

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Revisión	Fecha	Sección modificada	Observaciones
0	28-03-2019	-	Versión original
A	15-07-2019	-	Comentarios del cliente

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Preparó: O. Álvarez / J. Cofles 15-07-2019	Revisó: H. Novoa / D. Vizcaíno 15-07-2019	Revisó: H. Castro 15-07-2019	Aprobó: A. Marulanda 15-07-2019
VoBo.	VoBo.	VoBo.	VoBo. Director de Proyecto

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO	4
2. OBJETIVOS	6
3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO	10
4. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE	8
5. CRITERIOS DE DISEÑO	9
5.1. CRITERIOS DE DISEÑO DE COMPUERTAS Y TABLONES DE CIERRE	9
5.1.1. Criterios generales para diseño de compuertas	9
5.1.1.1. Condiciones de carga	9
5.1.1.1.1. Condición normal de carga	9
5.1.1.1.2. Condiciones especiales de carga	9
5.1.1.1.3. Condiciones excepcionales de carga	9
5.1.1.2. Esfuerzos admisibles	9
5.1.1.3. Códigos y normas aplicables al diseño	10
5.1.2. Compuertas Planas De Ruedas	10
5.1.3. Compuertas radiales	11
5.1.4. Criterios de Diseño de Compuertas Pivotadas	11
5.1.5. Criterios de Diseño de rejas	12
5.2. CRITERIOS DE DISEÑO DE BLINDAJES Y TUBERÍAS DE CARGA	13
5.2.1. Normas Aplicables Para El Diseño	13
5.2.2. Criterios para el Diseño de Blindajes y Tuberías	13
5.2.2.1. Materiales	13
5.2.2.2. Espesor	14
5.2.2.3. Esfuerzos en el material	14
5.2.2.3.1. Esfuerzo circunferencial por presión interna (SH)	14
5.2.2.3.2. Esfuerzo axial SA	14
5.2.2.3.3. Esfuerzo de flexión (SFL)	15
5.2.2.3.4. Esfuerzo equivalente	15
5.2.2.4. Diámetro	15
5.2.2.5. Condiciones de operación	15

5.2.3. Criterios para el Diseño de Blindajes de Sección rectangular con bordes redondeados.	16
5.2.3.1. Análisis de colapso plástico	16
5.2.3.2. Criterio de aceptación	16
5.2.3.3. Materiales	17
5.2.4. Criterios para el Diseño de Blindajes de Sección Rectangular	17
5.2.4.1. Materiales	17
5.2.4.2. Espesor	17
5.2.4.3. Esfuerzos en el material	18
5.2.4.4. Esfuerzo equivalente	19
5.2.4.5. Cálculo de los Rigidizadores	19
5.2.5. Recubrimiento	20
5.3. CRITERIOS DE DISEÑO DE EQUIPOS DE IZAJE	20
5.3.1. CRITERIOS DE DISEÑO GENERALES PARA LOS EQUIPOS DE IZAJE	20
5.3.1.1. Normas aplicables	20
5.3.1.2. Diseño de los componentes estructurales	20
5.3.1.3. Sistemas de protección	21
5.3.1.4. Clasificación para los componentes electromecánicos	21
6. DISEÑO MECÁNICO	22
6.1. TÚNEL DE DESVÍO	22
6.1.1. Compuertas planas de ruedas	22
6.1.2. Blindaje de solera	23
6.2. DESCARGA DE FONDO	23
6.2.1. Compuerta radial de la descarga de fondo	24
6.2.2. Compuerta de guarda	25
6.2.3. Blindaje adyacente a las compuertas de la descarga de fondo	26
6.3. SISTEMA DE DESCARGA DE CAUDAL AMBIENTAL	27
6.3.1. Rejas de la captación	27
6.3.2. Compuertas de toma	28
6.3.3. Tubería de caudal ecológico	29
6.3.4. Pórtico Grúa	30
6.3.5. Válvula de cono fijo Howell Bunger	31
6.3.5.1. Cuerpo	32
6.3.5.2. Obturador	32
6.3.5.3. Sistema de accionamiento	32
6.3.6. Válvula de guarda	32
6.3.6.1. Condiciones de operación	33
6.3.6.2. Eje.	33
6.3.6.3. Sistema de accionamiento para la válvula mariposa, incluido el bypass y la válvula disipadora de energía	33

6.3.6.4. Válvula de aireación	34
6.4. TÚNEL DE TRANSFERENCIA	34
6.4.1. Compuertas planas de ruedas al inicio del túnel	34
6.4.2. Blindaje adyacente a las compuertas de entrada del túnel de transferencia	35
6.4.3. Blindaje del túnel	36
6.4.4. Blindaje adyacente a las compuertas de descarga del túnel de transferencia	36
6.4.5. Compuerta radial	37
6.4.6. Compuerta plana de guarda	38
6.4.7. Compuerta Pivotada	40
7. REFERENCIAS	42
8. ANEXOS	43

1. RESUMEN EJECUTIVO



En el marco del contrato 023-2106 celebrado entre el Ministerio de Ambiente y la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), se contrató a INGETEC para realizar los estudios y el diseño conceptual de un reservorio multipropósito en la cuenca del Río Indio, a través del contrato de consultoría No. SAA 390197, “Studies and Conceptual Design for Indio River Multipurpose Reservoir” del 5 de septiembre del año 2017.

El alcance del contrato incluye los diseños conceptuales del reservorio multipropósito, obras anexas y túnel trasvase 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.

En el marco del presente contrato INGETEC realizó una revisión del Estudio de Factibilidad del Proyecto Río Indio elaborado por MWH en el año 2003 para el proyecto Río Indio. En el documento INDIO-RP-GG-RFAC-001 se presentó el análisis resultante de la revisión de la información disponible. En dicho informe se realizaron recomendaciones con respecto a los equipos mecánicos.

Posteriormente, en las primeras etapas del estudio, INGETEC realizó un análisis de alternativas de tipo de presa y nivel operativo del embalse. Desde el punto de vista de los equipos mecánicos se realizó un predimensionamiento de los mismos con el objeto de estimar el costo de cada alternativa.

En la etapa de diseño, INGETEC llevó a nivel de diseño a nivel conceptual de los equipos de cada una de las obras.

En el siguiente listado se indican los equipos asociados a cada una de las obras, que componen la alternativa seleccionada. Los principales equipos de cada una de las obras se lista a continuación

- Desvío
 - Compuertas planas de cierre
 - Blindaje de la solera de las compuertas
- Descarga de fondo
 - Compuerta radial de servicio
 - Compuerta plana de guarda
 - Blindaje adyacente a las compuertas
- Conducción caudal ambiental
 - Rejas de toma
 - Compuertas planas de rueda
 - Tubería de carga
 - Válvula de cono fijo
 - Válvula mariposa de guarda

- Túnel de transferencia
 - Compuertas planas de ruedas de entrada
 - Compuerta radial de servicio en la descarga
 - Compuerta plana de servicio en la descarga
 - Blindaje de la solera de las compuertas de entrada
 - Blindaje del túnel de transferencia
 - Blindaje adyacente a las compuertas de descarga

Este documento presenta la metodología empleada, los criterios de dimensionamiento y los resultados de los diseños conceptuales de los equipos mecánicos de las diferentes obras.

El dimensionamiento a nivel conceptual de los equipos hidromecánicos, blindajes y tuberías, permitió estimar su costo y elaborar los términos de referencia para el suministro de equipos en un contrato en la modalidad EPC.

Durante el desarrollo de los diseños se determinaron las cargas transmitidas a la obra civil durante operación de los equipos para servir como base del diseño de las Estructuras asociadas. De igual manera, se estimaron las potencias eléctricas de cada uno de los equipos, que fueron utilizadas para el diseño Eléctrico.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de la etapa de diseño conceptual del componente mecánico fueron los siguientes:

- Realizar el dimensionamiento a nivel conceptual de los equipos hidromecánicos, blindajes y tuberías, con el suficiente nivel de detalle para establecer su factibilidad, estimar su costo y elaborar los términos de referencia para el suministro de equipos en un contrato en la modalidad EPC.
- Determinar las cargas transmitidas a la obra civil durante operación de los equipos para servir como base del diseño de las estructuras asociadas.
- Determinar las potencias de los equipos mecánicos para servir como base de los diseños eléctricos.
- Estimar el costo de los equipos para elaborar el presupuesto del proyecto.

3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO

El dimensionamiento a nivel conceptual de las compuertas, tabloneros y rejas se realizó teniendo en cuenta los criterios descritos en la sección 6 - Criterios de diseño con base en las diferentes condiciones de carga se establecieron las dimensiones y espesores de los diferentes componentes de los equipos, buscando no sobrepasar los esfuerzos admisibles establecidos para cada caso. Una vez establecidas estas dimensiones se realizó el estimativo de los pesos y fuerzas de operación.

El dimensionamiento de los blindajes se realizó a partir de la dimensión de las secciones y longitudes indicadas en los esquemas hidráulicos de cada una de los tramos a blindar.

Se calculó el espesor de cada tramo de blindaje teniendo en cuenta el diferencial de presión y los esfuerzos sobre la lámina que conforma el blindaje y el anillo rigidizado, verificando que no sobrepasen el esfuerzo admisible. Posteriormente se incrementó el espesor por corrosión.

Para el dimensionamiento de la tubería se calculó el espesor del material considerando criterios de presión interna, manipulación y transporte, y espesor por corrosión..

Con el espesor obtenido se verificó que los esfuerzos no sobrepasaran el esfuerzo admisible del material.

Adicionalmente se realizó la verificación con elementos finitos para comprobar los cálculos realizados.

En los anexos a este documento se presentan los resultados de las memorias de cálculo de acuerdo a los criterios descritos en la sección 6 - Criterios de diseño.

4. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

El documento INDIO-RP-GG-RFAC-001 incluyó el análisis resultante de la revisión de la información disponible referente a equipos mecánicos.

De acuerdo con lo indicado en este informe, las principales conclusiones de la revisión de los estudios de factibilidad desarrollados por MHW fueron las siguientes:

- Desde el punto de vista de los equipos mecánicos del túnel de desvío / descarga de fondo se recomendó revisar los siguientes puntos:
 - Método de cierre temporal para la construcción del tapón de concreto.
 - Revisar tipo de compuerta de servicio
 - Definir Sistema de izaje de la compuerta de guarda
 - Revisar requerimiento de blindaje en zona de compuertas
- Se recomendó revisar el esquema general de la toma del caudal ecológico, pues el actual presenta inconvenientes constructivos y operativos.
- El arreglo general del túnel de transvase se considera adecuado desde el punto de vista técnico. Sin embargo, se recomendó revisar los siguientes puntos:
 - Considerar compuertas con el plano de sellado aguas abajo
 - Incluir una ranura para compuerta de mantenimiento
 - Revisar requerimiento de blindaje
 - Revisar tipo de compuerta de regulación de caudal en la descarga del túnel
- El tipo de turbina seleccionado para la mini-central del Río Indio se considera adecuado. El dimensionamiento preliminar de la casa de máquinas parece correcto. Se recomendó tener en cuenta los equipos auxiliares mecánicos para el dimensionamiento definitivo de la casa.

El esquema actual del proyecto incorpora las recomendaciones realizadas referente a los equipos mecánicos.

5. CRITERIOS DE DISEÑO

El presente capítulo tiene como objeto presentar los criterios que fueron tenidos en cuenta para el diseño conceptual de los equipos mecánicos que conforman el Estudio de Reservoirio Multipropósito Río Indio.

Los criterios de diseño mecánicos, describen los lineamientos técnicos de ingeniería, buenas prácticas, especificaciones mínimas y normativas requeridas para el apropiado diseño a nivel conceptual de equipos y sistemas.

5.1. CRITERIOS DE DISEÑO DE COMPUERTAS Y TABLONES DE CIERRE

En esta sección se describen los criterios de diseño que se tuvieron en cuenta para el dimensionamiento de compuertas planas, compuertas radiales, tablonés de cierre y demás equipos hidromecánicos.

5.1.1. Criterios generales para diseño de compuertas

5.1.1.1. Condiciones de carga

Las condiciones de carga analizadas para el dimensionamiento de las compuertas se describen a continuación.

5.1.1.1.1. Condición normal de carga

Considera los valores y combinaciones más desfavorables de la carga hidrostática correspondiente al nivel normal de operación del reservorio.

5.1.1.1.2. Condiciones especiales de carga

Considera las cargas que se producen con menor frecuencia, las fuerzas hidrostáticas correspondientes al nivel máximo extraordinario de del reservorio.

5.1.1.1.3. Condiciones excepcionales de carga

Considera cargas que ocurren de manera excepcional tales como los efectos sísmicos.

5.1.1.2. Esfuerzos admisibles

Para el diseño de las compuertas se tomaron los esfuerzos admisibles de trabajo para componentes estructurales consignados en la norma DIN 19704. Los cuales se calcularon de acuerdo con la condición de carga correspondiente, teniendo en cuenta de no exceder los siguientes valores:

Tabla 1. Esfuerzos admisibles para componentes estructurales.

Tipo de esfuerzo	Condición de carga (% Sy*)		
	Normal	Especial	Excepcional
Esfuerzo de compresión y compresión por flexión si se requiere una prueba de estabilidad	60	70	79

Esfuerzo de tensión y de tensión por flexión; esfuerzo de compresión por flexión si no se requiere la prueba de estabilidad	70	79	89
Esfuerzo cortante	35	40	51
Esfuerzo biaxial combinado	79	85	91
Esfuerzo interno biaxial combinado	85	90	91

*S_y: Límite de fluencia del material.

Los esfuerzos de trabajo para elementos mecánicos no excederán los siguientes valores:

Tabla 2. Esfuerzos admisibles para los elementos mecánicos de las compuertas.

Tipo de esfuerzo	Condición de carga (%S _y)		
	Normal	Especial	Excepcional
Esfuerzos principales en tensión	40	50	80
Esfuerzos principales en compresión	40	50	80
Esfuerzo cortante	23	29	46

*S_y: Límite de fluencia del material.

Tabla 3. Deflexión admisible de las compuertas.

Descripción	Unidad	Valor
Deflexión Máxima	-	1/600

5.1.1.3. Códigos y normas aplicables al diseño

Para el diseño de los elementos constitutivos de las compuertas se utilizaron como referencia las siguientes normas:

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (s.f.). NBR 8883 - Cálculo e fabricação de comportas hidráulicas.
- DIN - Deutsches Institut für Normung. (s.f.). DIN 19704 - Hydraulic Steel Structures.
- USACE - ETL 1110 2 584 Design of Hydraulic Steel Structures (U.S. Army Corps of Engineers, 2014).

5.1.2. Compuertas Planas De Ruedas

Las captaciones del túnel de transferencia y el caudal ecológico serán equipadas con compuertas de ruedas, dimensionadas para cada conducción. Las compuertas serán aptas para cerrar bajo su propio peso caso de emergencia, contra el flujo máximo previsto en el conducto.

Las compuertas tendrán los sellos en el lado de aguas abajo de las mismas. Los sellos laterales, superior e inferior serán de goma. Los sellos laterales y superior serán de tipo nota musical con película de teflón en la zona de sellado y el sello inferior tipo plano.

El tablero de cada compuerta será diseñado en acero estructural y se ubicará en el lado de aguas abajo. Se diseñará usando una lámina de acero normalizado y considerando un margen de corrosión de 1 mm por contacto con el agua.

El tablero será rigidizado por medio de vigas horizontales soldadas al mismo, distribuidas a lo alto de este con un espaciamiento a determinar, de acuerdo con la carga sobre su área aferente de manera que se obtengan esfuerzos iguales en la chapa. Se preverán los espacios necesarios para permitir que las partes puedan ser soldadas cómodamente. Estas vigas estarán también ensambladas y soldadas a rigidizadores verticales que serán distribuidos a lo ancho del tablero.

Las compuertas contarán con ruedas en el lado de aguas abajo, posicionadas de manera tal que se garantice la pre-compresión de los sellos y la estanqueidad de la compuerta. De igual manera las compuertas contarán con guías laterales.

5.1.3. Compuertas radiales

Este tipo de compuerta será ser utilizada en la descarga de fondo de la presa y en la descarga del túnel de trasvase.

Las compuertas serán diseñadas para abrir y cerrar por medio de cilindros oleohidráulicos de doble efecto.

Los conductos en la zona de las compuertas serán de geometría rectangular y estarán provistos de blindaje metálico.

Las compuertas radiales permanecerán normalmente cerradas y se podrán abrir en cualquier momento. La operación de la apertura se realizará con desequilibrio de presiones.

El cuerpo de las compuertas radiales será una estructura soldada, constituida por una plancha de remanso (*SkinPlate*), vigas principales, vigas secundarias, vigas porta ruedas, rigidizadores, y brazos.

Las compuertas estarán provistas de ruedas guías laterales montadas sobre un sistema de rodadura flexible con la posibilidad de evitar un trabamiento. El deslizamiento de las ruedas será sobre el contrasello de acero inoxidable. El sistema de sello será lateral e inferior con goma tipo nota musical. En la parte superior de la compuerta se contará con un mecanismo de doble sello, uno adosado al dintel y el otro a la compuerta.

El sistema de operación de cada compuerta considerará una unidad oleohidráulica. Cada unidad oleohidráulica contará con 2 motobombas eléctricas de C.A, una de las cuales será de operación y la otra de respaldo.

5.1.4. Criterios de Diseño de Compuertas Pivotadas

Las compuertas tendrán los sellos en el lado de aguas abajo de las mismas. Los sellos laterales, superior e inferior serán de goma.

El tablero de cada compuerta será diseñado en acero estructural y se ubicará en el lado de aguas abajo. Se diseñará usando una lámina de acero normalizado y considerando un margen de corrosión de 1 mm por contacto con el agua.

El tablero será rigidizado por medio de vigas horizontales soldadas al mismo, distribuidas a lo alto de este con un espaciado a determinar, de acuerdo con la carga sobre su área aferente de manera que se obtengan esfuerzos iguales en la chapa. Se preverán los espacios necesarios para permitir que las partes puedan ser soldadas cómodamente. Estas vigas estarán también ensambladas y soldadas a rigidizadores verticales que serán distribuidos a lo ancho del tablero.

Para el dimensionamiento de los elementos estructurales se tendrán en cuenta las siguientes condiciones de carga:

Tabla 4. Condiciones de carga consideradas

Condición de carga	Descripción
Normal	Considera los valores y combinaciones más desfavorables de la carga hidrostática correspondiente al nivel de la clave del Túnel 1 incrementado un 30% (Ncl1).
Excepcional	Considera el efecto de las fuerzas asociadas al factor debido al sismo.

5.1.5. Criterios de Diseño de rejas

Cada vano de la captación del caudal ecológico estará equipado con rejas independientes, diseñadas para garantizar el paso del caudal de diseño a velocidades de aproximación inferiores a 1,0 m/s.

Las rejas se dispondrán para evitar la entrada de objetos extraños que puedan afectar el funcionamiento de los equipos. El tamaño máximo de partículas que podrán pasar a través de las rejas se estableció en 2" buscando la protección de sean válvulas disipadoras de energía.

Las rejas serán especificadas para ser fabricadas en acero estructural ASTM A-36 y las uniones entre barrotes y los demás elementos estructurales se realizarán mediante soldadura. La estructura de cada reja estará conformada por un arreglo de paneles cuyas dimensiones fueron definidas teniendo en cuenta la facilidad de construcción y montaje de los mismos.

Cada panel de rejas se fijará a la obra civil por medio de pernos atornillados a las platinas que serán previstas en el hormigón de primera etapa. El esquema propuesto permitirá remover los paneles en caso de que se requiera realizar mantenimiento o reemplazarlos.

Para el diseño estructural de los barrotes de las rejas se consideró una presión diferencial por taponamiento correspondiente a 6 mca de acuerdo con las recomendaciones del ASME – *The Guide to Hydropower Mechanical Design – Chapter 6*, y el USBR “*Treatise on Dams*” cap. 13 num. 13.15.A del Bureau of Reclamation de los EUA, para rejas sumergidas con una altura de carga mayor a 6 metros.

Las rejas contarán con rigidizadores horizontales seleccionados para evitar problemas de vibraciones. La frecuencia natural de las secciones libres de los barrotes deberá ser al menos 2.3 veces superior a la frecuencia de excitación del flujo, de acuerdo con las recomendaciones del ASME – *The Guide to Hydropower Mechanical Design – Chapter 6*.

Las deflexiones máximas admisibles no excederán 1/360 de la luz, de acuerdo con la sección 4 “*BEAM AND GIRDER DESIGN*” del libro “*LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN*” del AISC, teniendo en cuenta que los elementos estructurales de las rejas son perfiles metálicos regidos por la anterior norma.

5.2. CRITERIOS DE DISEÑO DE BLINDAJES Y TUBERÍAS DE CARGA

En este capítulo se presentan los criterios utilizados durante el desarrollo de las actividades de diseño de los blindajes de acero para conducción de agua.

Los criterios de diseño presentados se fundamentan en la normatividad internacional aplicable y en las buenas prácticas para el diseño de blindajes.

5.2.1. Normas Aplicables Para El Diseño

Para el diseño se utilizaron las siguientes normas:

- ASCE – American Society of Civil Engineers
- ASME – American Society of Mechanical Engineers
- ASTM – American Society of Testing Materials
- CECT – Comité Européen de la Chaudronnerie et de la Tolerie (European Committee for Boilermaking and Kindred Steel Structures)
- DIN – Deutsches Institut für Normung
- ISO – International Organization for Standardization
- SSPC – Steel Structures Painting Council
- USBR – United States Department of the Interior Bureau of Reclamation
- ASCE – Steel Penstocks
- AISI – Steel Penstocks and Tunnel Liners

5.2.2. Criterios para el Diseño de Blindajes y Tuberías

Los blindajes y tuberías se diseñaron teniendo en cuenta los criterios y las recomendaciones incluidas en la Sección VIII del código ASME. Adicionalmente se utilizaron como referencia manuales de diseño y normas complementarias como el C.E.C.T., el AISI - *Steel Penstocks and Tunnel Liners* y ASCE – *Steel Penstocks*.

5.2.2.1. Materiales

Para efectos de los cálculos se consideró inicialmente un acero tipo ASTM A537 CL1. Es de aclarar que en caso de requerirse se utilizarán otros aceros contemplados bajo las normas AWWA, ASME y

las recomendaciones del documento *Steel Penstock and Tunnel Liners del American Iron and Steel Institute*.

5.2.2.2. Espesor

Para el cálculo del espesor del material de las tuberías se tuvo en cuenta el espesor requerido para soportar la presión interna de la tubería y los siguientes factores:

- Plano topográfico general, con la localización del punto inicial de acople de la tubería a las estaciones de bombeo y punto de entrega a cada tanque.
- Esfuerzo admisible S_{adm} , donde FS es el factor de seguridad y S_y es el esfuerzo de fluencia del material:

$$S_{adm} = FS * S_y = 0,5 * S_y$$

- Se consideró un espesor adicional de 1 mm por corrosión de la tubería.
- Espesor mínimo (t_{tr}) en pulgadas para transporte para tubos con diámetro (D) superior a 51":

$$t_{tr} = \frac{D + 20}{400}$$

- Esfuerzos por el espesor de manejo, donde S es el esfuerzo máximo, R es el radio medio de la tubería (in), t_{mj} el espesor (in) y W el peso unitario del material (lb/in³); se tomará el mayor espesor obtenido entre el espesor de manejo y el espesor de transporte.

$$S = \frac{9R^2W}{t_{mj}}$$

- Verificación por presión externa suponiendo vacío total, utilizando un factor de carga de 1,6 en caso de desocuparse la tubería.

5.2.2.3. Esfuerzos en el material

Se calcularon los siguientes esfuerzos para los materiales de la tubería:

5.2.2.3.1. Esfuerzo circunferencial por presión interna (SH)

$$S_H = \left(\frac{P * D_i}{2 * t} + 0,6P \right) * \frac{1}{E}$$

Donde D_i el diámetro interno de la tubería, t el espesor seleccionado y E la eficiencia de la junta. P debe ser igual a la presión estática máxima que incluye la sobrepresión por golpe de ariete, el cual fue tomado de los resultados de los análisis hidráulicos.

5.2.2.3.2. Esfuerzo axial SA

$$S_A = \frac{F_A}{\pi * t * (D_i + t)}$$

Donde $F_A = F_m + F_{fj} + W_a + F_{fs}$.

- F_m es la fuerza sobre el macho de la junta, donde D_i es el diámetro interno, t el espesor de la tubería y H es la Presión interna

$$F_m = \pi * ((D_i + t) * t) * H$$

- F_{fj} es la fuerza de fricción en la junta, donde H es la presión interna, L es la longitud de la junta y μ es el coeficiente de fricción en la junta.

$$F_{fj} = \pi * (D_i + 2t) * H * L * \mu$$

- W_a es la componente axial del peso de la tubería y el agua y F_{fs} es la fuerza de fricción entre la tubería y la silleta.
- El esfuerzo por efecto de Poisson y los esfuerzos por expansión/contracción por cambios de temperatura se mitigarán con la colocación de juntas de dilatación

5.2.2.3.3. Esfuerzo de flexión (SFL)

$$S_{FL} = \frac{M_B}{S_{xx}} \quad \text{donde } S_{xx} = \frac{\pi * t * (D_i + t) * (D_i^2 + 2 * D_i * t + 2t^2)}{4 * (D_i + 2t)}$$

Donde M_B es el momento ocasionado por el peso de la tubería, agua contenida y cargas externas. viento y S_{xx} . es el momento resistente.

5.2.2.3.4. Esfuerzo equivalente

- Se calculó sobre la base de los esfuerzos circunferenciales y longitudinales críticos mediante el criterio de Hencky - Von Mises, donde S_L es la suma de $S_{FL} + S_A$

$$S_{vm} = \sqrt{S_H^2 + S_L^2 - S_H * S_L}$$

- Se verificó que $S_{vm}/S_{adm} < 1$

5.2.2.4. Diámetro

Los diámetros nominales de la tubería fueron según los análisis hidráulicos y verificando que cada sección de tubería se pueda fabricar con el menor desperdicio de lámina.

5.2.2.5. Condiciones de operación

Blindaje Túnel de transferencia

- Para calcular la presión de diseño se consideró la presión hidrostática del nivel del embalse sobre la cota inferior del blindaje. Esta va variando de acuerdo a la pendiente del blindaje de cada uno de los tramos.
- Se consideró un Golpe de Ariete de 27% para el diseño de la tubería.

El diseño de la tubería incluyó las verificaciones y solicitudes por presión externa. Se evaluó tanto la resistencia como la estabilidad de la tubería embebida. Los resultados de los cálculos de los anillos de refuerzo por presión exterior se presentan en el anexo M2.4.

Tubería de caudal ecológico

- Para calcular la presión de diseño se consideró la presión hidrostática del nivel del embalse sobre la cota inferior de la tubería.
- Se consideró un Golpe de Ariete de 10% para el diseño de la tubería.

5.2.3. Criterios para el Diseño de Blindajes de Sección rectangular con bordes redondeados.

Los blindajes se diseñaron teniendo en cuenta los criterios y las recomendaciones incluidas en el Apéndice 13 de la Sección VIII, División 1 del ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC).

Adicionalmente para la verificación por medio de análisis con elementos finitos se tienen en cuenta los siguientes criterios:

5.2.3.1. Análisis de colapso plástico

Este análisis se enfoca en verificar el criterio de colapso plástico del código ASME Sec VIII Div 2 Parte 5.2. Dentro de los métodos aceptables para la evaluación del criterio de colapso plástico, se opta por la opción no-lineal llamada Método de Análisis Elástico Plástico, ya que ofrece una mejor representación del estado mecánico de la estructura en comparación al Método de Análisis Elástico que suele evaluarse al comparar los esfuerzos con un valor admisible.

La evaluación consiste en evaluar combinaciones de carga, considerando factores de seguridad adecuados para cada combinación. Cuando la evaluación de colapso plástico se realiza con el Método No-Lineal, no se requiere una evaluación adicional de pandeo, ya que este comportamiento está capturado en el modelo no-lineal.

5.2.3.2. Criterio de aceptación

La aceptación de un diseño bajo el criterio de colapso plástico consiste en modelar el material hasta el rango plástico, incluyendo la fluencia y la rotura, y amplificar las cargas según los factores que se listan en la Tabla 5.5. Para los casos de presión interior y exterior, las cargas se amplifican por un factor de 2.4 (ver Tabla 5.5 de código). El diseño es aceptable bajo este criterio si se logra la convergencia bajo las cargas aplicadas.

Cargas

Blindaje	Presión Interior ¹	Presión Exterior	Factor de Amplificación ²
Túnel de Traslase	61 m.c.a.	48 m.c.a.	2.4
Descarga de Fondo	63.4 m.c.a.	50 m.c.a.	2.4
Descarga túnel trasvase	66.7 m.c.a.	14 m.c.a.	2.4

¹ Incluye 27% de golpe de ariete

² Ver código ASME Sec VIII Div 2 Tabla 5.5

Condiciones de frontera

Los modelos consideran los blindajes como estructuras independientes del concreto para estimar la condición en la que el concreto no aporta rigidez al sistema, excepto para el caso de presión exterior, en el que se asume que los anillos de anclaje se encuentran dentro del concreto, sin estar sujetos a éste, de tal manera que pueden deslizarse hacia dentro mas no rotar sobre la soldadura.

5.2.3.3. Materiales

Para efectos de los cálculos se consideró inicialmente un acero tipo ASTM A537 CL1, aunque en caso de requerirse, se estudiará la posibilidad de utilizar otros aceros que estén contemplados bajo las normas AWWA y ASME.

5.2.4. Criterios para el Diseño de Blindajes de Sección Rectangular5.2.4.1. Materiales

Para efectos de los cálculos se consideró inicialmente un acero tipo ASTM A537 CL1, aunque en caso de requerirse, se estudiará la posibilidad de utilizar otros aceros que estén contemplados bajo las normas AWWA, ASME y las recomendaciones del documento *Steel Penstock and Tunnel Liners del American Iron and Steel Institute*.

5.2.4.2. Espesor

Los espesores de lámina de los blindajes se calcularon teniendo en cuenta los criterios y las recomendaciones incluidas en la norma DIN 19704 - Hydraulic steel structures [13]. Para el cálculo se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros principales:

La presión de diseño corresponde a la presión externa desbalanceada, sin tener en cuenta la contribución que ofrece el concreto y la roca.

¹ Incluye 27% de golpe de ariete

² Ver código ASME Sec VIII Div 2 Tabla 5.5

Espesor adicional de 1 mm por concepto de protección contra la corrosión y la abrasión de la lámina de la tubería.

5.2.4.3. Esfuerzos en el material

Los esfuerzos sobre la lámina del blindaje se calcularon con base en lo indicado en la norma DIN 19704, considerando que esta lámina se encuentra apoyada en los cuatro extremos, correspondientes a los rigidizadores transversales y a los apoyos en los extremos, tal como se muestra en la Figura 1 y en la Figura 2.

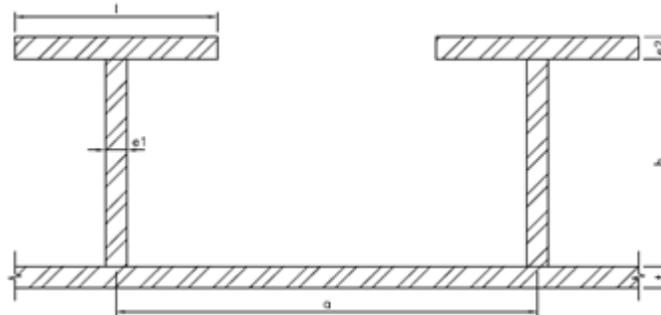


Figura 1. Disposición de refuerzos del blindaje

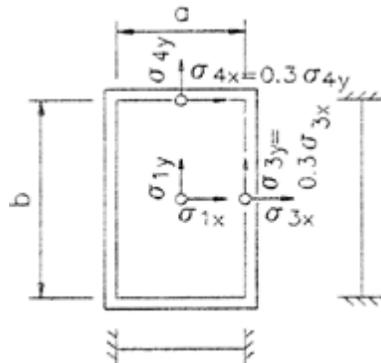


Figura 2. Ubicación de esfuerzos por panel

Esfuerzo en la lámina del blindaje:
$$\sigma = \pm \frac{k}{100} * P * \frac{a^2}{t^2}$$

P	Presión de diseño
a	Separación entre rigidizadores
t	Espesor de lámina del blindaje
k	Factor adimensional para el cálculo de esfuerzos en la lámina

- $k1_x = 25$ Centro de un panel, dirección x
- $k1_y = 7.5$ Centro de un panel, dirección y
- $k3_x = 50$ Centro del lado largo del panel, dirección x

- $k_3y = 34.2$ Centro del lado corto del panel, dirección y

Con estos esfuerzos se calculó el esfuerzo equivalente máximo al que se encuentra sometida la lámina del blindaje, mediante el criterio de Hencky – Von Mises en cada uno de los puntos.

5.2.4.4. Esfuerzo equivalente

- Se calculó sobre la base de los esfuerzos circunferenciales y longitudinales críticos mediante el criterio de Hencky - Von Mises, donde S_L es la suma de $S_{FL}+S_A$

$$S_{vm} = \sqrt{S_x^2 + S_y^2 - S_x * S_y}$$

- Se verificará que $S_{vm}/S_{adm} < 1$

5.2.4.5. Cálculo de los Rigidizadores

El cálculo de la sección transversal y las dimensiones de los rigidizadores del blindaje se realizó considerando que éstos se comportan como una viga con una luz equivalente al ancho del blindaje, empotrada en los extremos, y sometida a una carga distribuida calculada a partir de las presiones de diseño.

Posteriormente se calcularon los esfuerzos de corte y de flexión a los que se encuentra sometida la viga, siendo el esfuerzo combinado de Hencky – Von Mises crítico para obtener las dimensiones de los rigidizadores.

Carga distribuida sobre los rigidizadores: $w = P * a$

Momento flector máximo: $M_{max} = \frac{w * l^2}{12}$

Esfuerzo flector sobre la viga: $\sigma = \frac{M_{max}}{W}$

Esfuerzo cortante máximo: $\tau = \frac{V}{A_s}$

Esfuerzo combinado de Hencky Von Mises: $\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_B^2 + 3 * \tau^2}$

P	Presión de diseño
a	Separación entre rigidizadores
l	Longitud de la viga
W_z	Momento resistente de la sección transversal

A_s

Área del alma de la viga

5.2.5. Recubrimiento

El tratamiento de limpieza será especificado con las normas aplicables SSPC de acuerdo a los perfiles de anclaje requeridos por el esquema de pintura.

Para la protección anticorrosiva del interior de las tuberías y blindajes se empleará imprimante epóxico rico en zinc recubierto con capas de pintura epóxica o un esquema monocapa de las mismas características, con la cual no solamente se garantiza la protección sino que ofrecen un coeficiente de fricción bajo.

Para las superficies externas embebidas en concreto se utilizará un esquema de recubrimiento compuesto por una capa de imprimante y un recubrimiento de lechada de cemento.

De igual forma para las superficies externas expuestas se utilizará un esquema de pintura a base de imprimante y pintura de poliuretano.

5.3. CRITERIOS DE DISEÑO DE EQUIPOS DE IZAJE

Para la selección y especificación de los equipos de izaje tales como polipastos y pórticos grúa se utilizaron los siguientes criterios de diseño.

5.3.1. CRITERIOS DE DISEÑO GENERALES PARA LOS EQUIPOS DE IZAJE

5.3.1.1. Normas aplicables

- AGMA, ANSI, ASME, DIN, FEM, ISO (diseño de componentes).
- AISC (Manual de construcción en acero).
- ANSI, ASTM, DIN (materiales y pruebas para verificar su calidad).
- ASME (Normas de seguridad para puentes grúa sobrecabeza y polipastos colgantes).
- AWS (soldaduras elementos estructurales y para equipos para movimiento de materiales).
- CMAA (Especificaciones para puentes grúa birriel y monorriel).
- OSHA (Normas de seguridad y salud ocupacional).
- SSPC, NACE (preparación y pintura de las superficies).
- RETILAP - Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público.
- NFPA – National Fire Protection Association.
- Reglamento eléctrico aplicable al país.

5.3.1.2. Diseño de los componentes estructurales

Los elementos estructurales estarán diseñados de acuerdo con los parámetros establecidos en las últimas versiones de las normas: CMAA 70 “Specifications for Top Running Bridge & Gantry Type Multiple Girder Electric Overhead Traveling Cranes” parte 70-3 “Structural Design”, AWS D1.1 “Structural Welding Code – Steel” y AWS D14.1 “Specification for Welding of Industrial and Mill Cranes and Other Material Handling Equipment”.

5.3.1.3. Sistemas de protección

Dentro de los criterios básicos relacionados con los sistemas de protección del puente grúa y de los pórticos grúa se considerarán las previsiones para que el diseño del equipo contemple las pasarelas, plataformas, pasamanos y sus respectivas escaleras de acceso que satisfagan las exigencias para la operación y mantenimiento seguro del equipo, cumpliendo con la norma de seguridad aplicables.

5.3.1.4. Clasificación para los componentes electromecánicos

Los sistemas de izaje operarán con capacidad total durante la instalación inicial de los equipos y posteriormente serán utilizados para el mantenimiento. Por lo tanto, serán clasificados como:

- Clase A según la norma CMAA.
- FEM 1Bm según la norma FEM.

La clasificación A, según la CMAA, se refiere al servicio destinado para puentes grúa usados en casas de máquinas, donde la operación se caracteriza por el manejo preciso de las piezas y largos periodos entre izamientos. Las cargas de diseño serán manejadas en la instalación inicial y posteriormente para el mantenimiento.

6. DISEÑO MECÁNICO

6.1. TÚNEL DE DESVÍO

Según se explica en detalle en el Volúmen de Hidrología e Hidráulica, el sistema de desviación estará compuesto por un sistema de preataguía, ataguía y contra ataguía, en combinación con un túnel de desviación por la margen derecha del río, dimensionado de tal forma que garantice el paso de las aguas del río Indio durante la construcción del proyecto sin comprometer la seguridad de las obras.

El cierre del túnel de desviación para el llenado del embalse se realizará con dos compuertas planas de ruedas ubicadas en los vanos del portal de entrada. Para protección de la solera por abrasión de sedimentos se preverá un blindaje inferior en la zona adyacente al asiento de sello de las compuertas.

6.1.1. Compuertas planas de ruedas

Las compuertas tendrán la membrana del tablero (*“skin plate”*), y los sellos ubicados en el lado aguas abajo. Estos elementos permitirán el cierre del túnel de desvío para el llenado del embalse.

Las compuertas serán especificadas para cerrar bajo su propio peso a contraflujo con el caudal del túnel. Cada una de las compuertas tendrá las dimensiones y características indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 5. Características principales de las compuertas planas del túnel de desvío.

Descripción	Unidad	Valor
Cantidad de compuertas	Un	2
Tipo de compuerta	-	Plana de ruedas
Tipo de accionamiento	-	Oleo-hidráulico de doble efecto
Velocidad de apertura y cierre de la compuerta	m/min	0.6
Nivel normal de operación (NAMO)	mPLD	80.05
Nivel máximo extraordinario de operación del embalse (NAME)	mPLD	84.00
Altura de carga por nivel normal de operación (NAMO)	mca	76.05
Altura de carga por nivel extraordinario de operación (NAME)	mca	80.00
Nivel de solera	mPLD	4.00

Ancho de la compuerta entre los sellos laterales	m	3.10
Altura del sello del dintel con respecto a la solera	m	4.10
Aceleración sísmica horizontal	g	0.38
Ancho del vano hidráulico	m	3.00
Altura del vano hidráulico	m	4.00

La memoria de cálculo de esta compuerta se presenta en el anexo M1.1.

6.1.2. Blindaje de solera

Se preverá un blindaje inferior en la zona adyacente al asiento de sello de las compuertas con el fin de proteger la zona contra la abrasión y evitar daños en el concreto que soporta el asiento inferior de la compuerta.

El blindaje cubrirá la solera y 1 m de las paredes del vano. La longitud de este blindaje es de 3,5 m.

El material del blindaje será en acero al carbono ASTM A537 Cl.1 y contará con anillos rigidizadores para evitar deformación del blindaje ocasionada por presión externa.

Este blindaje estará soldado a la caja de las compuertas.

Los resultados de los cálculos y verificaciones de la geometría de este blindaje (espesores y dimensiones de anillos rigidizadores) se presentan en el anexo M2.1.

Con los espesores obtenidos se realizó el estimativo del peso para calcular el valor del blindaje. Estos resultados se muestran en el anexo M2.2.

Se generó el esquema con las compuertas y los blindajes adyacentes a estas.

6.2. DESCARGA DE FONDO

La descarga de fondo del proyecto Río Indio estará constituida por una estructura de entrada, un primer tramo en túnel a presión, una cámara de compuertas, un segundo tramo en túnel con flujo a superficie libre y un portal de salida.

La cámara de compuertas se posicionará en planta de manera tal que se localiza aguas abajo de la cortina de inyecciones de la presa, además contará con una galería de acceso, la cual servirá para el suministro de aire. La cámara de compuertas estará provista de una compuerta plana deslizante (compuerta de guarda) y una compuerta radial (compuerta de servicio).

La compuerta de servicio permitirá la operación para aperturas parciales. La compuerta de guarda operará en el caso de un atascamiento de la compuerta de servicio; con la que se podrá cerrar a contraflujo para permitir cualquier labor de mantenimiento con una presión correspondiente a la presión producida por el nivel máximo normal de operación del reservorio.

6.2.1. Compuerta radial de la descarga de fondo

La compuerta de control de caudal será del tipo radial sumergida con sello periférico, accionada por dos servomotores hidráulicos de doble efecto. Esta compuerta estará ubicada en el extremo de aguas abajo del conducto, en la estructura de salida de la descarga de fondo. Para el accionamiento de los servocilindros habrá una unidad hidráulica y un tablero de control. La unidad hidráulica y el tablero de control servirán a la compuerta de operación y a la compuerta de guarda. La unidad hidráulica estará provista de dos bombas de aceite idénticas, una de ellas de suplencia, impulsadas por motores eléctricos trifásicos.

La compuerta tendrá capacidad de abrir con presiones desbalanceadas y cerrar contraflujo, con el nivel máximo de agua en el embalse. Su apertura podrá ser total o parcial.

Las condiciones de apertura de la compuerta dependerán del control de llenado del embalse y eventualmente para el caudal ecológico y se mantendrá en esta posición por medio del actuador hidráulico.

La compuerta tendrá las dimensiones y características indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 6. Características principales de la compuerta radial de la descarga de fondo.

Descripción	Unidad	Valor
Cantidad de compuertas	Un	1
Tipo de compuerta	-	Radial
Tipo de accionamiento	-	Cilindros Oleohidráulicos de doble efecto
Velocidad de apertura y cierre de la compuerta	m/min	0.6
Nivel normal de operación (NAMO)	mPLD	80.05
Nivel máximo extraordinario de operación del embalse (NAME)	mPLD	84.00
Altura de carga por nivel normal de operación (NAMO)	mca	63.41
Altura de carga por nivel extraordinario de operación (NAME)	mca	67.36

Nivel de solera	mPLD	16.64
Ancho de la compuerta entre los sellos laterales	m	2.80
Altura del sello del dintel con respecto a la solera	m	3.85
Aceleración sísmica horizontal	g	0.38
Ancho del vano hidráulico	m	2.70
Altura del vano hidráulico	m	3.75

La memoria de cálculo de esta compuerta se presenta en el anexo M1.3.

6.2.2. Compuerta de guarda

La compuerta de guarda de la descarga de fondo será del tipo tablero deslizante, apta para cierre contra flujo de agua bajo su propio peso, o con ayuda del servo cilindro hidráulico de doble efecto, en caso de que la compuerta radial de operación se quede trabada en posición abierta.

La compuerta siempre se abrirá con presión equilibrada, después de llenar el tramo del conducto comprendido entre la compuerta de guarda y la de operación, haciendo uso de una tubería en acero para tal fin. También se tendrá un sistema para la evacuación del aire del conducto cuando se está llenando el conducto.

Esta compuerta será accionada por medio de un servocilindro hidráulico de doble efecto, ubicado en la cámara superior, sobre un pedestal de soporte encima de la tapa de la caja. Esta compuerta se empleará solo al momento de efectuar los mantenimientos o cuando se presenta atascamiento de la compuerta radial o inspección del blindaje de la descarga de fondo. Esta compuerta únicamente será operada de manera local por acción del servocilindro, el cual contará con una velocidad de operación.

Normalmente el cierre de la compuerta se efectuará con presiones equilibradas, con la compuerta radial de la descarga de fondo totalmente cerrada. No obstante, la compuerta estará diseñada para cerrar contra el flujo máximo por efecto de su propio peso venciendo las fricciones en los sellos.

Tabla 7. Características principales de la compuerta de mantenimiento de la descarga de fondo.

Descripción	Unidad	Valor
Cantidad de compuertas	Un	1
Tipo de compuerta	-	Plana deslizante

Tipo de accionamiento	-	Oleohidráulico de doble efecto
Velocidad de apertura y cierre de la compuerta	m/min	1
Nivel normal de operación (NAMO)	mPLD	80.05
Nivel máximo extraordinario de operación del embalse (NAME)	mPLD	84.00
Altura de carga por nivel normal de operación (NAMO)	mca	63.41
Altura de carga por nivel extraordinario de operación (NAME)	mca	67.36
Nivel de solera	mPLD	16.64
Ancho de la compuerta entre los sellos laterales	m	2.80
Altura del sello del dintel con respecto a la solera	m	3.85
Aceleración sísmica horizontal	g	0.38
Ancho del vano hidráulico	m	2.70
Altura del vano hidráulico	m	3.75

La memoria de cálculo de esta compuerta se presenta en el anexo M1.2.

6.2.3. Blindaje adyacente a las compuertas de la descarga de fondo

Se preverá un blindaje adyacente a las compuertas de la descarga de fondo con el fin de proteger la zona contra la abrasión y evitar daños en el concreto que soporta el asiento inferior de la compuerta.

El material del blindaje será en acero al carbono ASTM A537 Cl.1 y contará con anillos rigidizadores para evitar deformación del blindaje ocasionada por presión externa.

Este blindaje comprende:

- Una transición aguas arriba de la compuerta de guarda, de 5,2 m de diámetro a sección rectangular de 3,75 m x 2,7 m. La longitud de esta transición es de 15,14 m.

- Una sección rectangular aguas arriba de la compuerta de guarda de 3,75 m x 2,7 m. La longitud de esta transición es de 3,62 m
- Una sección rectangular entre la compuerta de guarda y la compuerta radial de 3,75 m x 2,7 m. La longitud de esta transición es de 8,2 m

Se realizó el estimativo del espesor de las láminas que conforman el blindaje y de los anillos de refuerzo para las láminas de la solera del blindaje y para las caras laterales.

Se analizó la necesidad de colocar un patín para aumentar el momento de inercia de los anillos de refuerzo.

Se realizó la verificación de esfuerzos sobre la lámina de solera y la lámina de las caras laterales. Igualmente se realizó la verificación del esfuerzo de flexión ocasionado por la presión exterior sobre los anillos de refuerzo de las caras del blindaje.

Los resultados de los cálculos se muestran en el anexo M2.1

Se realizó la verificación con elementos finitos de los esfuerzos sobre los anillos y las caras del blindaje. El avance del modelo se muestra en el anexo M2.3.

Con los espesores obtenidos se realizó el estimativo del peso para calcular el valor del blindaje. Estos resultados se muestran en el anexo M2.2.

Se generó el esquema con las compuertas y los blindajes adyacentes a estas.

6.3. SISTEMA DE DESCARGA DE CAUDAL AMBIENTAL

La descarga de caudal ambiental del proyecto Río Indio estará constituida por una estructura de entrada tipo torre inclinada con captación multinivel, un conducto a presión y una válvula de control de caudal.

El agua ingresará a través del ducto central de la torre de captación, posteriormente ingresa en un túnel horizontal de baja pendiente, el cual conecta con un pozo, de donde se pasa a la tubería a presión, descargando finalmente en el túnel a flujo libre de la descarga de fondo. El control y regulación del caudal captado se realizará a través de una válvula del tipo cono fijo o Howell Bunger.

6.3.1. Rejas de la captación

Cada uno de los vanos de la estructura de toma, estará equipado con rejas independientes diseñadas para garantizar el paso del caudal de diseño a velocidades de aproximación inferiores a 1,0 m/s.

Las rejas serán especificadas para ser fabricadas en acero estructural ASTM A-36. Las uniones entre barrotes y los demás elementos estructurales se realizarán mediante soldadura. La estructura de cada reja estará conformada por un arreglo de paneles cuyas dimensiones se definirán teniendo en cuenta la facilidad de construcción y montaje de los mismos.

Cada panel de rejas se fijará a la obra civil por medio de pernos atornillados a las platinas que serán previstas en el hormigón de primera etapa. El esquema propuesto permitirá remover los paneles en caso de que se requiera realizar mantenimiento o reemplazarlos.

Las rejas tendrán las dimensiones y características indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 8. Características principales de las rejas de la captación del caudal ambiental.

Descripción	Unidad	Valor
Cantidad de rejas	Un	3
Inclinación	°	60
Nivel normal de operación (NAMO)	mPLD	80.05
Nivel máximo extraordinario de operación del embalse (NAME)	mPLD	84.00
Aceleración sísmica horizontal	g	0.38
Ancho del vano hidráulico	m	1.10
Altura del vano hidráulico	m	2.90
Ancho total de cada reja	m	1.50
Longitud total de cada reja	m	3.75
Espaciamiento entre barrotes	mm	50.80

La memoria de cálculo de las rejas se presenta en el anexo M1.4.

6.3.2. Compuertas de toma

Las compuertas planas de servicio operarán con presión desequilibrada y contarán con ruedas para facilitar el ascenso y descenso de las compuertas.

Las compuertas de la conducción cerrarán por su propio peso contra el flujo máximo previsto en el conducto, en caso de emergencia. Cada una de las compuertas tendrá las dimensiones indicadas en la siguiente tabla.

Las compuertas serán operadas mediante un pórtico grúa.

Tabla 9. Características principales de las compuertas planas de la toma del caudal ambiental

Descripción	Unidad	Valor
Cantidad de compuertas	Un	3
Tipo de compuerta	-	Plana de ruedas
Tipo de accionamiento	-	Viga pescante accionada con pórtico grúa
Velocidad de apertura y cierre de la compuerta	m/min	0.6
Nivel normal de operación (NAMO)	mPLD	80.05
Nivel máximo extraordinario de operación del embalse (NAME)	mPLD	84.00
Altura de carga por nivel normal de operación (NAMO)	mca	34.95
Altura de carga por nivel extraordinario de operación (NAME)	mca	38.90
Nivel de solera	mPLD	45.10
Ancho de la compuerta entre los sellos laterales	m	1.20
Altura del sello del dintel con respecto a la solera	m	3.00
Aceleración sísmica horizontal	g	0.38
Ancho del vano hidráulico	m	1.10
Altura del vano hidráulico	m	2.90

La memoria de cálculo de esta compuerta se presenta en el anexo M1.5.

6.3.3. Tubería de caudal ecológico

Se realizó un estimativo del espesor de la tubería de 1.0 m de diámetro, que va desde la estructura de toma hasta la cámara de compuertas de la descarga de fondo. La longitud de esta tubería es de 148.0 m. Para la estimación se consideró un valor de Golpe de Ariete de 10%.

Se generó el esquema con la ubicación de la tubería.

Para el cálculo del espesor primó el valor del espesor calculado para manejo y transporte, sobre el espesor calculado para resistir los valores de presión interna.

Los resultados de los cálculos y las longitudes de los tramos se muestran en el anexo M2.1

Con los espesores obtenidos se realizó el estimativo del peso para calcular el valor de la tubería. Estos resultados se muestran en el anexo M2.2.

6.3.4. Pórtico Grúa

Para izar las compuertas de cierre de la toma se instalará un pórtico de tipo doble viga (birriel) con unas dimensiones tales que permitan izar, con la ayuda de la viga pescante, las compuertas hasta una altura de mínimo medio metro sobre el nivel de operación.

El pórtico grúa para el montaje, operación y mantenimiento de las compuertas. La capacidad del pórtico se seleccionó teniendo en cuenta el peso de la compuerta y la viga pescante. Adicionalmente, se considerará un factor de seguridad de 1.2.

El pórtico grúa tendrá las dimensiones y características indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 10. Características principales del pórtico grúa de toma del caudal ambiental

Parámetro	Unidad	Valor
Capacidad nominal del gancho	t	20
Luz entre ejes de rieles	m	8.0
Distancia de traslación	m	8.3
Cota superior del gancho	mPLD	91.4
Cota inferior del gancho	mPLD	44.70
Velocidad mínima gancho	m/min	0.28
Velocidad máxima gancho	m/min	7.50
Velocidad mínima traslación del puente	m/min	2.50
Velocidad máxima traslación del puente	m/min	25.0

Velocidad mínima traslación del carro	m/min	2.5
Velocidad máxima traslación del carro	m/min	25.0

6.3.5. Válvula de cono fijo Howell Bunger

El sistema de descarga de caudal ambiental cuenta con una válvula de cono fijo (Howell Bunger) de diseño normalizado y probado, DN 500 mm, PN 10 bares, accionada por medio de servomotores hidráulicos de doble efecto.

Tabla 11. Características principales de la válvula Howell Bunger

Parámetro	Unidad	Valor
Diámetro Nominal	mm	500
Cota del eje de la válvula	mPLD	22.85
Tipo de accionamiento	-	Oleo-hidráulico de doble efecto
Nivel normal de operación (NAMO)	mPLD	80.05
Nivel máximo extraordinario de operación del embalse (NAME)	mPLD	84.00
Nivel Mínimo de Operación Normal del embalse	mPLD	40.0
Caudal de descarga libre	m ³ /s	3.4
Condición de apertura	-	Con presión interior uniforme
Condición de cierre	-	Contraflujo

Todos los componentes de válvula disipadora de energía serán dimensionados y especificados para resistir el nivel máximo de operación del embalse.

Las conexiones de presión de aceite a los servomotores hidráulicos serán tuberías de alta presión en acero inoxidable.

La válvula contará con instrumentos que indiquen local y remotamente el porcentaje de apertura de la válvula.

6.3.5.1. Cuerpo

El cuerpo de la válvula, fabricada en lámina de acero rolado soldado a una brida pernada de acero forjado en el extremo de aguas arriba, tendrá un cabezal en forma de cono en el extremo aguas abajo y aletas radiales extendiéndose internamente a lo largo de la válvula.

6.3.5.2. Obturador

La camisa móvil de la válvula, fabricada en acero al carbón revestida con acero inoxidable o de lámina maciza de acero inoxidable, estará soldada con un anillo de acero pesado y será rígida en cada extremo, con un anillo de rigidez intermedio adicional si es necesario para evitar deformación cíclica de la redondez de la compuerta.

6.3.5.3. Sistema de accionamiento

El sistema de accionamiento será por medio de (2) dos servomotores hidráulicos de doble efecto, uno a cada lado a lo largo del eje horizontal de la válvula. La unidad electrohidráulica correspondiente con sus componentes de mando y control puede ser la misma usada en la válvula de mariposa de guarda.

Cada servomotor comprende un cilindro de acero, de doble efecto, un pistón de acero con anillos cromados y un vástago de acero inoxidable provisto de empaquetadura, anillos limpiadores del vástago y sellos donde el vástago pasa a través del cabezal del cilindro.

Las conexiones de presión de aceite para el cilindro serán de tuberías de alta presión en acero inoxidable.

6.3.6. Válvula de guarda

La válvula de guarda de la descarga de caudal ambiental consiste en una (1) válvula mariposa de diseño normalizado y probado, DN 1000 mm, PN 10 bares, con cuerpo bridado en ambos extremos, con bridas dimensionadas y taladradas de acuerdo con la norma ANSI B16.1, norma AWWA C-207 o equivalente. El accionamiento consiste en un actuador oleo hidráulico de simple efecto, con sus componentes de mando y control respectivos.

La válvula de mariposa tendrá un bypass de al menos una dimensión de DN 200 mm, PN 10 bares para igualar presiones antes de su apertura. El bypass tendrá una válvula de globo, accionada manualmente y estará provisto de válvulas de compuerta de operación manual, aguas arriba y aguas abajo del bypass, para poder efectuar labores de mantenimiento.

Tabla 12. Características principales de la válvula mariposa

Parámetro	Unidad	Valor
Diámetro Nominal	mm	1000
Cota del eje de la válvula	mPLD	22.85
Tipo de accionamiento	-	Oleo-hidráulico de doble efecto

Nivel normal de operación (NAMO)	mPLD	80.05
Nivel máximo extraordinario de operación del embalse (NAME)	mPLD	84.00
Velocidad del flujo máxima para cierre	m/s	4.4
Condición de apertura	-	Con presión interior uniforme
Condición de cierre	-	Contraflujo

6.3.6.1. Condiciones de operación

Todos los componentes de la válvula mariposa de eje horizontal se seleccionarán para operación continua y segura dentro de todas las condiciones de operación especificadas.

La apertura normal de la válvula será bajo presión balanceada con la válvula de bypass abierta y la válvula disipadora cerrada. La válvula mariposa de guarda se dimensionará de tal forma que pueda cerrar contra flujo bajo condiciones de máxima altura hidrostática. Su apertura será con presiones equilibradas.

6.3.6.2. Eje.

La válvula mariposa será de eje horizontal y doble excentricidad con respecto al eje de la válvula, asegurando el menor desgaste del anillo de sello durante la operación de cierre y la tendencia natural del disco a permanecer en la posición cerrada aún si el eje de la válvula, por efectos de mantenimiento, se encuentra desacoplado temporalmente del mecanismo de accionamiento.

6.3.6.3. Sistema de accionamiento para la válvula mariposa, incluido el bypass y la válvula disipadora de energía

La unidad electrohidráulica que suministra aceite a presión para operación de los servomotores de la válvula disipadora de energía, tendrá dos bombas de aceite idénticas (una en suplencia) provistas con sus motores eléctricos, un tanque receptor, un tanque de almacenamiento, sistema de tuberías de aceite, alambrado de fuerza y control, manómetros, presóstatos y demás instrumentos y accesorios requeridos para la operación. La operación de las bombas será controlada por el sistema de control y supervisión.

El tanque receptor de la unidad será la base para la instalación de las bombas, válvulas y accesorios. La capacidad del tanque será por lo menos igual al volumen que se necesita para recibir todo el aceite del sistema. El nivel de aceite en el tanque será el adecuado para mantener una altura apropiada durante el ciclo de trabajo. Se especificará un transmisor de nivel en el tanque, el cual se integrará al controlador del sistema. El tanque tendrá también un medidor local de nivel para indicación visual, del tipo mirilla transparente. La línea de retorno de los servomotores tendrá un filtro fino removible para limpieza, el cual contará con la señal de filtro obstruido para ser integrada al controlador del sistema para supervisión.

6.3.6.4. Válvula de aireación

Una (1) válvula de aireación PN 10, DN200 de doble acción, localizada aguas abajo de la válvula mariposa de guarda de la válvula disipadora Howell Bungler con los accesorios necesarios para la correcta operación del sistema cumplirá las siguientes funciones:

- Abrirse automáticamente para permitir la salida del aire a una rata controlada mientras se realiza el llenado de la tubería y una vez que todo el aire sea liberado, después se cerrará suavemente.
- Permitirá la liberación de las burbujas de aire durante la operación normal de la tubería.

La válvula de aireación tendrá una válvula de corte PN10 para guarda y mantenimiento, con su tubería y conexiones correspondientes.

6.4. TÚNEL DE TRANSFERENCIA

El túnel de transferencia permitirá la conducción del agua desde el embalse hasta la descarga en el lago Gatún. El túnel contará con secciones blindadas en algunos sectores. Como elemento de emergencia se contará con compuertas de ruedas que permitirán realizar el cierre de emergencia contra flujo máximo.

La descarga de agua será controlada mediante una estructura ubicada al final del túnel donde se dispondrá de una compuerta radial y una compuerta plana de guarda.

6.4.1. Compuertas planas de ruedas al inicio del túnel

En el túnel de conducción se tendrán dos compuertas de pozo húmedo, ubicadas en serie. Las compuertas serán deslizantes de ruedas. Cada compuerta será accionada por un servomotor hidráulico de doble efecto, localizado en la cota de la plataforma de operación.

Entre el servomotor de accionamiento y la compuerta en el túnel se tendrá un vástago conformado por secciones articuladas, fácilmente desmontables. Este sistema permitirá izar el obturador de la compuerta desde el túnel de conducción hasta colocarlo debajo de la estructura del servomotor en la viga traba o de almacenamiento para realizar labores de operación de la compuerta por medio de los vástagos y realizar mantenimiento.

A todo lo largo del recorrido del obturador, se tendrá un sistema de guías metálicas laterales, provistas de soportes convenientemente espaciados y anclados al revestimiento de concreto del pozo.

Las características y dimensiones de las compuertas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 13. Características principales de las compuertas planas al inicio del túnel.

Descripción	Unidad	Valor
-------------	--------	-------

Cantidad de compuertas	Un	2
Tipo de compuerta	-	Plana de ruedas
Tipo de accionamiento	-	Oleohidráulico de doble efecto
Velocidad de apertura y cierre de la compuerta	m/min	0.6
Nivel normal de operación (NAMO)	mPLD	80.05
Nivel máximo extraordinario de operación del embalse (NAME)	mPLD	84.00
Altura de carga por nivel normal de operación (NAMO)	mca	48.52
Altura de carga por nivel extraordinario de operación (NAME)	mca	52.48
Nivel de solera	mPLD	31.52
Ancho de la compuerta entre los sellos laterales	m	3.90
Altura del sello del dintel con respecto a la solera	m	5.00
Aceleración sísmica horizontal	g	0.38
Ancho del vano hidráulico	m	3.80
Altura del vano hidráulico	m	4.90

La memoria de cálculo de esta compuerta se presenta en el anexo M1.6.

6.4.2. Blindaje adyacente a las compuertas de entrada del túnel de transferencia

Se preverá un blindaje adyacente a las compuertas de entrada del túnel de transferencia para proteger contra la abrasión y evitar daños en el concreto.

El material del blindaje será en acero al carbono ASTM A537 Cl.1 y contará con anillos rigidizadores para evitar deformación del blindaje ocasionada por presión externa.

Este blindaje comprende:

- Una transición aguas arriba de la compuerta de guarda, de sección circular de 4,9 m de diámetro a sección rectangular de 4,9 m x 3,8 m. La longitud de esta transición es de 5,3 m.
- Dos secciones rectangulares aguas arriba/abajo de las compuertas planas de 4,9 m x 3,8 m. La longitud de cada sección es de 2,16 m
- Una sección rectangular entre las compuertas planas de 4,9 m x 3,8 m. La longitud de esta sección es de 0,83 m
- Una transición aguas abajo de la compuerta principal, de sección rectangular de 4,9 m x 3,8 m, a sección circular de 4,9 m de diámetro. La longitud de esta transición es de 5,3 m.

Se realizó el estimativo del espesor de las láminas que conforman el blindaje y de los anillos de refuerzo para las láminas de la solera del blindaje y para las caras laterales. De igual manera se analizó la necesidad de colocar un patín para aumentar el momento de inercia de los anillos de refuerzo.

Adicionalmente, se llevó a cabo verificación de esfuerzos sobre la lámina de solera y la lámina de las caras laterales. Igualmente se realizó la verificación del esfuerzo de flexión ocasionado por la presión exterior sobre los anillos de refuerzo de las caras del blindaje. Los resultados de los cálculos se muestran en el anexo M2.1

Se realizó la verificación con elementos finitos de los esfuerzos sobre los anillos y las caras del blindaje. El avance del modelo se muestra en el anexo M2.3.

Con los espesores obtenidos se realizó el estimativo del peso para calcular el valor del blindaje. Estos resultados se muestran en el anexo M2.2.

Se generó el esquema con las compuertas y los blindajes adyacentes a estas.

6.4.3. Blindaje del túnel

Se realizó un estimativo del espesor del blindaje de los 9 tramos que deben ser blindados utilizando la presión interna. Para la estimación se consideró un valor de Golpe de Ariete de 27%.

Se generó el esquema con la sección típica del blindaje, la cual es la misma para cada uno de los 9 tramos calculados.

Para el cálculo del espesor primó el valor del espesor calculado para manejo y transporte, sobre el espesor calculado para resistir los valores internos.

Los resultados de los cálculos y las longitudes de los tramos se muestran en el anexo M2.1

Con los espesores obtenidos se realizó el estimativo del peso para calcular el valor del blindaje. Estos resultados se muestran en el anexo M2.2.

6.4.4. Blindaje adyacente a las compuertas de descarga del túnel de transferencia

Se preverá un blindaje adyacente a las compuertas de descarga del túnel de transferencia para proteger contra la abrasión y evitar daños en el concreto. Este blindaje empalma con el último tramo del blindaje del túnel de transferencia.

El material del blindaje será en acero al carbono ASTM A537 Cl.1 y contará con anillos rigidizadores para evitar deformación del blindaje ocasionada por presión externa.

Este blindaje comprende:

- Una transición aguas abajo del túnel de transferencia, de sección circular de 4,3 m de diámetro a sección rectangular de 3,3 m x 3,3 m. La longitud de esta transición es de 8,1 m.
- Una sección rectangular aguas arriba de la compuerta de guarda de 3,3 m x 3,3 m. La longitud de esta transición es de 3,4 m
- Una sección rectangular entre la compuerta plana y la compuerta radial de 3,3 m x 3,3 m. La longitud de esta sección es de 5,1 m

Se realizó el estimativo del espesor de las láminas que conforman el blindaje y de los anillos de refuerzo para las láminas de la solera del blindaje y para las caras laterales.

Se analizó la necesidad de colocar un patín para aumentar el momento de inercia de los anillos de refuerzo.

Se realizó la verificación de esfuerzos sobre la lámina de solera y la lámina de las caras laterales. Igualmente se realizó la verificación del esfuerzo de flexión ocasionado por la presión exterior sobre los anillos de refuerzo de las caras del blindaje.

Los resultados de los cálculos se muestran en el anexo M2.1

Se realizó la verificación con elementos finitos de los esfuerzos sobre los anillos y las caras del blindaje.

Con los espesores obtenidos se realizó el estimativo del peso para calcular el valor del blindaje. Estos resultados se muestran en el anexo M2.2.

Se generó el esquema con las compuertas y los blindajes adyacentes a estas.

6.4.5. Compuerta radial

La compuerta de control de caudal será del tipo radial sumergida con sello periférico, accionada por dos servomotores hidráulicos de doble efecto. Esta compuerta estará ubicada a la salida del túnel de transferencia. Para el accionamiento de los servocilindros habrá una unidad hidráulica y un tablero de control. La unidad hidráulica y el tablero de control servirán a la compuerta de operación y a la compuerta de guarda. La unidad hidráulica estará provista de dos bombas de aceite idénticas, una de ellas de suplencia, impulsadas por motores eléctricos trifásicos.

La compuerta tendrá capacidad de abrir con presiones desbalanceadas y cerrar contra flujo asociado al nivel máximo de agua en el embalse. Su apertura podrá ser total o parcial.

La compuerta tendrá las dimensiones y características indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 14. Características principales de la compuerta radial del túnel de trasvase.

Descripción	Unidad	Valor
Cantidad de compuertas	Un	1
Tipo de compuerta	-	Radial
Tipo de accionamiento	-	Cilindros Oleohidráulicos de doble efecto
Velocidad de apertura y cierre de la compuerta	m/min	0.6
Nivel normal de operación (NAMO)	mPLD	80.05
Nivel máximo extraordinario de operación del embalse (NAME)	mPLD	84.00
Altura de carga por nivel normal de operación (NAMO)	mca	52.52
Altura de carga por nivel extraordinario de operación (NAME)	mca	56.47
Nivel de solera	mPLD	27.53
Ancho de la compuerta entre los sellos laterales	m	3.40
Altura del sello del dintel con respecto a la solera	m	3.40
Aceleración sísmica horizontal	g	0.38
Ancho del vano hidráulico	m	3.30
Altura del vano hidráulico	m	3.30

La memoria de cálculo de esta compuerta se presenta en el anexo M1.8.

6.4.6. Compuerta plana de guarda

La compuerta de guarda de la descarga de fondo será del tipo tablero deslizante, apta para cierre contra flujo de agua bajo su propio peso, o con ayuda del servo cilindro hidráulico de doble efecto, en caso de que la compuerta radial de operación se quede trabada en posición abierta.

La compuerta siempre se abrirá con presión equilibrada, después de llenar el tramo del conducto comprendido entre la compuerta de guarda y la de operación, haciendo uso de una tubería en acero para tal fin. También se tendrá un sistema para la evacuación del aire del conducto cuando se está llenando el conducto.

Esta compuerta será accionada por medio de un servocilindro hidráulico de doble efecto, ubicado en la cámara superior, sobre un pedestal de soporte encima de la tapa de la caja. Esta compuerta se empleará solo al momento de efectuar los mantenimientos o cuando se presenta atascamiento de la compuerta radial o inspección del blindaje de la descarga de fondo. Esta compuerta únicamente será operada de manera local por acción del servocilindro, el cual contará con una velocidad de operación.

Normalmente el cierre de la compuerta se efectuará con presiones equilibradas, con la compuerta radial de la descarga de fondo totalmente cerrada. No obstante, la compuerta estará diseñada para cerrar contra el flujo máximo por efecto de su propio peso venciendo las fricciones en los sellos.

Tabla 15. Características principales de la compuerta de mantenimiento del túnel de trasvase.

Descripción	Unidad	Valor
Cantidad de compuertas	Un	1
Tipo de compuerta	-	Plana deslizante
Tipo de accionamiento	-	Oleohidráulico de doble efecto
Velocidad de apertura y cierre de la compuerta	m/min	1
Nivel normal de operación (NAMO)	mPLD	80.05
Nivel máximo extraordinario de operación del embalse (NAME)	mPLD	84.00
Altura de carga por nivel normal de operación (NAMO)	mca	52.52
Altura de carga por nivel extraordinario de operación (NAME)	mca	56.47
Nivel de solera	mPLD	27.53
Ancho de la compuerta entre los	m	3.40

sellos laterales		
Altura del sello del dintel con respecto a la solera	m	3.40
Aceleración sísmica horizontal	g	0.38
Ancho del vano hidráulico	m	3.30
Altura del vano hidráulico	m	3.30

La memoria de cálculo de esta compuerta se presenta en el anexo M1.7.

6.4.7. Compuerta Pivotada

La compuerta consiste en un tablero que permite cerrar el tapón de la galería de construcción. La compuerta es del tipo pivotante, suspendida de dos bisagras y apoyada sobre una rueda que se desplaza sobre una pista de rodadura. Esta compuerta se encuentra ubicada al inicio del tapón de la ventana de construcción No. 1, sobre la abscisa K2+981.38 del túnel de transferencia.

El tablero de la compuerta pivotada estará compuesto de vigas o elementos estructurales horizontales y verticales soldados a la membrana ("skin plate") y adecuadamente espaciados de acuerdo con la carga sobre su área aferente.

El sello de la compuerta estará ubicado aguas abajo del tablero y será del tipo nota musical, perimetral.

Para la apertura y cierre de la compuerta se preverá un manhole y cáncamos de apertura y cierre a cada lado de la compuerta y en el interior del túnel, para el uso de un malacate portátil.

Tabla 16. Parámetros principales de la compuerta pivotada.

Descripción	Unidad	Valor
Cantidad de compuertas	Un	1
Tipo de compuerta	-	Pivotante
Tipo de accionamiento	-	Malacate tipo tirfor
Nivel normal de operación (NAMO)	mPLD	80.05
Nivel máximo extraordinario de operación del embalse (NAME)	mPLD	84.00

Altura de carga por nivel normal de operación (NAMO)	mca	48.77
Altura de carga por nivel extraordinario de operación (NAME)	mca	52.72
Nivel de la solera	mPLD	31.28
Ancho de la compuerta entre los sellos laterales	m	2.60
Altura del sello del dintel con respecto a la solera	m	2.60
Aceleración sísmica horizontal	g	0.38
Ancho del vano hidráulico	m	2.50
Altura del vano hidráulico	m	2.50

La memoria de cálculo de esta compuerta se presenta en el anexo M1.9.

7. REFERENCIAS

- [1] ASME Hydro Power Technical Committee, 1996. The Guide to Hydropower Mechanical Design.
- [2] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (s.d.). NBR 8883 - Cálculo e fabricação de comportas hidráulicas.
- [3] AISC. (2010). Steel Construction Manual.
- [4] ASME Hydropower Technical Committee. (1996). The guide to Hydropower Mechanical Design. Kansas City, USA: HCI Publications.
- [5] DIN. (2014). DIN 19704-1 Hydraulic steel structures – Part 1: Criteria for design and calculation. Berlin, Alemania: DIN Deutsches Institut für Normung.
- [6] DIN. (2014). DIN 19704-2 Hydraulic steel structures – Part 2: Design and manufacturing. Berlin, Alemania: DIN Deutsches Institut für Normung.
- [7] Erbiste Paulo, 2014. Design of Hydraulic Gates. Second Edition. Taylor & Francis Group, London, UK.
- [8] U.S. Army Corps of Engineers. (1987). Hydraulic Design Criteria.
- [9] U.S. Army Corps of Engineers. (1994). Hydraulic Design of Flood Control Channels (EM 1110-2-1601). Washington DC.
- [10] U.S. Army Corps of Engineers. (2014). Design of Hydraulic Steel Structures. ETL 1110-2-584. Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers.
- [11] USBR, (2017). Bureau of Reclamation Construction Cost Trends. <http://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/cct.html>.

8. ANEXOS

- M1.1 MEMORIA DE CÁLCULO - COMPUERTA PLANA DE RUEDAS TÚNEL DE DESVÍO
- M1.2 MEMORIA DE CÁLCULO - COMPUERTA DE MANTENIMIENTO DE LA DESCARGA DE FONDO
- M1.3 MEMORIA DE CÁLCULO - COMPUERTA RADIAL DE LA DESCARGA DE FONDO
- M1.4 MEMORIA DE CÁLCULO - REJAS DE LA CAPTACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL
- M1.5 MEMORIA DE CÁLCULO - COMPUERTA DE TOMA DEL CAUDAL AMBIENTAL
- M1.6 MEMORIA DE CÁLCULO - COMPUERTA PLANA DE RUEDAS DEL POZO DEL TÚNEL DE TRANSFERENCIA
- M1.7 MEMORIA DE CÁLCULO - COMPUERTA DE MANTENIMIENTO DEL TÚNEL DE TRANSFERENCIA
- M1.8 MEMORIA DE CÁLCULO - COMPUERTA RADIAL DEL TÚNEL DE TRANSFERENCIA
- M1.9 MEMORIA DE CÁLCULO - COMPUERTA PIVOTADA DE TAPÓN DEL TÚNEL DE TRANSFERENCIA
- M2.1 CÁLCULO DE ESPESOR DEL BLINDAJE Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS ANILLOS DE REFUERZO
- M2.2 VALOR DE LOS BLINDAJES DEL TÚNEL DE DESVÍO, DESCARGA DE FONDO Y TÚNEL DE TRANSFERENCIA
- M2.3 MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS
- M2.4 MEMORIA DE CÁLCULO ANILLOS DE REFUERZO BLINDAJE TÚNEL DE TRANSFERENCIA