

0. RESUMEN EJECUTIVO

0.1 OBJETIVO

El objetivo de La Autoridad del Canal de Panamá (ACP) a través del presente Contrato es realizar los estudios necesarios y preparar los diseños a nivel conceptual del reservorio multipropósito, las estructuras hidráulicas y las instalaciones necesarias para optimizar el potencial hídrico de la cuenca del río Indio, con el fin de suministrar agua adicional al lago Gatún para consumo humano y funcionamiento del Canal.

0.2 MODELACIÓN DEL SISTEMA EN HEC-RESSIM

Con el objetivo de establecer la confiabilidad hídrica que aportaría la entrada en operación del proyecto Río Indio al Canal de Panamá, se desarrollaron dos modelos de recursos hídricos con base en la información de los sistemas suministrada por la ACP y los registros de caudales medios diarios del periodo comprendido entre enero de 1948 y diciembre de 2015. Los modelos fueron calibrados con información suministrada por la ACP y modelos realizados anteriormente por otros consultores.

El primer modelo se elaboró para el sistema actual del Canal de Panamá (Lago Gatún y Lago Alhajuela) con el objetivo de establecer la confiabilidad hídrica actual del sistema y la confiabilidad de calado para atender las demandas de consumo humano, sector productivo (Municipal e Industrial (M&I)), y el funcionamiento del Canal de Panamá (navegación); mientras que el segundo modelo incluyó tanto el sistema del Canal de Panamá, como el sistema río Indio, con el objetivo de definir la confiabilidad hídrica adicional proporcionada por la entrada en operación de dicho sistema, así como la confiabilidad de calado.

Con el segundo modelo se realizaron análisis del nivel de operación del reservorio Río Indio para garantizar los caudales transferibles hacia la cuenca del Canal de Panamá, simulando 3 escenarios (Elevación 80.05 PLD, Elevación 90.05 PLD y Elevación 95.05 PLD).

Los resultados obtenidos permitieron establecer que el reservorio Río Indio con un nivel normal de operación en la elevación 80.05 PLD tendría la capacidad de agregar 862 millones de galones diarios (MGD) adicionales al Canal de Panamá, con elevación 90.05 PLD agregaría 934 MGD y con elevación 95.05 PLD agregaría 976 MGD.

En la Figura 1 se presenta la confiabilidad hídrica alcanzada en cada alternativa para diferentes incrementos en la demanda de agua, donde se observa que todas las alternativas de altura en Río Indio proporcionarán una confiabilidad hídrica mayor a 99.6% (criterio definido por ACP) para una demanda igual a 1.7 veces la demanda de agua del año 2017 (111.71 m³).

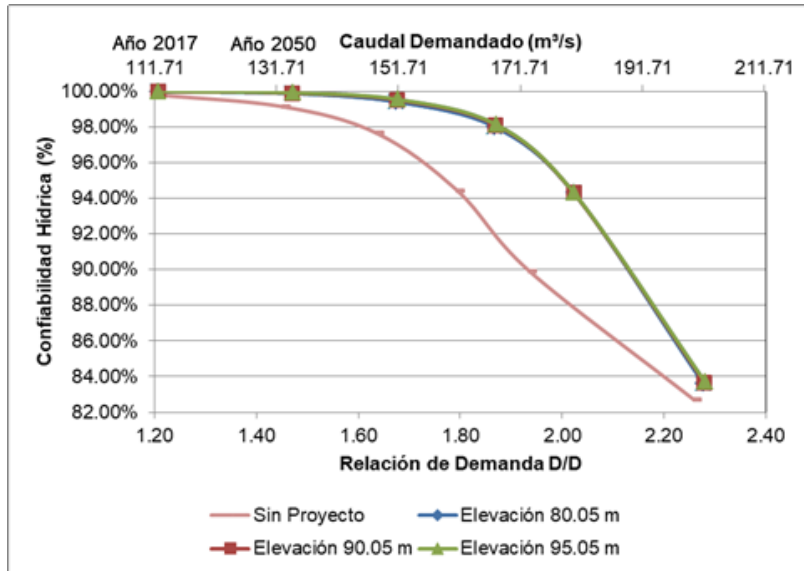


Figura 1. Confiabilidad hídrica de las alternativas de altura de presa en Río Indio

A partir de los resultados expuestos, se obtuvo la confiabilidad por calado para cada una de las tres alturas analizadas (Ver Tabla 1). Donde se observa que todas se encuentran por debajo del criterio de confiabilidad por calado adoptado por ACP (97.5%) un 6.11% en promedio.

Tabla 1. Resultados de Confiabilidad por Calado

Altura	Confiabilidad por Calado (%)
80.05 m	91.10%
90.05 m	91.31%
95.05 m	91.75%

0.3 HIDROLOGÍA

Se realizó la estimación de los caudales medios en el sitio de presa a partir de los registros de la estación Río Indio - Boca de Uracillo, los cuales fueron complementados y extendidos para el periodo 1948 - 2017 a partir de metodologías indirectas y registros históricos de estaciones hidrométricas sobre cuencas adyacentes. Se determinó un caudal medio en el sitio de presa a partir del método de transposición de caudales y se obtuvo un caudal medio de 25.3 m³/s. Se obtuvo un régimen de caudales monomodal con un periodo de caudales altos (superior al promedio) comprendido entre junio y diciembre y un periodo de caudales bajos (inferior al promedio) comprendido entre enero y mayo.

Los caudales máximos para diferentes periodos de retorno (Tr) fueron determinados a partir de las series diarias generadas en el sitio de presa y los caudales máximos instantáneos registrados en la estación Boca de Uracillo, a partir de los cuales se determinaron los caudales correspondientes a cada periodo de retorno. Se determinó un caudal máximo para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, 1000 y 10000 años como se presenta a continuación.

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100	200	500	1000	10000
Q _{max} (m ³ /s)	575.2	679.4	736.5	789.2	819.4	844.4	865.7	889.8	905.4	947.9

La Creciente Máxima Probable (CMP) fue estimada a partir del análisis estadístico de la precipitación en nueve estaciones pluviométricas cercanas al área de estudio siguiendo la metodología recomendada por la Organización Meteorológica Mundial en el reporte WMO-No. 1045 "Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP)" para determinar la Precipitación Máxima Probable, la cual fue determinada en 757.67 mm en una duración de 48 horas. La CMP fue determinada a partir del análisis lluvia escorrentía adoptando el método de transformación de Clark y un caudal base de 50 m³/s, obteniendo como resultado un caudal pico de 4785.3 m³/s en y un volumen de 247 MMC con una duración del evento de 72 horas.

0.4 EVALUACIÓN DE GENERACIÓN

Se evaluó la posible generación de energía en el reservorio multipropósito Río Indio para suplir únicamente al propio proyecto y a las comunidades vecinas.

Se encontró que, una central a pie de presa podría cumplir con el objetivo de generación del proyecto; no obstante, requeriría un ámbito de operación especial en centrales eléctricas, complementario al manejo del reservorio. La evaluación de generación en el túnel trasvase se descarta, ya que estaría limitada a la época seca que es cuando se espera que se realicen trasvases (unos cuatro meses por año). A partir de lo anterior, se decide en consenso con la ACP, suplir las necesidades energéticas de la operación del Reservorio Río Indio y comunidades vecinas a través de una conexión a la red pública de electricidad, más una planta diesel de respaldo para la operación de los equipos en la presa.

0.5 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

0.5.1 Presa

La presa se encuentra localizada en el tramo del Río Indio conocido como Cerro Tres Hermanas; seleccionado por presentar condiciones geomorfológicas y geológicas adecuadas para la fundación de la presa, teniendo además un volumen de presa y diques de cierre inferiores a sitios alternativos evaluados.

A partir de un análisis de alternativas, se concluyó que el tipo de presa más conveniente para el Reservorio Multipropósito Río Indio, corresponde a una presa de enrocado con cara de concreto (CFRD), con un nivel operativo del reservorio en la cota 80.05 m PLD para un volumen de almacenamiento del orden de 1461.5 hm³, definido en función de la capacidad de transferencia requerida para cumplir con la confiabilidad hídrica del sistema (99.6%).

En el estribo izquierdo de la presa se localiza el vertedero superficial y sobre el estribo derecho, las obras subterráneas del túnel de desvío, la descarga de fondo y el conducto del caudal ambiental, por tener esta ladera mayor pendiente y por ende mayor cobertura.

0.5.2 Sistema de desviación

El sistema de desvío garantiza que en todo momento, durante la construcción, haya flujo en el río aguas abajo del sitio de presa. El mismo consta de un túnel en sección de herradura con paredes

curvas y solera recta de 5.0 m de diámetro, una ataguía con cresta en la EL. 25.50 m PLD y una contra ataguía con cresta en la EL. 10.00 m PLD. El dimensionamiento se ha obtenido con base en un análisis de costo mínimo en el cual se consideran los costos relacionados con la construcción del túnel y las ataguías.

El túnel de desvío tiene una longitud de 552.3 m con cota de entrada en la EL 3.65 m PLD y salida en la EL. 3.00 m PLD, con lo que se obtiene una pendiente longitudinal del 0.12%, el revestimiento del túnel será en concreto tanto en paredes como en solera. Adicionalmente se ha dimensionado la sección del túnel para que pueda operar de forma mixta entre condiciones de flujo a presión y superficie libre dependiendo del caudal afluente al sitio de proyecto.

La elevación de la cresta de la ataguía se ha dimensionado para un período de retorno de 50 años, sin embargo, el borde libre de la misma puede aprovecharse para transitar una creciente de hasta 200 años de período de retorno sin comprometer la seguridad de las obras durante la construcción.

0.5.3. Descarga de fondo y conducto de caudal ambiental

La descarga de fondo del proyecto Río Indio consiste en un túnel de baja pendiente y con un diámetro útil de 5.20 m, con control intermedio, por lo que presenta un primer tramo de 340.53 m de longitud con flujo a presión y pendiente longitudinal de 0.10%, y un segundo tramo de 314.48 m de longitud con flujo libre y pendiente longitudinal del 2.0%. El control se realiza por medio de una compuerta radial de 2.70 m de base por 3.75 m de alto, ubicada en una cámara de compuertas subterránea, en donde se da la aireación requerida en la descarga de la compuerta. El ingreso a la cámara de compuertas se realiza a través de una galería de 400 m de longitud.

La estructura de entrada se encuentra emplazada en la cota 17.0 m PLD y consiste en un entramado de concreto de 10.55 m de base por 9.30 m de altura. La descarga termina con un deflector con un radio de curvatura de 25.0 m, con punto de disparo en la cota 11.24 m PLD, restituyendo los caudales en el río Indio aguas abajo de la presa.

Como criterio de diseño para definir la capacidad de la descarga de fondo se emplearon los criterios del USBR (1987) y específicamente en el documento "Criterios y Guías para la evacuación de embalses y el dimensionamiento de descarga de fondo" del USBR (1990). Como resultado se obtuvo que la descarga de fondo tiene una capacidad de descarga que varía entre 110 m³/s y 266 m³/s, cuando el embalse se encuentra en las cotas 31 m PLD y 84 m PLD, respectivamente.

Adicionalmente, en la descarga de fondo se incorpora la captación del caudal ambiental, la cual consiste en una toma multinivel que es una torre inclinada de 48 m de altura en concreto reforzado rectangular, apoyada sobre la ladera derecha del embalse e inclinada 60° respecto a la horizontal, con sección transversal de 7.70 m de ancho por 8.80 m de alto. En el muro superior, la estructura presenta 3 orificios rectangulares de 1.10 x 3.35 m, con cotas 48.0, 64.0 y 74.00 m PLD. El ducto central de la torre tiene una sección transversal de 2.30 m x 2.00 m y se conecta con una galería de 2.30 m de diámetro útil y 28.0 m de longitud, la cual conecta con un pozo de carga de 2.30 m de diámetro y 15.0 m de longitud. Del pozo se conecta una tubería metálica de 1.0 m de diámetro, la cual se adosa en la parte superior del túnel a presión de la descarga de fondo, y con una longitud 130m llega a la cámara de compuerta. En esta última también se ubica la válvula Howell Bunger de 500 mm de diámetro por medio de la cual se controla la descarga del caudal ambiental (3.4 m³/s), en el tramo a flujo libre de la descarga de fondo.

0.5.4. Vertedero

A partir de un análisis de alternativas se concluyó que el tipo de vertedero más conveniente para el Reservoirio Multipropósito Río Indio, corresponde a un vertedero frontal libre, el cual a su vez podría ser una posible fuente de material para los rellenos de la presa, esta dualidad disminuye los impactos ambientales y sociales durante la construcción.

Esta obra estaría compuesta por un canal de aproximación de 194.80 m de longitud, solera en la cota 75.00 m PLD, base constante de 55.00 m y taludes de excavación en ladera de 1.0H:1.0V. A continuación, una estructura de control con cresta de la gola en la cota 80.05 mPLD con tres vanos de funcionamiento libre de 17.0 m de base cada uno, dispuestos por requerimiento estructural para el soporte del puente sobre la cresta del vertedero. Y finalmente un rápido de descarga, con un primer tramo con un ancho constante e igual al ancho libre del vertedero (55.00 m), pendiente longitudinal del 2.00% y una altura de muros de 3.00 m; el primer tramo se empalma con un segundo tramo del rápido de descarga mediante una curva convexa de 50.00 m de radio. El segundo tramo tiene un ancho constante e igual al ancho del primer tramo (55.00 m), pendiente longitudinal del 38.08% y una altura de muros de 3.00 m; el segundo tramo se empalma con el tramo final del rápido de descarga mediante una curva cóncava de 50.00 m de radio. El tramo final tienen un ancho variable, el cual inicial en 55.00 m y converge mediante un ángulo de 5° a un ancho de 14.00 m; esta reducción se desarrolla de manera constante a lo largo de todo el tramo. La altura de muros en el tramo final del rápido de descarga es variable, iniciando en 3.00 m y finalizando en 5.00 m. El agua se entrega a partir de un deflector radial con un radio de curvatura de 20.00 m y un ángulo de disparo de 30°.

Este vertedero fue diseñado para la Creciente Máxima Probable (CMP), con un caudal pico de entrada de 4785.3 m³/s, un caudal pico de salida de 901.6 m³/s y un nivel máximo en el reservorio 84.06 mPLD.

0.5.5. Túnel trasvase

A partir de un análisis de alternativas se concluyó que el tipo de túnel más conveniente para la transferencia de caudales entre el Reservoirio Río Indio y el Lago Gatún, corresponde a un túnel con flujo a presión. Dimensionado para la entrega de un caudal de 45.40 m³/s (caudal trasvasado con mayor porcentaje de ocurrencia durante el periodo modelado en HEC-ResSim), y el nivel mínimo de operación del reservorio (40.0 m PLD); lo cual garantiza el criterio de confiabilidad requerido del sistema (99.6%).

El túnel trasvase tiene una longitud total en planta de 8702.92 m, con una cota solera a la entrada en EL. 31.57 m PLD y una cota solera a la salida en la EL. 27.53 m PLD, y pendiente longitudinal de 0.005 m/m. Por requerimientos geotécnicos el túnel trasvase tendrá una sección de excavación en Herradura Paredes Curvas Solera Recta (HPC-SR); con una sección útil en los tramos revestidos en concreto en HPC-SR y en los tramos blindados una sección útil circular. El análisis geotécnico final, establece un total de nueve (9) tramos blindados a lo largo del túnel trasvase con una longitud total de 1443.0 m. A partir de estas condiciones, se establece que los diámetros útiles que cumplen con el requerimiento de diseño del túnel trasvase corresponden a 4.90 m en los tramos revestidos en concreto y a 4.30 m en los tramos blindados.

Al inicio del túnel trasvase se encontraría un pozo de compuertas, compuesto por un par de compuertas planas deslizantes de 3.80 m de base y 4.90 m de alto, cuyo objetivo sería interrumpir el flujo dentro del túnel para eventos de reparaciones o mantenimientos; se disponen de dos compuertas planas para tener redundancia en el sistema. Al final del túnel trasvase se encontraría una cámara de compuertas, compuesta por una compuerta radial de servicio de 3.30 m de base y 3.30 m de alto, cuyo objetivo sería la regulación del caudal trasvasado y una compuerta plana de iguales dimensiones para el mantenimiento de la compuerta radial (compuerta de guarda). El caudal máximo del túnel asociado al nivel normal de operación del reservorio (80.05 PLD), sería de 102.92 m³/s.

0.5.6. Análisis de inundaciones y perfil hidráulico del río

Para establecer el comportamiento hidráulico en el sector comprendido entre el sitio de presa y la desembocadura del río al océano atlántico se ha desarrollado un modelo tridimensional en el software Delft3D, en el cual se consideran adicionalmente efectos de Coriolis, turbulencia, presencia de llanuras de inundación y bifurcaciones en el alineamiento del cauce principal. Dichos ejercicios se han encaminado a cuantificar las propiedades hidrodinámicas del río para diferentes condiciones de caudales extremos, haciendo énfasis en los niveles de inundación.

Se ha utilizado la información de niveles de terreno procedente del levantamiento LiDAR del área de estudio suministrada por ACP que cuenta con información de niveles entre las cotas 0.0 m PLD y 150.0 m PLD, con la que se logra representar adecuadamente la totalidad de las áreas de llanura de inundación y los sectores donde el río presenta estrechamientos.

Las condiciones batimétricas y de alineamiento del río se han capturado por medio de levantamientos ADCP suministrados por ACP a lo largo de la totalidad del área de estudio, lo cual permite una representación detallada de los niveles de fondo del río y de las rondas hídricas del cauce principal.

El área de estudio para el análisis hidrodinámico abarca un área de 147 km² y está enmarcado en las coordenadas 995 000 N – 1 016 000 N y 585 000 E – 592 000 E del origen de coordenadas NAD27 sobre el cauce del río Indio desde el sitio de presa del proyecto hasta la desembocadura del mismo en el océano Atlántico, a lo largo de aproximadamente 31 km de cauce. Se encontró como parte de los estudios que para un tamaño del dominio de cómputo por encima de 3 750 000 celdas no se obtienen diferencias significativas en los resultados obtenidos mientras que los tiempos de cómputo se incrementan exponencialmente.

Los resultados demuestran que las mayores acumulaciones de flujo se observan sobre el eje central del cauce principal, mientras que las zonas de bajas velocidades se focalizan alrededor de las planicies de inundación. Lo anterior demuestra las capacidades de la aproximación de modelación para hacer frente a las dificultades que tradicionalmente se tienen durante la implementación de un modelo unidimensional, en lo correspondiente al manejo de llanuras de inundación, zonas de recirculación, bifurcaciones y contracciones abruptas en la sección transversal.

0.5.7. Análisis de sedimentación en el embalse

El dominio computacional está enmarcado entre las coordenadas 980 000N - 998 000N y 585 000E - 600 000E referenciadas con respecto al origen UTM/NAD 27. Esta configuración permite representar de manera adecuada el volumen del embalse junto con sus afluentes. La discretización en planta corresponde a un espacio ortogonal de 666 filas y 1008 columnas, con lo que se obtiene un tamaño promedio por elemento de 225 m² correspondientes a una separación media de 15 m. Para la discretización en vertical se empleó una configuración de una única capa cuyo espesor se adaptan de forma dinámica a la profundidad del flujo, para lo cual se ha considerado una aproximación de aguas someras en la modelación del flujo en el vaso del embalse.

Dada las diferencias entre escalas temporales del fenómeno hidrodinámico (días) y el morfodinámico (décadas), resulta necesaria una metodología que permita manejar ambos procesos dentro de un mismo marco temporal, optimizando los requerimientos computacionales. Delft3D emplea un factor que acelera los procesos morfodinámicos con base en suposiciones de linealidad, de tal forma que la escala temporal para la morfometría puede obtenerse a partir de un factor que se aplica sobre la escala de los procesos hidrodinámicos. Se simuló 10 años de fenómeno hidrodinámico (525 600 pasos de tiempo por simulación), que representan un total de 50 años en los procesos morfodinámicos (factor de escala morfodinámica de 5:1).

Las condiciones fijas del modelo están representadas mediante la batimetría del vaso del embalse, la cual ha sido generada con base en información LiDAR. La extensión de dicho volumen de información hace inviable su manipulación dentro del modelo y por tanto se han filtrado para disminuir los tiempos de cómputo sin sacrificar la capacidad para representar de manera acertada la morfología del área de estudio. Por otra parte, las condiciones dinámicas del modelo están dadas por las entradas de caudal y sedimentos en suspensión desde los afluentes al embalse. La distribución de caudales entre ambas fuentes, esta se asignó suponiendo una repartición proporcional al área de drenaje de cada uno de afluentes y aplicando la misma ley de caudales sólidos obtenidos para el sitio de presa.

Los resultados demuestran que las velocidades medias del flujo al interior del embalse se encuentran por debajo de 150 m/día lo cual es consecuente con los valores de profundidad encontrados en el mismo que para la mayoría de los casos superan los 50 m; Adicionalmente se pueden encontrar las mayores concentraciones de flujo en las inmediaciones de los afluentes al embalse y de las salidas de caudal del vaso donde se pueden alcanzar velocidades de hasta 3.0 m/s. Adicionalmente se observa una concentración de flujo en las inmediaciones del cauce original para las condiciones con proyecto, lo cual es concordante con la morfología del vaso del embalse.

Adicionalmente se observa que la agradación del fondo del embalse se concentra en los sectores del cauce original que pasan a formar parte del vaso del embalse donde los valores de agradación alcanzan a ser de hasta 2 metros, mientras que en la mayor parte del embalse la agradación del fondo no supera valores de 0.1 m.

0.5.8. Cambios producidos por el proyecto

La implementación del proyecto multipropósito Río Indio implica la regulación del caudal aguas arriba de la presa y la retención de sedimentos en el reservorio. Para predecir la respuesta del río a este tipo de modificaciones, en su tramo comprendido desde el sitio de presa hasta su desembocadura al mar caribe, se empleó la expresión de la Balanza de Lane Modificada (Klassen, 1993), la cual permite estimar la relación de cambio en la pendiente y profundidad media del cauce debido a la disminución de caudal líquido y caudal sólido.

A partir de los resultados anteriores se concluye que el tramo uno presentará efectos debido a la disminución de caudales líquido y sólido. Si se evalúa la condición de una disminución total del aporte de sedimentos, última columna de datos de la Tabla 95, se observa que se genera una disminución en la pendiente del fondo y también en el ancho hidráulico o activo y un incremento en la profundidad del flujo. De acuerdo con los valores obtenidos del análisis modificado de Lane, las variaciones en ancho, profundidad y sedimentación permitirán continuar la navegación del tramo en el tipo de embarcaciones usualmente utilizadas.

Para el tramo dos, se observa que el cambio en el caudal líquido es menos relevante (de 250 a 233.4 m³/s), y por ser el final de la cuenca, se espera que esta tenga un aporte de sedimentos. En términos generales, se observa una tendencia a la disminución de la pendiente del tramo, un incremento en la profundidad del flujo y una posible permanencia de su ancho hidráulico o activo.

A partir de lo anterior, se debe poner atención al monitoreo del tramo uno una vez esté entre en etapa de operación el proyecto, para evitar que las poblaciones ribereñas tengan una percepción falsa de ganancia de tierras y se generen invasiones del cauce actual.

TABLA DE CARACTERÍSTICAS		
PROYECTO RESERVOIR MULTIPROPÓSITO RÍO INDIO		
MODELACIÓN DEL SISTEMA EN HEC-RESSIM		
Periodo hidrológico evaluado	1948 a 2015	Años
Rendimiento hídrico	862	MGD
Confiabilidad hídrica	99.60	%
Confiabilidad de calado	91.10	%
HIDROLOGÍA		
Área de drenaje de la cuenca	567	km ²
Elevación media de la cuenca	70	msnm
Precipitación media anual en la cuenca	2921.4	mm
Área de drenaje al sitio de presa	381.1	Km ²
Caudal medio multianual en el sitio de presa	25.30	m ³ /s
RESERVOIRIO		
Nivel máximo normal de operación (NMON)	80.05	m PLD
Volumen de almacenamiento al NMON	1461.5	hm ³
Nivel mínimo normal de operación (NMIN)	40.00	m PLD
Volumen de almacenamiento al NMIN	227.9	hm ³
Volumen útil del reservorio	1461.4	hm ³
PRESA		
Tipo de presa	CFRD	-
Nivel de fundación	-9.00	m PLD
Elevación de la corona	84	m PLD
Elevación de la cresta del muro parapeto (sin camber)	85.5	m PLD
Volumen de rellenos	4 540,000	m ³
Talud aguas arriba	1.50H : 1.0V	-
Talud aguas abajo	1.60H : 1.0V	-
SISTEMA DE DESVIACIÓN		
Sección del túnel	HPC-SR*	-
Diámetro de excavación	5.70	m
Diámetro útil	5.00	m

TABLA DE CARACTERÍSTICAS		
PROYECTO RESERVORIO MULTIPROPÓSITO RÍO INDIO		
Longitud	552.3	m
Creciente de diseño	TR 50	Años
Caudal pico de entrada	819.4	m ³ /s
Caudal pico de salida	183.72	m ³ /s
Elevación de la corona de la ataguía	25.50	m PLD
Elevación de la corona de la contra ataguía	10.00	m PLD
DESCARGA DE FONDO		
Sección del túnel	HPC-SR*	-
Diámetros de excavación	6.00, 7.50, 6.10	m
Diámetro útil	5.20	m
Longitud tramo a presión	340.53	m
Longitud tramo a flujo libre	314.48	m
Dimensiones de la compuerta de control	2.7 x 3.75	m
Capacidad de descarga para una EL. 84.0 m PLD	266	m ³ /s
Capacidad de descarga para una EL. 31.0 m PLD	110	m ³ /s
CONDUCTO DEL CAUDAL AMBIENTAL		
Cotas de los orificios de captación	48.0, 64.0 y 74.00	m PLD
Dimensiones de los orificios de captación	1.10 x 3.35	m PLD
Diámetro útil del túnel conductor	2.30	m
Diámetro útil de la tubería metálica	1.0	m
Diámetro de la válvula Howell Bungler	500	mm
Caudal ambiental	3.4	m ³ /s
VERTEDERO		
Tipo de vertedero	Frontal libre	
Elevación de la cresta de la estructura de control	80.05	m PLD
Ancho libre del vertedero	55.00	m PLD
Creciente de diseño	CMP	
Caudal pico de entrada	4785.3	m ³ /s
Caudal pico de salida	901.6	m ³ /s
Nivel máximo en el reservorio	84.06	m PLD

TABLA DE CARACTERÍSTICAS		
PROYECTO RESERVORIO MULTIPROPÓSITO RÍO INDIO		
TÚNEL TRASVASE		
Sección del túnel	HPC-SR*	
Diámetro de excavación	5.50	m
Diámetro útil tramo revestido en concreto	4.90	m
Diámetro útil tramo blindado	4.30	m
Longitud tramo revestido en concreto	7259.92	m
Longitud tramo blindado	1443	m
Cota solera a la entrada	31.58	m PLD
Cota solera a la salida	27.53	m PLD
Dimensiones de la compuerta de control	3.30 x 3.30	m
Capacidad de descarga para una EL. 80.05 m PLD	102.92	m ³ /s
Capacidad de descarga para una EL. 40.00 m PLD	45.40	m ³ /s