

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Revisión	Fecha	Sección modificada	Observaciones
0	22-03-2019	-	Versión original
A	12-07-2019	-	Atención comentarios

REVISIÓN Y APROBACIÓN

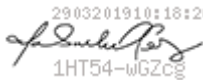


Preparó:  <small>2903201910:18:21 1HT54-WGZCg</small> M. Pérez 22-03-2019	Revisó:  <small>2903201910:15:15 1HT54-WGZCg</small> A. Marulanda 22-03-2019	Aprobó:  <small>2903201910:16:11 1HT54-WGZCg</small> A. Marulanda 22-03-2019
VoBo. Ingeniero Ejecutor	VoBo. Director División Gerencia de Proyectos	VoBo. Director de Proyecto

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	3
2.1. REVISIÓN ESTUDIO DE FACTIBILIDAD MWH	3
2.2. REPORTE INTERMEDIO DE DISEÑO CONCEPTUAL	4
2.2.1. Selección Tipo de Presa	4
2.2.1.1. Consideraciones Socio Ambientales Selección tipo de presa	5
2.2.2. Selección Nivel Operativo	6
2.2.2.1. Consideraciones Socio ambiental selección nivel operativo reservorio	6
2.3. SELECCIÓN ALTERNATIVA DE PRESA Y NIVEL OPERATIVO	6
2.4. MEMORANDOS DE DISEÑO	7
2.4.1. Descarga de Fondo	7
2.4.2. Túnel de Desvío	7
2.4.3. Optimización del Vertedero	7
2.4.4. Modelación Numérica	7
3. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS	8
3.1. Reservorio	8
3.2. Desvío y Descarga de Fondo	8
3.3. Ataguías	9
3.4. Presa Principal	9
3.5. Vertedero	9
3.6. Presas auxiliares de cierre	10
3.7. Túnel de Traslase	10
3.8. Fuentes de Materiales y zonas de depósito	11
3.9. Vías de acceso	11
4. CONSIDERACIONES DE ASPECTOS SOCIALES Y AMBIENTALES	13
4.1. USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES	13
4.2. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	13
4.3. DESASTRES NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO	14
4.4. CONSERVACIÓN AMBIENTAL	14

1. INTRODUCCIÓN

La República de Panamá aprobó en agosto de 2016, mediante resolución No. 114, el "Plan Nacional de Seguridad Hídrica (PNSH): Agua Para Todos 2015-2050". Este plan tiene como objetivo garantizar el acceso de agua a toda la población con la calidad y cantidad apropiadas, considerando la protección de los recursos hídricos y el cambio climático.

Para llevar a cabo estos estudios, el Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE) firmó varios contratos con la Autoridad Canal Panamá (ACP), entre los cuales se incluye el diseño conceptual de un reservorio multipropósito en la cuenca del río Indio y proyectos complementarios para el manejo de la cuenca. El 5 de septiembre de 2017, la ACP mediante contrato de consultoría No. SAA 390197, adjudicó a la Empresa INGETEC S.A el contrato titulado "Studies and Conceptual Design for Indio River Multipurpose Reservoir".

El alcance del contrato incluye los diseños conceptuales del reservorio multipropósito, obras anexas y túnel de transvase que conduce caudal desde la cuenca de Río Indio hacia la cuenca del Lago Gatún. Lo anterior, en conjunto con la evaluación de proyectos complementarios para el manejo cuenca en mención que viene adelantando la Autoridad del Canal de Panamá con diversos consultores.

De acuerdo con los términos de referencia numeral 1.3.9 sección 01 31 19, se presenta para revisión y aprobación de la ACP el Reporte de Diseño Conceptual del Reservorio Multipropósito Río Indio, en el cual se desarrollan los diseños conceptuales de las obras principales del proyecto, y la estimación de los costos y presupuestos correspondientes.

2. ANTECEDENTES

2.1. REVISIÓN ESTUDIO DE FACTIBILIDAD MWH

En cumplimiento con los Términos de Referencia sección 01 31 19 numeral 1.3.1.1, INGETEC presentó el Reporte de Revisión del Estudio de Factibilidad elaborado por MWH (2003). En este documento se presentaron las validaciones y conclusiones indicadas a continuación:

- **Sitio de Presa.** De acuerdo con el Reporte de Factibilidad desarrollado por MWH, el sitio de presa óptimo corresponde al recomendado en la etapa de reconocimiento por parte de US Army Corps Of Engineers (1999). Este punto localizado en el Cerro Tres Hermanas presenta condiciones geomorfológicas adecuadas para la fundación de la presa y volúmenes de presa y diques de cierre inferiores a sitios alternativos evaluados.

Este sitio fue validado por INGETEC mediante un análisis comparativo con un sitio de presa alternativo localizado 750 m aguas abajo del sitio propuesto por MWH. Se identificó que en el punto alternativo evaluado, la presa tendría una longitud de cresta 22% mayor y el dique de cierre una altura 54% mayor a la presentada en el sitio propuesto por MWH.

- **Descarga de Fondo.** El diseño de la descarga de fondo propuesto por MWH contempló una regla de desembalse diferente a la establecida por la USBR (1987). De acuerdo con lo anterior y en función del comunicado IACC-SAA-390197-C016, INGETEC replanteó el diseño de esta estructura en función de los criterios y metodología establecida por la USBR (1987).

Teniendo en cuenta que la operación de la descarga de fondo regulará el potencial reservorio, INGETEC recomendó como elemento de regulación una compuerta radial y no plana. Este tipo de compuertas opera mejor en posiciones intermedias, al dirigir la fuerza hidrostática siempre en dirección radial hacia el pivote evitando que se generen momentos que o cierren la compuerta.

Al recomendar el uso de una compuerta radial, se hace necesario la implantación de una cámara de compuertas, lo cual condiciona el uso del túnel de desvío como descarga de fondo, debido a que la construcción del sistema de desvío es crítico en el cronograma de obras y una cámara de compuertas aumentaría sustancialmente su tiempo de construcción. De acuerdo con lo anterior, se sugirió evaluar un esquema de túnel de desvío y descarga de fondo independientes.

- **Vertedero.** La configuración del vertedero propuesto por MWH contempló emplear el material de excavación como material de relleno de la presa. A partir de la visita de campo realizada por INGETEC, se concluyó que el material del estribo derecho en principio no sería apto para los rellenos de la presa y se replanteó la configuración del vertedero con el objeto de minimizar los volúmenes de excavación.
- **Caudal Ambiental.** La configuración propuesta por MWH para la instalación de liberación mínima (de caudal ambiental) no es recomendable para presas con cuerpos de materiales sueltos, teniendo en cuenta que esta configuración está interviniendo el elemento impermeable de la presa (la cara de concreto), facilitando que la diferencia de esfuerzos en la estructura cree líneas de flujo preferenciales a través del cuerpo de la presa. De acuerdo con lo anterior, INGETEC recomendó evaluar un esquema del conducto ambiental independiente del cuerpo de la presa, lo cual brinda mayor seguridad y facilita las labores de operación de los elementos mecánicos.

2.2. REPORTE INTERMEDIO DE DISEÑO CONCEPTUAL

En cumplimiento con los Términos de Referencia sección 01 31 19 numeral 1.3.8, INGETEC presentó el Reporte Intermedio de Diseño Conceptual. En este documento se incluyó la metodología de trabajo, revisión de la información disponible, criterios de diseño y cálculos de diseño geotécnico, hidráulico, estructural, mecánico, eléctrico y vial a implementar en desarrollo del Diseño Conceptual.

Igualmente se realizó un análisis de alternativas de tipo de presa y nivel operativo del potencial reservorio, con el objetivo de establecer los criterios necesarios para la selección de la alternativa a diseñar a nivel conceptual.

Para efectos de comparación entre alternativas, se ponderó la variable ambiental y social relacionada a las alternativas que implicaran menores volúmenes de movimiento de tierra, uso de zonas de préstamos y menores afectaciones de predios en general.

2.2.1. Selección Tipo de Presa

Se consideraron tres tipos de presa:

- Presa de enrocado con cara de concreto (CFRD)
- Presa de concreto compactado con rodillo (RCC)
- Presa de tierras zonificadas

El análisis de las alternativas se realizó a partir del pre dimensionamiento de cada uno de los tipos de presas y obras anexas, lo cual permitió definir las cantidades, presupuestos y tiempos de construcción aproximados. A partir de la información derivada de este análisis, se concluyó que el tipo de presa más conveniente sería de enrocado con cara de concreto (CFRD), teniendo en cuenta los aspectos indicados a continuación:

- Una presa de concreto compactado con rodillo (RCC), presenta un costo directo de obras civiles (368.5 MUSD), del orden de dos veces el costo de las alternativas de presas CFRD y tierra zonificada (173 MUSD).
- El tiempo de construcción de las obras y la necesidad de mayores áreas de préstamos desfavorece a la presa de tierra zonificada, ya que su tiempo de construcción (estimado en 49.6 meses) supera por 3.6 meses el tiempo de construcción del túnel de transferencia, el cual está estimado en 46 meses. Igualmente, el plazo de construcción de esta alternativa es 14.3 meses mayor que la de CFRD. El potencial impacto ambiental y social tiende a ser mayor por la necesidad de conseguir zonas de préstamos de áridos.
- El tiempo de construcción de las obras favorece a la presa de enrocado con cara de concreto (CFRD), ya que su tiempo de construcción (estimado en 35.3 meses) es inferior al tiempo de construcción estimado para el túnel de transferencia.
- El riesgo asociado a la disponibilidad del material de relleno de la presa en la zona, limita a la presa de tierra zonificada, teniendo en cuenta que su volumen (11.2 millones de metros cúbicos) es aproximadamente tres veces mayor al volumen de la presa de enrocado con cara de concreto (3.2 millones de metros cúbicos). El impacto ambiental y social se incrementa bajo este escenario.

A partir de lo anterior, se realizó el análisis de alternativas del nivel operativo del Potencial Reservorio Multipropósito Río Indio con una presa de enrocado con cara de concreto (CFRD), posicionando en el estribo izquierdo de la presa 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.

2.2.1.1. Consideraciones Socio Ambientales Selección tipo de presa

a) Volumen de Presa

Desde el punto de vista socio-ambiental aumentos en el volumen de presa representan impactos socio-ambientales considerables, incluyendo el aumento del número de acarreo, mayores afectaciones a fuentes de materiales y en general tiempos de construcción superiores.

El aumento en el número de acarreo genera incrementos en la emisión de gases y en la generación de material particulado principalmente. Igualmente, mayor tránsito de vehículos pesados genera mayores afectaciones sociales relacionadas al deterioro de la infraestructura vial existente, aumenta el riesgo de accidentes de tránsito e incrementa niveles de ruido.

Así mismo, una explotación más extensiva de canteras y fuentes de materiales implica incrementos en la emisión de gases, en la generación de material particulado, mayores afectaciones a la capa vegetal, desplazamiento de fauna, afectaciones al uso del suelo, alteración de los niveles freáticos y aumenta el riesgo de generación de inestabilidades geológicas. Cabe resaltar que mayores tiempos de construcción son un factor determinante que potencializa todos los impactos socio-ambientales mencionados, y aumentan los riesgos de generación de accidentes laborales.

b) Plantas de Concreto

La construcción y operación de plantas de concreto genera impactos socio-ambientales considerables. La producción de concreto requiere material con características específicas, el cual usualmente requiere ser transportado de canteras a grandes distancias. El proceso de construcción de plantas grandes implica la limpieza de vegetación de grandes áreas, tránsito de vehículos pesados, deterioro de infraestructura vial local e incrementos en la emisión de gases y material particulado.

En función de la cantidad de concreto que se requiera para la construcción de la presa, se define el tamaño de la planta. Adicionalmente, la operación genera impactos socio-ambientales relacionados a la emisión de gases y material particulado generados en el proceso de producción. Igualmente, la generación de efluentes tóxicos representa un riesgo ambiental latente en los procesos de producción de concreto.

c) Localización fuentes de materiales

El aprovechamiento local de fuentes de materiales contribuye sustancialmente a reducir el impacto socio-ambiental en la construcción del potencial reservorio. La implementación de fuentes de materiales en localizaciones cercanas o la implementación de material de excavación de obras anexas como fuente de material, representaría una clara ventaja socio-ambiental, teniendo en cuenta que la disminución de la distancia entre el sitio de obra y las fuentes de materiales reduciría la longitud de los acarreo, la afectación a la infraestructura vial del área de influencia, la afectación de predios adicionales y la afectación de vegetación diferente a la impactada directamente por la construcción de las obras.

d) Muro parapeto

La implementación de un muro parapeto permite aumentar la altura de la presa y disminuir el volumen de presa, reduciendo los impactos socio-ambientales indicados en el numeral 1.5.1.1. Esta estructura fue considerada únicamente para el esquema de presa tipo CFRD, teniendo en cuenta que porcentualmente representa una disminución en el volumen de presa considerable, lo cual no se evidenció en los demás tipos de presa evaluados (RCC y Tierra Zonificada).

2.2.2. Selección Nivel Operativo

Una vez definido el tipo de presa, se evaluaron las alternativas del Nivel Máximo de Operación Normal (NMON) del Potencial Reservorio Multipropósito Río Indio, en función de la capacidad de transferencia requerida para cumplir con la confiabilidad hídrica del sistema (99.6%). Los niveles de operación evaluados, corresponden a los establecidos por los términos de referencia en la sección 01 35 13 numeral 1.6.1:

- 80.05 m PLD
- 90.05 m PLD
- 95.05 m PLD

El análisis para la selección del nivel operativo partió de una alternativa base, correspondiente a la alternativa seleccionada por MWH en la etapa de factibilidad, (NMON de 80.05 m PLD). Las dos alternativas restantes (90.05 y 95.05 m PLD) se desarrollaron a partir del pre dimensionamiento de la presa y obras anexas asociadas a cada nivel de operación, con el fin de definir las cantidades, presupuestos y tiempos de construcción aproximados.

La evaluación de alternativas se desarrolló en función de consideraciones ambientales y sociales, costos directos de las obras o costos de inversión del proyecto, y de los ingresos generados en valor presente por los usos del agua de Río Indio en el lago Gatún.

De esta evaluación se concluyó que el Nivel Máximo de Operación Normal más conveniente para el reservorio multipropósito Río indio entre las tres alternativas evaluadas (80.05, 90.05, 95.05 m PLD) es 80.05 m PLD, teniendo en cuenta que los costos de obras asociados a las alternativas de 90.05 y 95.05 m PLD presentan un cambio porcentual de 129% y 148% respectivamente respecto a la alternativa más económica (80.05 m PLD), y no generan beneficios adicionales que compensen este aumento.

De acuerdo con lo anterior, se INGETEC recomendó ejecutar el diseño conceptual con una presa de enrocado con cara de concreto (CFRD) y Nivel Máximo de Operación Normal del reservorio en la cota 80.05 m PLD.

2.2.2.1. Consideraciones Socio ambiental selección nivel operativo reservorio

Uno de los criterios de mayor relevancia empleados para la selección del nivel operativo del reservorio fue el socio ambiental toda vez que a mayor nivel operativo la afectación tanto a los aspectos ambientales como sociales es mayor.

El Nivel Máximo de Operación de 80.05 m PLD corresponde a la alternativa con la huella de inundación menor entre las alternativas evaluadas, lo cual reduce la afectación al uso del suelo, la afectación a flora y fauna y en general el impacto socio-ambiental de la construcción del potencial reservorio. Estas condiciones hacen que esta alternativa sea la más conveniente desde un punto de vista socio-ambiental.

2.3. SELECCIÓN ALTERNATIVA DE PRESA Y NIVEL OPERATIVO

Por medio de comunicación IACC-SAA-390197-C016 del 23 de agosto de 2018, ACP seleccionó el sitio de presa, tipo de presa y nivel operativo recomendado por INGETEC en el Reporte Intermedio de Diseño Conceptual. Igualmente, definió los criterios y consideraciones a implementar en el diseño de la descarga de fondo, túnel de transferencia y la infraestructura requerida para cubrir las necesidades energéticas del estudio.

2.4. MEMORANDOS DE DISEÑO

Por medio de los comunicados INDIO-ING-0031 del 17 de octubre de 2018 e INDIO-ING-034 del 12 de diciembre de 2018, INGETEC envió para revisión y comentarios cuatro memorandos relacionados a los diseños de la descarga de fondo, túnel de desvío, optimización del vertedero y modelación numérica. Los memorandos indicados incluyeron el contenido presentado a continuación:

2.4.1. Descarga de Fondo

En el memorando de diseño de la descarga de fondo se evaluó la implementación de la metodología de la USBR (1990), para la cual el caudal de diseño determinado para la descarga de fondo es de 110 m³/s al nivel de captación (31 mPLD). Para este caudal, se estimó diseñar una descarga de fondo con un diámetro del orden de 5.20 m y una capacidad máxima de 265 m³/s, valores que consideran las características específicas del embalse multipropósito y evita causar afectaciones mayores a las poblaciones aguas abajo por los caudales descargados.

2.4.2. Túnel de Desvío

En este memorando de diseño se evaluó el diámetro útil del túnel de desvío. Para diámetros inferiores a 5.0 m no se obtuvieron reducciones representativas en el costo, sin embargo, se evidenció que esta reducción implica aumentos de hasta un 20% en la cantidad de obra requerida para el sistema de ataguías. Lo anterior, implica mayores tiempos de construcción que pueden comprometer la entrada en operación del sistema de desviación.

Respecto a los porcentajes de amortiguación de caudal entre las alternativas de 5.0 m y 4.3 m de diámetro (75.2% contra 81.3% respectivamente), se observó que la diferencia entre los caudales de salida corresponde a 6.1%, por lo cual INGETEC recomendó implementar un diámetro útil del desvío de 5.0m con altura cresta de la ataguía fijada en la cota 24.4 mPLD.

2.4.3. Optimización del Vertedero

De los análisis de optimización del vertedero se concluyó que el tipo de vertedero más conveniente para el Potencial Reservoirio Multipropósito Río Indio corresponde a un vertedero lateral ubicado en el estribo izquierdo de la presa. Lo anterior teniendo en cuenta que este tipo de estructura no presenta un riesgo asociado a la operación y/o falla de los elementos mecánicos de control (existente en el vertedero con compuertas) y simplifica la operación y mantenimiento del proyecto.



Respecto a la alternativa de tipo de vertedero, la ACP seleccionó basado en los análisis multicriterios y en general a sus características técnicas, el vertedero frontal para llevar a nivel conceptual.

2.4.4. Modelación Numérica

El memorando relacionado a la modelación numérica de la operación del Canal de Panamá (HEC-ResSIM) y la modelación hidrodinámica del Río Indio entre el sitio potencial de presa y su desembocadura en el Océano Atlántico.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS



El presente capítulo tiene como objetivo hacer una descripción general del esquema diseñado a nivel conceptual por INGETEC para el Reservorio Multipropósito Río Indio.

El esquema Río Indio está conformado por un reservorio multipropósito, una (1) presa principal, tres (3) presas auxiliares, un vertedero de excedencias, obras subterráneas correspondientes a un (1) túnel de desvío y descarga de fondo, un conducto para permitir el flujo continuo del caudal ambiental y un túnel transvase. Adicionalmente, el esquema diseñado contempla elementos auxiliares para el funcionamiento del proyecto correspondientes a fuentes de materiales, vías acceso, red de distribución de energía, etc. El esquema general del proyecto se adjunta al presente volumen como el Plano INDIO-LD-GEN-GNRL-00-001.

A continuación se resaltan las características de mayor relevancia de cada uno de los elementos que conforman el Diseño Conceptual:

3.1. Reservorio

El nivel operativo del reservorio es 80.05 mPLD, el cual fue seleccionado por la ACP teniendo en cuenta que representaba la alternativa más conveniente desde el punto de vista socio ambiental y en función de la capacidad de transferencia requerida para cumplir con la confiabilidad hídrica del sistema (99.6%). De acuerdo con la curva de capacidad del reservorio el volumen para el nivel operación una capacidad del orden de 1,500 hm³.

3.2. Desvío y Descarga de Fondo

El túnel de desvío tiene una longitud de 552.30 m con una sección en herradura paredes curvas y solera recta de diámetro de 5.7 m, el túnel de desvío está completamente revestido y tiene una solera en concreto convencional de toda su longitud. La pendiente del túnel es de 0.12%. Para reducir los tiempos de construcción se contempló la construcción de una ventana de construcción de con una longitud de 39.17 m con una sección de excavación en herradura paredes rectas y solera recta de diámetro de 5.0 m.

El túnel de descarga de fondo tiene una longitud total de 685.90 m, este túnel se divide en varios tramos los cuales se explican a continuación:

- Tramo a presión: Este tramo tiene una longitud de 232.66 m con una sección en herraduras paredes curvas y solera recta con un diámetro de excavación de 6.0 m. Revestido completamente en sección circular.
- Tramo a presión con conducto de caudal ecológico: Este tramo tiene una longitud de 107.29 m, la sección de excavación en herradura paredes curvas con un diámetro de excavación de 6.0 m y un altura de 7.60 m. El conducto del caudal ambiental está localizado en la clave del túnel, el conducto tiene 1.0 m de diámetro y está embebido en el concreto de revestimiento del túnel.
- Tramo blindado: Este tramo tiene una longitud de 10.0 m, con una sección de excavación en herradura paredes curvas con un diámetro de excavación de 6.6 m y una altura de 7.8 m. El conducto del caudal ambiental está localizado en la clave del túnel, el conducto tiene 1.0 m de diámetro y está embebido en el concreto de revestimiento del túnel.
- Cámara de compuertas: Sector de la cámara de compuertas, esta cámara tiene una longitud de 21.0 m con una sección tipo baúl con una altura de 21.1 m y un ancho de 10.1 m.

- Tramo a flujo libre: Este tramo tiene una longitud de 314.95 m con una sección en herraduras paredes curvas y solera recta con un diámetro de excavación de 6.1 m. Revestido completamente en sección de herradura paredes curvas y solera recta.

El acceso a la cámara de compuertas se realiza por medio de una galería de acceso de 343.68 m de longitud en una sección en herradura paredes rectas de 5.0 m de diámetro. El acceso se realiza desde la elevación 40.0 y baja hasta la cámara de compuertas con una pendiente de 5.80% hasta la elevación 24.54.

La toma del caudal ambiental se realiza por medio de una estructura de toma multinivel, desde la EL. 40 m PLD. Esta toma se conecta a un túnel de conducción de 24.94 m de longitud con una sección en herradura paredes curvas de diámetro de excavación de 3.0 m, con un revestimiento circular de 2.3 m de diámetro útil. Luego el túnel de conducción se conecta a un pozo de conducción de sección circular con un diámetro de 3.0 m, este pozo tiene una longitud de 13.47 m. Luego el pozo de conducción se conecta al túnel de descarga de fondo en el tramo a presión en la abscisa K0+232.66.

3.3. Ataguías

Para el cierre del río y protección durante la construcción de la presa, se ha previsto un sistema de ataguías térrreas. La preatagüa y atagüa requeridas para el sistema de desvío del Río Indio, se integran en una sola estructura a diferentes niveles. La preatagüa tiene una altura máxima de 4.0 m con cresta en la EL. 10.0 m PLD. El ancho de la cresta es de 5 m y tiene una longitud de 65 m. La atagüa tiene una altura máxima de 19.5m con cresta a la EL. 25.5 m PLD. El ancho de la cresta es de 6 m y tiene una longitud de 250 m con taludes de 2.50H : 1.0V. El volumen total de relleno de la pre-atagüa es de 4 000 m³ y de la atagüa es de 135 000 m³. Es diseño de estas involucró análisis de estabilidad e infiltraciones, a partir del modelo geotécnico del sitio de presa principal. Si bien, los análisis de flujo sugieren que no es necesario incorporar elementos para la impermeabilización de la fundación de la atagüa, se recomienda dejar una provisión para la construcción de una pantalla cortaflujo bajo la fundación de la atagüa.

En el extremo de aguas abajo del sitio de presa se ha previsto la construcción de una contra-atagüa, con cresta a la EL. 10 m PLD, ancho de cresta de 10 m y altura menor a 5 m, cuyos rellenos se proyectan con taludes 2.5H : 1.0 V. Por el eje de la contra-atagüa se prevé la construcción de una pantalla cortaflujo para facilitar la medición de caudales de infiltración a través de la presa mediante un vertedero de aforos propuesto sobre cresta de la contra-atagüa.

3.4. Presa Principal

La presa principal propuesta sobre el río Indio es del tipo en enrocado con cara de concreto (CFRD, por sus siglas en inglés), tiene 94 m de altura medida desde el nivel de fundación en la EL. -9 mPLD hasta el nivel de la cresta del muro parapeto en la elevación 85 m PLD, el cual se cimentará sobre los rellenos a nivel de la EL. 81 mPLD. El ancho de la cresta a nivel del muro parapeto es de 8 m y tiene una longitud de 840 m. El volumen total de relleno de la presa es de 4'540,000 m³ con taludes de 1.50H : 1.0V en la cara de aguas arriba y 1.60H : 1.0V en la cara de aguas abajo. El área de la cara de concreto es de 84,800 m² y el volumen de excavación en banco para la fundación del plinto y rellenos de la presa es de aproximadamente 2,214,650 m³.

3.5. Vertedero

Vertedero tipo frontal libre, está compuesto por un canal de aproximación excavado en la ladera con base constante de 55.0 m y solera en la cota 75.0 m PLD; a continuación la estructura de control, con tres vanos de funcionamiento libre de 17.0 m de ancho, dispuestos por requerimiento

estructural para el soporte del puente sobre la cresta del vertedero. La cresta de la gola se posicionada en la elevación 80.05 m PLD.

Después de la estructura de control, se encuentra el primer tramo del rápido de descarga de 2.0% de pendiente longitudinal, unido a la estructura de control mediante una curva cóncava de 14.5 m de radio. El primer tramo se une con el segundo tramo del rápido de descarga de 37% de pendiente longitudinal, mediante una curva convexa de 50.0 m de radio. Finalmente, el segundo tramo se une con el tramo final del rápido de 8.5% de pendiente longitudinal, mediante una curva cóncava de 50 m de radio. Los dos primeros tramos del rápido de descarga tienen una base constante e igual a 55.0 m con altura de muros de 3.0 m; y el tramo final tiene una base variable, la cual inicia en 55.0 m y mediante un ángulo de 5.0° termina en un ancho de 14.0 m, con altura de muros de 5.0 m.

3.6. Presas auxiliares de cierre

Se requieren tres presas auxiliares para el cierre del embalse al nivel de la cresta de la presa principal. Dichas presas de cierre se plantearon como presas térreas del tipo homogénea con drenaje chimenea y horizontal en el espaldón de aguas abajo, y su altura máxima es del orden de 50, 30 y 20 m.

La construcción de las presas de cierre 1, 2 y 3 se plantea realizar con material de suelo residual proveniente de las excavaciones del vertedero y los estribos de la presa principal, el volumen total requerido para su construcción es de 2.17 millones de m³ aproximadamente. El suelo residual encontrado en la zona del vertedero y la presa principal es limo arcilloso de alta plasticidad, permeabilidad baja a muy baja, conveniente para la construcción de una presa homogénea.

Se proponen presas auxiliares de tipo homogéneo con material impermeable, filtro chimenea y dren horizontal. El talud aguas arriba será protegido con Rip Rap y el de aguas abajo con empradización. Adicionalmente, como tratamiento de fundación de las presas, las mismas estarán provistas de una trinchera cortafujo a lo largo del eje de presa y una cortina de inyecciones bajo esta. Las zonas que componen el relleno de las presas son: Zona 1 material impermeable, Zona 2 dren, Zona 2A filtro, Zona 3 Rip Rap y Zona 3A de transición entre la zona 3 y 1.

La presa de cierre 1 quedará fundada sobre suelo residual (Sr + Qc) de 7 a 11 m de profundidad, material clasificado como limo de alta y baja plasticidad (MH-ML) y de baja permeabilidad. La presa de cierre 2 quedará fundada sobre suelo residual (Sr + Qc) de 3.5 a 13.5 m de espesor, material clasificado como limo de alta plasticidad (MH) y de baja permeabilidad. Finalmente, la presa auxiliar 3 quedará fundada en suelo residual (Sr + Qc) de 4 a 10 m de espesor, material clasificado como arcilla de alta plasticidad (CH) y de baja permeabilidad. Bajo el estrato de suelo residual se encontró roca de la Formación Caimito (To-Cai) conformada por areniscas tobáceas, lodolitas tobáceas intercaladas con conglomerados, tobas, areniscas lodosas y lodolitas, en general, los ensayos de resistencia realizados en muestras de roca recolectadas en las perforaciones de las zonas de las presas de cierre arrojaron valores que indican baja resistencia a la compresión.

3.7. Túnel de Trasvase

El túnel de trasvase tiene una longitud de 8703 m y entrega al lago Gatún. La excavación subterránea de esta obra se ha previsto con el sistema convencional con perforación y voladura.

Para el caso del sistema de perforación y voladura la sección del túnel es en herradura con paredes curvas y solera recta. El diámetro de excavación del túnel de trasvase sería de 5.70 m.

Para este sistema constructivo se han previsto dos ventanas de construcción, una intersecta el túnel de trasvase en el K2+981 y tiene 598 m de longitud y la otra intersecta al túnel en el K5+857 y tiene 358 m de longitud. Las ventanas tendrán una sección en herradura paredes rectas de 5.7 m de diámetro.

Adicionalmente, el túnel de transvase tendrá un pozo de compuertas de 8.30 m de diámetro y 46 m de altura localizado en el K0+095.

3.8. Fuentes de Materiales y zonas de depósito

Se evaluaron potenciales fuentes de materiales para los rellenos de las obras, enrocados y agregados para concretos y asfaltos.

La zona del vertedero consta de rocas de la Formación Caimito, las cuales pueden ser aprovechadas para enrocado y agregados pétreos para las presas y demás obras adyacentes. Dada la cercanía al sitio de presa principal, se ajustó la excavación del vertedero para proporcionar gran parte de los enrocados requeridos para la construcción de la presa principal, y adicionalmente se tiene que el material no aprovechable para la presa principal será utilizado como relleno para las presas auxiliares de cierre. A su vez, las presas auxiliares servirán como zona de depósito para los materiales provenientes de las excavaciones del proyecto, siempre que cumplan con las especificaciones requeridas para sus rellenos.

Además, se consideraron otras zonas como potenciales fuentes de materiales en las cuales se encuentran rocas andesitas porfíricas de la Formación El Valle. Estas zonas están conformadas por los Cerros La Jota, El Duende y La Pedregosa. De estos lugares actualmente se extrae material en el Cerro La Pedregosa y en la cantera El Congo, material que es usado para pavimentos y afirmado de las vías de la zona.

Las condiciones geológicas de los cerros La Jota, El Duende y La Pedregosa son similares, constan de andesitas porfíricas ligeramente alteradas, cubiertas principalmente por un suelo residual limo-arcilloso y depósitos coluviales, los cuales pueden alcanzar en conjunto espesores de 10 m a 15 m.

Parte del alineamiento del túnel de transferencia cruza la parte sur del cerro La Jota y La Pedregosa, por lo que el material extraído producto de la excavación de dicho túnel en estos lugares puede ser usado como agregado pétreo y demás usos similares.

El volumen total de rellenos (enrocamientos y materiales térreos) para las presas y terraplenes de vías que requiere el proyecto es de 7 millones de m³. El volumen total de agregados para concretos requerido es de 237,400 m³. Las zonas de yacimiento constituidas por el vertedero, túneles y canteras adicionales (Cerros La Jota, La Encantada, El Duende y La Pedregosa) suman un total de 10.3 millones de material potencial. Con la sola explotación del vertedero y los túneles, se suplen los 7.24 millones de m³ que requiere el proyecto de rellenos y agregados. Las canteras adicionales (Cerros La Jota, La Encantada, El Duende y La Pedregosa) quedan como fuentes alternas. El volumen potencial de zonas de depósito de materiales estériles del proyecto es de 4.9 millones de m³, de los cuales se prevé utilizar unos 4.6 millones de m³.

3.9. Vías de acceso

Se diseñó a nivel conceptual 39.30 km de vías de acceso (11.07 km de acceso temporal y 28.23 km de acceso permanente), los cuales conducen a las obras principales del estudio y se integran con la infraestructura existente.

Los diseños viales del estudio se realizaron desde los puntos donde terminan las vías pavimentada, garantizando el ingreso por el norte y por el sur, lo que aumenta la capacidad de conexión del proyecto.

Dentro de los diseños realizados, se incluyen 16.76 km de vías actualmente sin pavimentar para adecuación y ampliación, que actualmente se encuentran en mal estado y que cuentan con un ancho promedio entre 3.0 y 4.0 metros. Adicionalmente, se incluye el diseño de 22.54 km de vías totalmente nuevas.

De los 39.3 km de vías diseñadas, 11.07 km corresponde a vías de acceso temporal para construcción y 28.23 km son vías permanentes de operación.

4. CONSIDERACIONES DE ASPECTOS SOCIALES y AMBIENTALES

En desarrollo del Diseño Conceptual del Reservorio Multipropósito Río Indio se han tenido en cuenta consideraciones ambientales enfocadas a garantizar la sostenibilidad ambiental, social y financiera. Aspectos relacionados al uso eficiente de los recursos, la conservación del medio ambiente, reducción de la contaminación y el manejo de desastres naturales desde el punto de vista ambiental han sido considerados en el planteamiento y diseño de las obras. Es importante resaltar que los aspectos mencionados son considerados dentro del marco de sostenibilidad a lo largo del ciclo de vida un proyecto de infraestructura, desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo BID (Nota Técnica: IDB-TN-01388) y de acuerdo con las Normas de Desempeño Ambiental y Social de la Corporación Financiera Internacional (NORMAS IFC).

4.1. USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES

Para la reducción de la utilización de materiales de construcción que implican la demanda de recursos ambientales, se han implementado los siguientes lineamientos:

- Se realizó una evaluación para la selección del tipo presa donde se analizaron presas en Cara de Concreto (CFRD), Tierra Zonificada (ZED) y Concreto Compactado con Rodillo (CCR). A partir de dicha evaluación se seleccionó la presa tipo CFRD (3.2 Mm³ de relleno) sobre la presa ZED (11.2 Mm³ de relleno), teniendo en cuenta que la presa ZED tiene una demanda de volumen de relleno aproximadamente 3 veces mayor al de la presa CFRD. Igualmente, el riesgo asociado a la disponibilidad del material de relleno en la zona fue un factor significativo en la evaluación realizada.
- Para los rellenos de la presa principal, se utilizará material proveniente de la excavación del vertedero de excesos y del cuenco amortiguador proyectado para el tránsito adecuado de las crecientes, lo cual permite reducir la demanda de materiales.
- Se proyecta que el material de excavación resultante de las vías de acceso sea utilizado en la construcción de las presas auxiliares, lo cual reduce los volúmenes de material excedente.
- Para el diseño de túneles del proyecto se proyectó un alineamiento con la menor longitud y diámetro posibles minimizando los volúmenes de excavación requeridos. Lo anterior cumpliendo con las consideraciones técnicas de estabilidad geotécnica y control hidráulico correspondientes.
- El túnel de desvío implementado durante construcción se proyectó por la margen derecha del río, permitiendo un alineamiento de menor longitud y reduciendo los volúmenes de excavación.
- En función de los tipos de roca por los que atravesarán los túneles, se definieron los tipos de soporte y revestimiento requeridos, minimizando la demanda de concretos y acero.
- Las zonas de depósito de material de excavación no competente se proyectaron dentro del área de inundación del reservorio potencial de Río Indio, reduciendo la demanda de áreas y/o suelos productivos, nativos, de protección o habitados en áreas cercanas al proyecto.

4.2. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Un aspecto ambiental importante durante la construcción del proyecto corresponde a las emisiones de gases por el tránsito de los vehículos y maquinaria implementada. De acuerdo con lo anterior, se han minimizado sus trayectos en el planteamiento de las vías y rutas de acceso, y se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las áreas de campamentos en las que residirá el personal durante construcción se proyectaron próximas a los sitios de obras (aguas abajo del sitio de presa) lo que reduce la distancia a recorrer por las rutas de transporte de personal y por consiguiente la emisión de gases por los vehículos de transporte.
- Los volúmenes de excavación del cuenco amortiguador y del vertedero de excesos serán utilizados para los rellenos de la presa principal. Teniendo en cuenta que estas áreas se localizan el área de presa, las distancias de acarreo de estos materiales y las emisiones asociadas a esta actividad se reducen. Este mismo efecto se tendrá con la reducción de las distancias de acarreo al disponer el material de excavación de las vías para la construcción de las presas auxiliares.
- Las zonas de préstamo de materiales se proyectaron a una distancia máxima de 7.5 km, con el objetivo de reducir distancias de acarreo y las emisiones correspondientes.
- Es importante que el contratista de construcción desarrolle un plan de control de emisión de material particulado en las vías de acceso al proyecto, por medio de hidratación permanente de las mismas.

4.3. DESASTRES NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Es importante resaltar que todas las obras contempladas en el proyecto Río Indio han sido diseñadas bajo normativas nacionales e internacionales y en función de las buenas prácticas ingenieriles. Lo anterior permite minimizar los riesgos de afectación por eventos naturales externos al proyecto. Puntualmente se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- El sistema de desviación durante la construcción de la presa ha sido diseñado para el manejo de crecientes con periodos de retorno acordes con el riesgo admisible durante el periodo de construcción, minimizando la probabilidad de afectar el área de obras y el entorno socio-ambiental.
- En cuanto al riesgo hidrológico, el vertedero de excesos del proyecto se proyectó para que en su etapa de operación el tránsito de la Creciente Máxima Probable no afecte la seguridad de la presa y sin incrementar los efectos de dicha creciente aguas abajo.
- Tanto el embalse como el vertedero de excesos permitirán el control y mitigación de efectos adversos durante crecientes con periodo de retorno bajo o de mayor frecuencia, reduciendo las áreas inundadas, afectaciones a infraestructura de las poblaciones localizadas aguas abajo del sitio de presa.
- En todas las vías de acceso se proyectó el manejo de la escorrentía por las laderas o taludes adenañas, a través de sistemas de drenaje que permitan el tránsito controlado de dicha escorrentía sin afectar las obras viales.
- En cuanto al riesgo geotécnico, para el manejo de las excavaciones del proyecto los taludes de las obras principales de presa, vertedero y obras anexas, se proyectaron en función de un proceso de caracterización y diseño que garantice su estabilidad ante eventos sísmicos, de remoción en masa o eventos de altas precipitaciones.
- De la misma manera estos taludes se proyectan revegetalizados con el objetivo de evitar procesos de erosión por precipitaciones durante la vida útil del proyecto.
- En cuanto al riesgo sísmico, las obras han sido proyectadas para su correcto funcionamiento ante eventos sísmicos, diseñando la presa principal, el vertedero de excesos y obras anexas para el Sismo Máximo Creíble y las obras auxiliares en función del REP 2014.

4.4. CONSERVACIÓN AMBIENTAL

La conservación ambiental comprende el manejo, uso y cuidado responsable de los bienes comunes del territorio. Desde los diseños del proyecto se han tomando en cuenta las siguientes consideraciones relacionadas a este aspecto:

- Para la definición del área a inundar y la altura de presa requerida para el proyecto se realizó un análisis de nivel operativo. Este análisis permitió concluir que la altura de presa de menor altura (con máximo en la cota 80,05 PLD), permite garantizar la transferencia de caudales requerida por el proyecto y permite reducir los volúmenes requeridos para la construcción de la principal y las auxiliares, garantizando el mayor beneficio de caudales y financiero para el proyecto.
- Lo anterior permite también minimizar el impacto del potencial reservorio en suelos productivos, nativos, protección y/o habitados.
- Las vías de acceso se proyectaron maximizando el uso de servidumbres y vías existentes, con el objetivo de reducir los volúmenes de excavación y la afectación a la cobertura vegetal.
- Al proyectar los taludes de las excavaciones revegetalizados, no solo se permite el control de la erosión, sino también la conectividad de las áreas naturales y ecológicas.