún necesita más capacidad de vertido para que la presa de Gatún cumpla con los requisitos modernos de seguridad de presas. Esta solución también permitiría a la ACP aumentar el nivel máximo de operación del lago y reducir la sobrecarga que se debe conservar para dar paso a crecidas mayores.

La capacidad del nuevo vertedero, de acuerdo con el sistema actual de operación, es 5,912 mcs<sup>1</sup> (208,780 pcs<sup>2</sup>) al nivel máximo operativo actual de 26.67 m. (87.5 pies) PLD<sup>3</sup> y la descarga máxima estimada a una elevación de 27.43 (90 pies) es 6,693 mcs (236,360 pcs). La descarga máxima estimada de acuerdo con suposiciones de encaminamiento del CMP a elevación 28.04 m. (92.0 pies) PLD es 7,303 mcs (257,910 pcs).

### 6.2.1 Determinación del CMP

Los cálculos que sustentan este informe indican que la CMP actual parece ser solo cuatro veces más grande que un evento de 15 años. Como quiera que el CMP vigente fue determinado a principios de la década del 70 y se cuenta ya con más de 30 años de información hidrológica adicional, se recomienda una reevaluación del CMP antes de la etapa del diseño, para confirmar que aún corresponde con las circunstancias actuales.

### 6.2.2 Ubicación alterna

Los estudios para diferentes ubicaciones para el nuevo vertedero han determinado que el lugar más favorable está en el estribo izquierdo (oeste) de la presa en donde el terraplén de la presa se empalma con una cresta natural compuesta de rocas sedimentarias de la formación Gatún, cubierta con una capa de suelo natural y relleno del terraplén.

La configuración propuesta para el vertedero consiste en una instalación con compuerta que cuenta con siete compuertas en la cima, la altura de las cuales alcanza dos veces la de las compuertas del vertedero actual. Las compuertas serían del tipo radial a diferencia de las compuertas de izamiento vertical del vertedero existente.

<sup>1</sup> mcs = metros cúbicos por segundo

<sup>2</sup> pcs = pies cúbicos por segundo

<sup>3</sup> PLD = Precise Level Data (por sus siglas en inglés) - Nivel Preciso de Referencia



### **6.2.3 Configuración recomendada del vertedero**

El desarrollo de capacidad adicional de vertido en el estribo oeste de la presa de Gatún parece factible. La configuración recomendada para el proyecto consiste en un vertedero superficial con compuerta con canal de aproximación corto, un canal de desfogue y un estanque amortiguador revestido de concreto.

### **6.2.4 Investigación del área**

Para establecer la ubicación y configuración más favorables para las estructuras del nuevo vertedero se utilizó la investigación del sitio que emprendiera la ACP para este estudio de factibilidad. Sin embargo, aún existen algunos temas no solucionados que tienen que ver con la competencia y nivel de las capas rocosas en el área del vertedero propuesto y el estanque amortiguador. También se precisa de más información que permita localizar la dirección de una aparente falla en el sitio del proyecto.

### **6.2.5 Modelo hidráulico**

Sería beneficioso utilizar un modelo hidráulico para diseñar el canal de aproximación, el estanque amortiguador y el canal de desfogue. Además, se debe explorar los efectos potenciales de una elevación mayor aguas abajo en función de la seguridad y operación del vertedero actual, conjuntamente con un modelo hidráulico recomendado de la operación bajo las condiciones existentes.

### **6.2.6 Mejoras potenciales al diseño**

Las mejoras al diseño que deberían ser investigadas en la etapa del diseño detallado, una vez se tenga más información sobre el sitio incluyen:

- Rotación del vertedero en sentido contrario a las agujas del reloj con miras a mejorar las condiciones del canal de aproximación.
- Disminuir el largo del muro de encauzamiento en el estribo izquierdo (lado oeste del canal del vertedero).
- Uso de técnicas de mejoramiento del suelo para aumentar la estabilidad del relleno del terraplén de la presa.
- Trasladar la estructura de control aguas arriba para reducir el costo de los muros de encauzamiento.
- Recortar el tamaño de los muros de gravedad en el canal de descarga justo aguas abajo de la estructura de control.
- Investigar sobre el uso de muros con pilotes intercalados en el canal de descarga y el estanque amortiguador para evitar la necesidad de instalar ataguías provisionales y muros de soporte del suelo.
- Optimizar el diseño hidráulico y estructural de la estructura de la compuerta del vertedero.
- Optimizar el tamaño y número de compuertas del vertedero.
- Optimizar el diseño del estanque amortiguador. Si resulta factible, un estanque de rampa inclinada Tipo V podría ser superior al diseño del Tipo II.

### **6.2.7 Programa y costos de construcción**

La construcción del vertedero demoraría cuando menos dos años y se estima que su costo alcanzaría los B/.91 millones. El programa de trabajo completo para poner en marcha el proyecto es actualmente de 52



meses ó 4.33 años, incluyendo los estudios ambientales, las investigaciones adicionales en el campo y el diseño final. Se recomienda también aumentar la elevación del dique de Mindi para limitar los impactos a la navegación durante la Crecida Operativa del Canal. El costo estimado de esta construcción es de aproximadamente B/.3.1 millones. Por consiguiente, el costo total del proyecto del vertedero nuevo tiene un costo estimado de B/.94.1 millones. Si se precisa de un dique para proteger el camino al antiguo Fuerte Sherman a través del manglar de Mojinga, esto implicaría una inversión adicional de B/.4.0 millones.

#### **6.2.8 Nivel Máximo de Operación recomendado para el lago (NMOL)**

En vista de la necesidad de análisis adicionales y debates sobre los parámetros de selección utilizados para fijar el NMOL más favorable, este informe no presenta conclusiones definitivas. No obstante, si se opina que es indispensable presentar el nivel actual de confiabilidad en el futuro y que la demanda de agua a la larga se acercará a las condiciones máximas, se debería considerar un NMOL de cuando menos 27.13 m. (89.0 pies) y hasta 28.04 m. (90.0 pies). A pesar de que sería preferible un NMOL de 28.04 m. (90.0 pies) a medida que la demanda de agua se acerca a las condiciones máximas, esto sobrepasa con creces los pronósticos de la ACP.

Esto indica pues que una elevación objetivo razonable del NMOL quedará entre esas dos elevaciones, y la definición precisa del NMOL óptimo dependerá de un análisis adicional de los costos, pronósticos de tránsito y de las prioridades de los criterios de evaluación. Actualmente, se espera que el rango de costos del proyecto para elevar el nivel del lago esté entre B/.2.3 millones y B/.31.6 millones, de acuerdo con el NMOL final que se seleccione.