



Proyecto del Tercer Juego de Esclusas

Traducción

Nombre del estudio en inglés: Feasibility design for the Upper Chagres water supply project

Nombre del estudio en español: Diseño de factibilidad para el proyecto de abastecimiento de agua de Alto Chagres

Fecha del informe final: Septiembre de 2003

Fecha de la traducción: 17 de mayo de 2006

Nombre del consultor: Montgomery Watson Harza

RESUMEN EJECUTIVO

INTRODUCCIÓN

La ACP lleva a cabo actualmente un estudio de capacidad del Canal que incluye la evaluación de fuentes de agua adicionales para incrementar la capacidad del Canal. El tránsito de buques a través del Canal de Panamá depende de la disponibilidad de agua dulce almacenada en los embalses de Madden y Gatún. La disponibilidad de agua es limitada, y aún a los niveles de tráfico actuales, no es suficiente para cubrir la demanda del tráfico durante los períodos prolongados de sequía. Por ende, nuevas fuentes deben ser ubicadas, definidas y evaluadas.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) llevó a cabo un estudio de reconocimiento para que la Comisión del Canal identificara y evaluara proyectos potenciales de suministro de agua (1). El Proyecto de Alto Chagres fue recomendado como una alternativa factible que pudiera tenerse como consideración adicional para desarrollar un plan de suministro de agua a largo plazo.

La Autoridad del Canal de Panamá (ACP), antiguamente Comisión del Canal de Panamá, ha autorizado a Montgomery Watson Harza, previamente la Compañía de Ingeniería Harza (Harza Engineering Company) para que efectúe un estudio de ingeniería sobre la factibilidad del Proyecto de Suministro de Agua de Alto Chagres (el Proyecto) conforme al Contrato CC-3-536, Orden de Trabajo 0011, con fecha de 11 de septiembre de 2001. Un mapa de su ubicación se muestra en la Figura 1.

OBJETIVO DEL ESTUDIO



El objetivo original de este estudio fue determinar la factibilidad técnica y económica del Proyecto de Suministro de Agua de Alto Chagres. Una evaluación de la factibilidad ambiental se llevará a cabo por separado bajo la dirección de la ACP.

Durante el transcurso de este estudio, la ACP determinó que la implementación del Proyecto de Alto Chagres se daría solamente en conjunto con un plan para agregar un nuevo juego de esclusas al sistema de esclusas del Canal de Panamá. Debido a esta condición, la demanda y los beneficios provenientes del desarrollo del Proyecto de Alto Chagres no pudieron evaluarse en este momento y por ello no fue posible determinar su factibilidad económica. El objetivo de este estudio se cambió a una evaluación de su factibilidad técnica.

HIDROLOGÍA E HIDRÁULICAS DE RÍOS

Se realizaron estudios para confirmar la secuencia del flujo de agua a largo plazo adoptada para el Estudio de Reconocimiento (1), y para calcular el diseño de inundación de los vertederos y la sedimentación del embalse que se espera.

La secuencia de flujo de agua a largo plazo en la represa propuesta en Alto Chagres se basa en datos obtenidos en la estación de aforo sobre el Río Chagres en Chico. Hubo datos disponibles para este estudio para el período desde marzo de 1933 a diciembre del 2000. Faltaron datos para noviembre de 1966 y para el período desde enero de 1968 hasta junio de 1971. Montgomery Watson Harza desarrolló los datos mensuales faltantes mediante la utilización de procedimientos estadísticos. Debido a que la represa propuesta está ubicada 150 metros aguas arriba desde la estación de aforo, los flujos registrados se consideran aplicables al sitio de la represa. Se estima que el término medio del flujo anual en el sitio de la represa es de 30.2 m³/s (metros cúbicos por segundo). La distribución mensual del flujo se muestra a continuación en metros cúbicos por segundo.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
25.5	14.9	12.4	15.7	27.6	29.6	32.3	35.3	34.1	39.8	49.3	46.4	30.2

La avenida máxima probable en base a la precipitación máxima probable se adoptó como la avenida de diseño del vertedero para el Proyecto de Suministro de Agua de Alto Chagres. En base a la información presentada en la publicación de 1978 del Servicio Nacional de Meteorología sobre la precipitación máxima probable y la publicación de 1965 de la Agencia de Meteorología sobre la profundidad-área-duración, la precipitación máxima probable se estimó en 657 mm. Los resultados de la transposición de tormentas y los procedimientos de maximización resultaron en una estimación levemente inferior.

La precipitación máxima probable fue transformada en la avenida máxima probable, utilizando el modelo computarizado HEC-1. Para un flujo base de 50 m³/s estimado mediante un análisis de cinco avenidas mayores en la estación de aforo del río Chico, la hidrografía de la avenida máxima probable tuvo una descarga pico estimada en 9,940m³/s y un volumen de 271 millones de metros cúbicos.

El impacto de la deposición de sedimento almacenado en el embalse se evaluó utilizando datos de la represa Madden y otras fuentes. Después de 100 años, se espera que la deposición de sedimento reduzca el almacenaje bruto en aproximadamente 10 por ciento y el almacenaje vivo en aproximadamente 5 por ciento.

CONDICIONES GEOLÓGICAS



Las condiciones geológicas se establecieron en base a la cartografía geológica, los análisis geomorfológicos, los estudios fotogeológicos, un programa de investigación moderada del subsuelo e investigaciones de los materiales de construcción.

Geología del sitio de la Represa

El recubrimiento de piedra en el sitio de la represa consta principalmente de los suelos residuales y coluvión. En el lecho, y de 5 a 10 metros más abajo en las laderas del valle, el recubrimiento de piedra consiste de depósitos aluviales que oscilan desde arena hasta grandes rocas.

Las piedras del lecho del área del Proyecto del Alto Río Chagres son en su gran mayoría rocas cretáceas de origen volcánico. En base a las relaciones regionales y similitudes con las unidades geológicas observadas en el área canalera, se considera que las rocas del lecho del área del Proyecto Alto Río Chagres pertenecen al Complejo Subterráneo Ígneo.

Las rocas volcánicas a lo largo del Río Chagres en la vecindad del sitio de la represa se han identificado en el campo y se conocen como andesita. Varias zonas de aglomerados también se observaron en las exposiciones de la superficie y en las perforaciones. Las observaciones hechas durante el programa de cartografía y perforación indican que la relación estratégica entre las andesitas y los aglomerados es sumamente variable. El aglomerado parece ser una característica de intercambios de los flujos individuales de andesitas, con clastos incorporados de los depósitos superficiales existentes y de actividad volcánica (explosiones, flujos de detritos).

El suelo del valle en los alrededores del sitio de la represa es de un orden de 50 metros de ancho y contiene terrazas aluviales, grava, y barras de rocas. Las terrazas aluviales se encuentran principalmente en el interior de los meandros, mientras que la grava y las barras de rocas se encuentran típicamente en los tramos rectos del cauce del río.

Sismicidad

Varios de los mayores terremotos de la historia del país han ocurrido en el área de investigación. Más notablemente, los terremotos ocurrieron en 1822 y 1916 en el noroeste de Panamá a lo largo del borde del Cinturón Deformado del Norte de Panamá, mientras dos terremotos ocurrieron cerca de 25 kilómetros de la costa norte cerca de Colón en 1621 y en 1882. Un terremoto adicional se registró en 1914 en la costa noreste de la región de San Blas.

El Proyecto de Alto Chagres se ha clasificado como proyecto significativo. Este proyecto fue analizado para un período de retorno de 2,000 años aproximadamente. Los parámetros del diseño sísmico recomendados para el Proyecto de Alto Chagres son los siguientes:

- Terremoto de Diseño Máximo (MDE) = 0.20 g
- Terremoto en Base a Operaciones (OBE) = 0.14 g

La represa de Alto Chagres fue analizada en cuanto a su estabilidad para el Terremoto de Diseño Máximo. (MDE).

Geología de Ingeniería

En general, no se espera que el lecho de piedras del sitio presente impedimentos significativos al desarrollo del proyecto que no pueda remediarse con los detalles apropiados de diseño convencional y prácticas de construcción.



Materiales de Construcción

La construcción del Proyecto de Alto Chagres va a requerir un agregado apropiado para la mezcla de hormigón compactado mediante aplanadora, un agregado de hormigón y material al azar para los cajones o encofrados iniciales aguas arriba y de aguas abajo.

Todos los agregados (incluyendo los agregados ordinarios y los finos para el hormigón y la mezcla de hormigón compactado mediante aplanadora deben procesarse desde las canteras. Estos agregados se procesarán con andesita local de una cantera inmediatamente al oeste de la confluencia del Río Chico y Río Chagres.

Los cajones o encofrados de desvío se construirán con rellenos localmente disponibles que podrán obtenerse a través las excavaciones requeridas en el sitio de la represa.

DESCRIPCION DEL PROYECTO DE SUMINISTRO DE AGUA DE ALTO CHAGRES

Los elementos principales que comprenden el Proyecto de Suministro de Agua de Alto Chagres incluyen:

- Una represa de hormigón compactado mediante aplanadora y las obras auxiliares necesarias en el sitio de Río Chico,
- Un vertedero con compuertas del tamaño necesario que protejan la represa contra la inundación máxima probable,
- Instalaciones de desvío temporal del río que incluyan dos alcantarillas que serán convertidas para incorporarlas a las instalaciones de reducción del nivel del río en caso de urgencia, y
- Una planta de energía de 56 MW que también se utilizará para suplir la descarga mínima.

Véanse el plan general de desarrollo y el plan de funcionamiento de la represa y de las instalaciones auxiliares en las Figuras 2 y 3.

La represa tendrá un embalse con una capacidad bruta de 530 millones de metros cúbicos en la Elevación 210, que es el nivel máximo de suministro. El almacenamiento activo entre la El. 210 y El.155 será de 450 millones de pies cúbicos. Por consiguiente, el almacenamiento muerto puede recoger 100 años de deposición de sedimento. El área del embalse al nivel de suministro completo es de 13.9 kilómetros cuadrados.

Una vez completado el proyecto, el rendimiento del sistema de suministro para el Canal de Panamá aumentará en 400 millones de metros cúbicos por año aproximadamente, con una confiabilidad de 99.6%. Ello equivale a 5.3 esclusajes diarios adicionales aproximadamente en el actual sistema del Canal.

La represa de Alto Chagres será construida con una mezcla de hormigón de contenido medio de cemento con agregados obtenidos de una cantera ubicada aguas arriba del sitio a lo largo de río Chico, cerca de su confluencia con el río Chagres. La represa será de 140 metros de altura aproximadamente, desde la excavación más profunda de los cimientos hasta su cima.

Un vertedero de rampa con compuertas estará ubicado en la porción izquierda-centro de la represa. La descarga bajo las condiciones de avenida máxima probable será de 6,300 m³/s utilizando una sobrecarga de 2.9 metros sobre el nivel máximo de suministro. Seis compuertas



radiales se encargarán del control, cada una de 8 metros de ancho por 12 metros de altura. Un cangilón descargará los flujos de avenidas en un estanque construido de la roca adecuada y excavada previamente a El.63, aproximadamente 200 metros aguas abajo del cangilón.

Las instalaciones para el desvío del río durante la construcción tendrán cajones o encofrados aguas arriba y aguas abajo del sitio de la represa y dos conductos de 7 metros por 7 metros localizados en el lado correspondiente del cauce del río. Los conductos servirán para transportar la avenida de 25 años durante la construcción, controlar el porcentaje inicial del contenido del embalse, y evacuar el embalse en caso de emergencia.

La reducción del nivel del agua se logrará mediante la utilización del vertedero y uno de los conductos de desvío. Para un vaciado de emergencia, se construirá una torre de toma con un pozo de 4 metros por 4 metros en el frente de la represa. Se instalarán dos compuertas de 3 metros de ancho por 4 metros de altura, con umbrales a El. 115.

Las instalaciones de energía eléctrica constarán de una toma de energía, un pozo vertical y un túnel horizontal que conduzca hasta la estación de la planta, que contendrá dos turbinas Francis, una de 8 MW y tres de 16 MW conectadas directamente a generadores sincronizados de una capacidad total instalada de 56 MW. Un patio de distribución de 115 kV estará ubicado a 200 metros de la estación de energía y una línea de transmisión de 115 kV de 21.2 kilómetros estará conectada a la red nacional en la actual línea Panamá-Colón de 115 kV cerca de la Represa de Madden. El suministro mínimo se descargará a través de la estación de la planta, ya sea como parte de la operación de energía o, cuando las unidades estén apagadas, mediante un puente.

Para las instalaciones hidroeléctricas se requerirán instalaciones de operaciones, así como para las otras compuertas y válvulas. Estas instalaciones incluirán un sistema SCADA para el monitoreo y operación remota del proyecto, al igual que la instrumentación, la seguridad e iluminación, el paisajismo y el drenaje.

COSTO DEL PROYECTO

Se ha desarrollado un costo estimado del Proyecto de Suministro de Agua de Alto Chagres en base al diseño de factibilidad actual y cronograma de construcción. Las estimaciones representan los costos y porcentajes prevalecientes en enero del 2003. Las estimaciones se basan en la suposición que un contratista extranjero construirá las instalaciones de suministro de agua y las hidroeléctricas sin restricción de fuentes de materiales ni de equipo. Los precios unitarios se han estimado a nivel de la factibilidad.

A continuación se muestra un resumen de los costos de construcción.

Renglón	Costo estimado
Adquisición de tierras y mitigación	\$9,100,000
Costos generales, incluyendo los campamentos de construcción y las carreteras permanentes de acceso	\$13,030,000
Trabajos de desvío de ríos	\$9,170,000
Represa principal	\$107,230,000
Vertedero	\$12,830,000
Instalaciones de vaciado de emergencia	\$1,550,000
Recepción y túnel de energía	\$9,460,000
Planta generadora	\$18,420,000
Sistema de transmisión	\$5,170,000



Instalaciones de operaciones	\$900,000
Subtotal de costos directos	\$190,580,000
Contingencia	\$27,720,000
Costos directos	\$218,300,000
Ingeniería y administración	\$32,700,000
Costo de construcción (al nivel de precios de enero del 2003)	\$251,000,000

Los costos anuales de operación incluyen los costos de operación y mantenimiento para los varios aspectos, los costos de reemplazo de equipo de corta duración y la administración por parte del propietario y los seguros. Adicionalmente, se ha incluido un costo anual para la administración de la cuenca, la implementación del plan de mitigación ambiental y las actividades de reubicación. Los costos anuales de operación y mantenimiento se resumen a continuación:

Renglón	Costo anual
Operación y mantenimiento	\$1,034,000
Reemplazo	\$520,000
Gastos Administrativos y Generales	\$193,000
Seguros	\$243,000
Administración de la reubicación	\$80,000
Administración de la cuenca	\$150,000
Implementación del plan de mitigación	\$100,000
Total (redondeado)	\$2,320,000

IMPLEMENTACION DEL PROYECTO

Se estima que la implementación del Proyecto va a requerir aproximadamente 6.5 años incluyendo los estudios ambientales, la financiación, el diseño, la selección del contratista y la construcción. La construcción en sí requerirá de 4 años. En la Figura 4 aparece un cronograma de implementación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de los estudios descritos en este informe y sus anexos, se concluye que:

- El Proyecto de Suministro de Agua de Alto Chagres es técnicamente factible.
- El sitio de la represa escogido en el Estudio de Reconocimiento es una ubicación apropiada para el desarrollo de los recursos hídricos de la Cuenca de Alto Chagres.
- Una represa de hormigón compactado mediante aplanadora es apropiada para el sitio y es el mejor arreglo efectivo de costos.
- El rendimiento del sistema del Canal de Panamá incrementará aproximadamente 400 millones de metros cúbicos anuales (aproximadamente 5.3 esclusajes diarios) con la implementación del Proyecto de Alto Chagres.
- La implementación de una planta hidroeléctrica de 56 MW al Proyecto está garantizada.
- Se estima que el proyecto costará \$251 millones aproximadamente en dólares del 2003. Permitiendo una inflación del 3% anual, un aumento anual del 3% en el costo de la construcción e intereses de 10% anuales durante la construcción.



El costo de inversión del proyecto en dólares actuales sería de \$307 millones aproximadamente.

- El costo económico del agua es más alto para el Proyecto Alto Chagres que para el Proyecto de río Indio o el Proyecto de Caño Sucio.

Como resultado de estas conclusiones, se recomienda que:

El Proyecto de Suministro de Agua no se considere como fuente de suministro de agua para ninguna ampliación del Canal a corto plazo o a mediano plazo, salvo que la ampliación mediante las cuencas del oeste no sea posible.

TABLA DE DATOS SIGNIFICATIVOS

Ubicación del Proyecto: Cuenca de Alto Río Chagres al este del Lago Alajuela		
Hidrología		
	Precipitación anual Promedio	3,250 mm
	Flujo de agua anual Promedio	30.2 m ³ /s
Instalaciones de Almacenaje		
<i>Embalse</i>		
	Área de drenaje	414 km ²
	Nivel máximo normal de agua	El. 210 msl
	Almacenaje activo	
	Volumen inicial (redondeado)	530 MCM
	Rango de operación inicial	El. 210 – El. 155
	Volumen después de 100 años (redondeado)	480 MCM
	Rango de operaciones después de 100 años	El. 210 – El. 145
	Área de superficie	13.9 km ²
	Nivel de mínimo de agua	El. 155 msl
	Volumen	80 MCM
	Área de superficie	3.8 km ²
	Almacenaje activo	450 MCM
	Almacenaje de sedimento (muerto)	80 MCM
<i>Represa</i>		



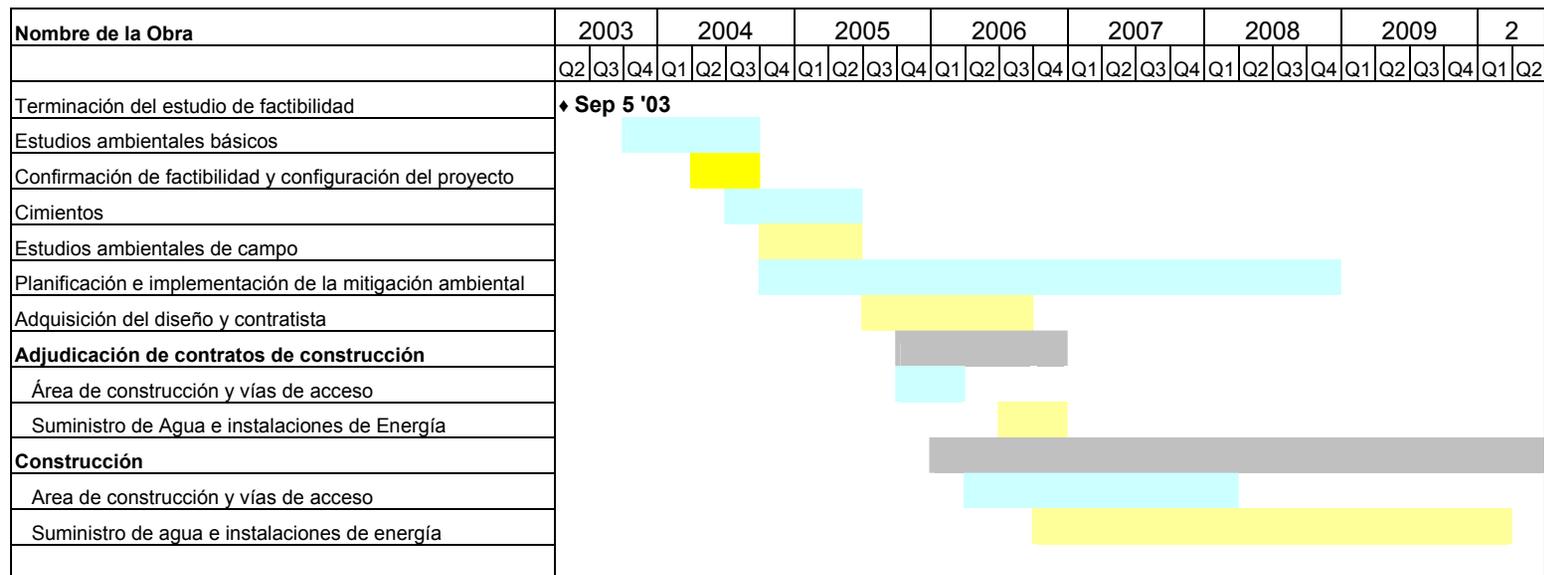
		Tipo de represa	Hormigón Compactado por Aplanadora
		Elevación de la cima	216 m
		Longitud de la cima	915 m
		Elevación del lecho del río	86 m
		Elevación de los cimientos	76 m
		Altura hidráulica	130 m
		Altura estructural	140m
		Pendiente aguas arriba y aguas abajo	Vertical, 0.75H:1V
		Volumen del hormigón (redondeado)	1,900,000 m ³
	<i>Vertedero</i>		
		Tipo de vertedero	Cimacio con compuertas
		Compuertas del vertedero	Seis de 12 metros de altura por 8 metros de ancho
		Longitud de la cima del vertedero	63m
		Elevación de la cima del vertedero	El. 198 m
		Diseño de inundación del vertedero	
		Flujo máximo de entrada	9,940 m ³ /s
		Volumen de 3 días	271 MCM
		Flujo máximo de salida	6,300 m ³ /s
		Nivel del embalse sobrecargado	212.9 m del nivel medio del mar
	<i>Desvío durante la construcción</i>		
		Forma de la sección	7 metros por 7 m de alcantarillado de hormigón
		Número de alcantarillas	2
		Longitud	140 m
		Desvío de avenidas (25 años)	2,110 m ³ /s
		Capacidad de descarga	1,430 m ³ /s
		Altura antes del cajón (hidráulico)	3 m
		Altura del cajón principal (hidráulico)	35 m
		Altura del cajón aguas abajo (hidráulico)	5 m
		Volumen de relleno del cajón	98,000 m ³
		Volumen de relleno del terraplén del cajón	5,000 m ³
<i>Instalación de vaciado mínimo</i>		Incluido en las Instalaciones de Energía	

TABLA DE DATOS SIGNIFICANTES, cont.

Instalaciones de Energía			
		Capacidad instalada	56 MW
		Capacidad comprobada	56 MW
		Promedio anual de producción de energía	254 GWh
	<i>Información sobre unidades</i>		
		Cantidad unidades y capacidad	3 -16 MW 1 – 8 MW
		Capacidad del generador	115 metros 105 m
		Velocidad de rotación	450 rpm 600 rpm
		Potencia del generador	17,800 kVA 8,900 kVA
		Frecuencia del generador	60 Hz
		Factor de energía	0.9
	<i>Información Física</i>		
		Tipo de planta de energía	Superficie
		Longitud del túnel de energía	200 m
		Diámetro del túnel de energía	4.2 m
Costo estimado del proyecto			
		Costo de construcción	\$251,000,000
		Costo anual de operación	\$2,320,000
Rendimiento Estimado del Proyecto			



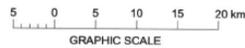
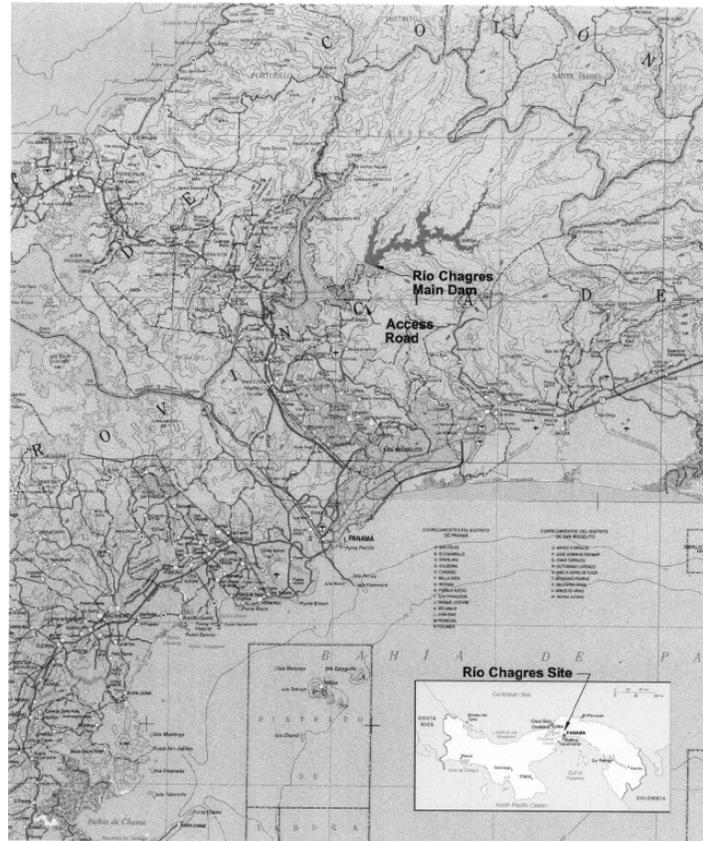
	Confiabilidad Volumétrica	99,6 %
	Rendimiento L/d	5.3 L/d
	Rendimiento metros cúbicos al año	400 MCM/ año



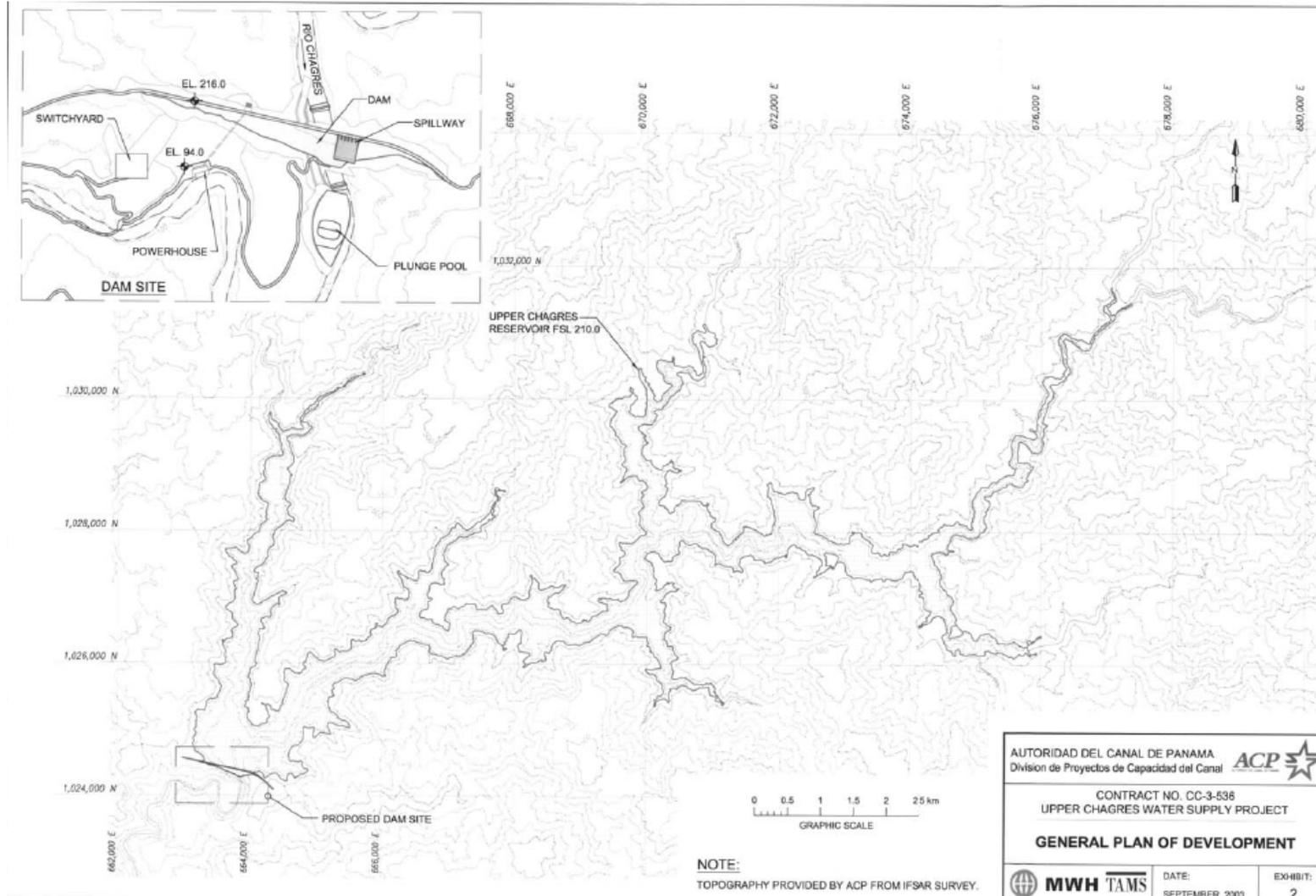
PROGRAMA DE IMPLEMENTACION

Fecha: Septiembre 2003

Figura 4



AUTORIDAD DEL CANAL DE PANAMA Division de Proyectos de Capacidad del Canal		
CONTRACT NO. CC-3-536 UPPER CHAGRES WATER SUPPLY PROJECT		
Location Map		
	DATE: SEPTEMBER, 2003	EXHIBIT: 1





Proyecto del Tercer Juego de Esclusas

Traducción

