



RESUMEN DE ANÁLISIS DE SEGURIDAD DE LA PRESA NACAOME JOSÉ CECILIO DEL VALLE

**Proyecto:
Seguridad Hídrica en el Corredor Seco de
Honduras**

**Preparado por:
Ing. Alejandro Pujol
Especialista en Seguridad de Presas
Consultor Banco Mundial**



Tegucigalpa M.D.C., noviembre del 2018

“Proyecto de Seguridad Hídrica en el Corredor Seco de Honduras”

ABREVIATURAS Y ACRONIMOS

	Español		Inglés
AMDC	Alcaldía Municipal del Distrito Central de Tegucigalpa.		Municipality of the Central District Tegucigalpa.
BM	Banco Mundial	WB	World Bank
CAF	Banco Latinoamericano de Desarrollo		Latin American Development Bank (CAF),
CMP	Crecida Máxima Probable	CMF	Credible Maximum Flood
CONASA	Consejo de Agua y Saneamiento		Water and Sanitation Council
COPECO	Comité Permanente de Contingencia		
CODEM	Comité de Emergencia Municipal		
ICOLD	Comisión Internacional de Presas	ICOLD	International Commission on Large Dams
JICA	Agencia Japonesa Internacional de cooperación	JICA	Japan International Cooperation Agency
MFP	Modo de falla posible	PFM	Possible Failure Modes
O&M	Operación y Mantenimiento	O&M	Operation and Maintenance
OP	Política Operacional	OP	Operational Policy
PAE	Plan de Acción de Emergencia	EAP	Emergency Action Plan
PPE	Plan de Preparación para Emergencia	EPP	Emergency Preparedness Plan
HCR	Hormigón compactado con rodillo	RCC	Roller compacted Concrete
SAS	Servicio de Agua y Sanidad	WSS	Water Sanitary Service
SANAA	Servicio Autónomo Nacional de acueductos y alcantarillado		Autonomous National Water supply and sewerage services
SAT	Sistema de Alerta Temprana		

“Proyecto de Seguridad Hídrica en el Corredor Seco de Honduras”

SINAGER	Sistema Nacional de Gestión de Riesgo		National system of risk management
UGASAM	Unidad de Gestión de Agua y Saneamiento Municipal		
UMGIR	Unidad Municipal de Gestión Integral de Riesgo		

Contenido

ABREVIATURAS Y ACRONIMOS	2
1. INTRODUCCIÓN	5
2. PROPÓSITO Y ALCANCE DEL TRABAJO	5
3. ASPECTOS GENERALES DE LA SEGURIDAD DE PRESAS	6
4. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS Y PROYECTOS, CUESTIONES CLAVES RECOMENDACIONES	8
4.1 Instrumentación	13
4.1.1 Sistema automático de medición	13
4.1.2 Control de presiones de poros en la fundación	13
4.1.3 El sistema de colección y medición de los caudales	14
4.1.4 Sistema de medición de deformaciones	15
4.1.5 Control de acciones sísmicas	16
4.2 Sistema de drenaje	17
4.3 Sistema de descarga de caudales	18
4.3.1 Toma de agua	18
4.3.2 Cámara de operación de la compuerta de guardia	18
4.3.3 Tubería de presión y descarga de fondo	19
4.4 Capacidad de evacuación y estado del vertedero	21
4.5 Sistema de alerta temprana	21
5. REQUERIMIENTOS BASICOS A DESARROLLAR	21
5.1 Garantía de provisión de agua y seguridad operativa de los embalses	21
5.1.1 Estudio de balance hídrico y operación segura del embalse	22
5.2 Verificación Hidrológica.....	22
5.3 Control de colmatación del embalse	23
5.4 Verificación Sísmica.....	23
5.5 Mantenimiento	23
5.6 Operación segura y vigilancia	23
5.7 Manuales y normas operativas.....	24
5.8 Paneles de Expertos	24
5.9 Análisis de riesgo.....	25
5.10 Planes de acción ante Emergencia	26
5.11 Capacitación	27
6. AUTORIDAD DE SEGURIDAD DE PRESAS Y NORMAS	28
7. PLAN DE ACCIÓN	28
ANEXO A	30

1. INTRODUCCIÓN

El Corredor Seco corresponde a una región de aproximadamente 20,000 km² con una población aproximada de 2.5 millones de personas que viven bajo los riesgos de sequía prolongada y pronunciada e inundaciones devastadoras. Esta región se compone de cinco cuencas hidrográficas: Sampire, Choluteca, Nacaome, Lempa y Goascorán, siendo las primeras tres nacionales y las últimas dos compartidas con El Salvador. La cuenca del río Lempa, está situada en 10 municipios del departamento de Ocotepeque; 19 municipios del departamento de Lempira; 12 municipios del departamento de Intibucá; y 6 municipios del departamento de La Paz.

A modo de brindar respuesta ante esta problemática, el Banco Mundial (BM), a petición del presidente de la República, ha determinado otorgarle al Gobierno de Honduras (GdH) un préstamo para financiar una primera fase de un proyecto de inversión denominado “Seguridad Hídrica en el Corredor Seco de Honduras”, a ser ejecutado por Inversión Estratégica de Honduras (INVEST-Honduras). Este proyecto tendrá como principal objetivo desarrollar capacidades e infraestructura resiliente para lograr la seguridad hídrica en las principales cuencas hidrográficas del Corredor Seco del país.

La iniciativa busca apoyar la institucionalidad a varios niveles y evaluar el desarrollo de infraestructura hidráulica de mediana y grande escala, con el propósito de contribuir a satisfacer las necesidades de recursos hídricos de familias rurales en el Corredor Seco del país, como parte de las prioridades del Gobierno de Honduras.

El proyecto financiará servicios de consultoría, infraestructura, equipamiento, y consta de los siguientes componentes y subcomponentes:

1. Fortalecimiento institucional para la gobernanza y gestión de los recursos hídricos
 - 1.1. Fortalecimiento de la información para la gestión de los recursos hídricos
 - 1.2. Gobernanza del agua y fortalecimiento de capacidades
2. Promoción y desarrollo de infraestructura hidráulica resiliente en el Corredor Seco
3. Promoción de Sistemas Integrados de Agua Segura - Cosechas de Agua
4. Maximizando los beneficios multipropósitos de la represa José Cecilio del Valle en Nacaome
5. Gestión y administración del Proyecto

2. PROPÓSITO Y ALCANCE DEL TRABAJO

El presente informe tiene por objeto presentar una evaluación de la seguridad de la presa Nacaome, perteneciente al “Corredor seco”

El trabajo de esta consultoría implicó:

- a. Inspeccionar la presa Nacaome.
- b. Reuniones con MI Ambiente para exponer y compartir las prácticas actuales de operación, vigilancia y mantenimiento que hacen a la seguridad de presas, y recoger información de los proyectos.

- c. Proporcionar orientación a los responsables de la seguridad de la presa en lo concerniente a la implementación de los Programas de Seguridad recomendados por el ICOLD en el Boletín 138, así como también en los estándares y guías de vigilancia compendiados en el Boletín 158.
- d. Revisar los informes y registros de diseño y construcción disponibles.
- e. Revisar los informes de inspección de seguridad de presas realizados por los responsables de la presa.
- f. Evaluar los procedimientos y condiciones operacionales actuales, incluidos los Planes de instrumentación, Manuales de Operación y Mantenimiento y el Plan de Preparación para Emergencias, si están disponibles.
- g. Evaluar la estructura organizacional, el personal, el presupuesto, el equipo y las instalaciones necesarias para operar y mantener la presa de una manera segura y sostenible.
- h. Asesorar en el programa de medidas de mejora y/o remediales de seguridad que cubran aspectos estructurales y no estructurales, si los hubiera. Estos pueden incluir obras civiles, instalación de instrumentos de monitoreo de seguridad de presas, actualización del procedimiento/capacidad de la operación y mantenimiento, la preparación para emergencias, etc., con el fin de garantizar el funcionamiento seguro y confiable de la presa.
- i. En los casos que se requieran datos de campo adicionales antes de recomendar o evaluar el diseño y los costos de los trabajos de reparación, se sugerirá la necesidad de perforaciones adicionales, muestreo, pruebas de laboratorio, métodos de prospección o la instalación de instrumentos de monitoreo, u otras exploraciones de campo.
- j. Revisar el marco normativo vigente y la capacidad institucional del operador de la presa del Sistema de Abastecimiento de Agua de MI Ambiente y recomendar, si fuera el caso, la necesidad de capacitación o de soporte técnico.
- k. Realizar un informe que resuma los hallazgos y recomendaciones, que constituirán la base para preparar el alcance y el presupuesto de las actividades relacionadas con la seguridad de la presa y los proyectos.

3. ASPECTOS GENERALES DE LA SEGURIDAD DE PRESAS

El informe procura responder a los requerimientos formulados por el Banco Mundial para la aplicación de la OP 4.37, en base a la información recibida y analizada, así como a los criterios y recomendaciones del ICOLD al respecto.

Con los responsables y operadores de la presa se revisó la efectiva aplicación de las actividades que se requieren llevar adelante en un “Programa de Seguridad de Presas”, del Boletín N° 138 del ICOLD, el cual se resume en el siguiente cuadro de la Figura 4.1:

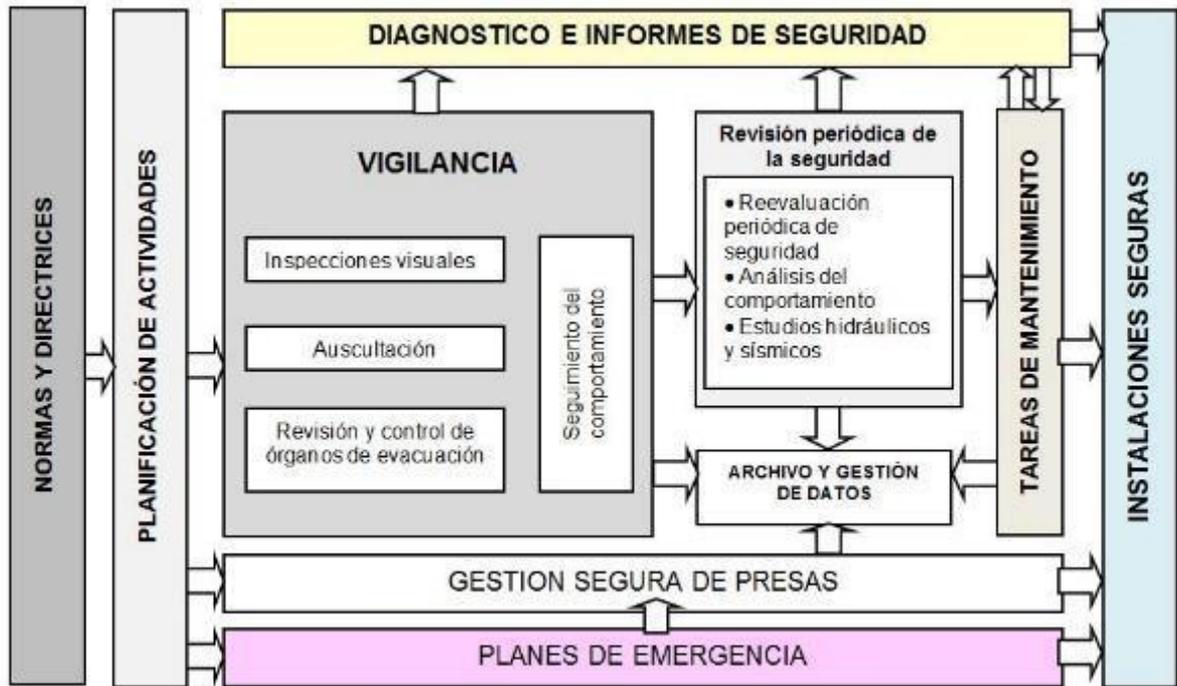


Figura 4.1: Programa de Seguridad de Presas

El Programa de Seguridad de Presas, implica efectivizar las tareas compuestas por la planificación y programación de todas las actividades involucradas en el tema, las que incluyen las actividades de monitoreo y vigilancia (auscultación, instrumentación e inspecciones de la presa), los ensayos de equipos asociados a la operación de caudales, la operación del embalse durante crecidas, las revisiones de seguridad estructural, el mantenimiento de las obras, la actualización del archivo y gestión de la documentación técnica, y los aspectos principales de la preparación para la emergencia.

Así mismo deben hacerse las previsiones para su actualización permanente y para la capacitación periódica de todo el personal con responsabilidades en su gestión.

Por otro lado, se destacó la necesidad de realizar un estudio de “Análisis de Riesgo” de las obras del sistema, con el fin de priorizar en el futuro las acciones tendientes a contar con presas y estructuras lo más seguras posibles, con las consecuencias más bajas posibles ante una falla.

Se expuso a las autoridades el requerimiento del Banco por medio de la “Política Operacional OP 4.37”, la que ha establecido estándares de seguridad de presas aplicados a las obras financiadas por la entidad.

La salvaguardia adoptada por el Banco Mundial en relación con la seguridad de presas OP 4.37 es de carácter amplio y alcanza a cualquier Programa o Proyecto que involucra, de forma directa o indirecta, la construcción de nuevas presas, la operación y mantenimiento de presas preexistentes y/o actividades que dependen de las presas existentes. La condición de operación y mantenimiento de presas preexistentes es interpretada por el Banco Mundial también de forma amplia, alcanzando todas las estructuras de acumulación o almacenamiento de agua que se relacionen con el objetivo del Programa o Proyecto.

Los estándares de esta norma operativa son de aplicación extensiva a nivel mundial como, por ejemplo:

- La revisión por parte de un Panel Independiente de Expertos (Integrado por tres o más especialistas) en las etapas de la investigación, el diseño o la implementación de tareas de rehabilitación de las presas con sus estructuras de operación y control.
- Precalificación de oferentes durante el proceso de licitación y contratación.
- Implementación de inspecciones de seguridad periódicas de la presa por parte de Expertos (Panel de Seguridad), después de la finalización de las obras y durante toda su vida útil.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS Y PROYECTOS, CUESTIONES CLAVES RECOMENDACIONES

Durante la visita se relevó información, se identificaron problemas y deficiencias en el estado de seguridad de la presa, tanto desde los puntos de vista estructurales como no estructurales en diversos grados.

La presa Nacaome está compuesta por 3 estructuras;

- Un cierre principal con vertedero, del tipo de gravedad de hormigón, construida con la metodología del tipo RCC (hormigón compactado con rodillo), con su cara de aguas arriba revestida con una membrana de PVC que le provee una eficiente estanqueidad, dado que se observan muy pocas filtraciones a través del cuerpo de la presa.
- Una estructura de transición paralela al cauce del tipo de gravedad de hormigón, construida con la metodología del tipo RCC, con su cara expuesta al agua revestida con una membrana de PVC, que permitió el desplazamiento hacia aguas abajo del cierre de margen izquierda afectado por una falla geotécnica.
- Una presa de enrocado con un núcleo estanco central, que cierra contra el estribo.

El día 8 de noviembre se visitó la presa recorriendo el pie de aguas abajo, la casilla de instrumentación, la cámara de operación de la compuerta de la tubería forzada, galería de conducción forzada, las galerías de inyección y drenaje, el estribo de margen derecha, el coronamiento, la transición hacia la presa de enrocado de margen izquierda y el estribo de margen izquierda.

Se observó abundante cobertura vegetal tanto en el talud de aguas abajo de la presa de enrocado como en su estribo izquierdo, esto mismo se distingue en el estribo derecho donde apoya la presa de hormigón, y en ambas laderas próximas de aguas abajo (Fotografía 6.1). Esta situación particular impide una inspección efectiva del estado de ambos contactos, y detección de posibles filtraciones a través de la roca de apoyo.



Fotografía 6.1 Estribos cubiertos de vegetación

Se observó el estado de la membrana de aguas arriba desde el coronamiento, sin apreciarse daños en la zona expuesta, también se observó la rápida de descarga del vertedero, el cuenco amortiguador y la restitución al río.

En la Fotografía 6.2 se aprecia el estado general de la presa principal y el muro de vinculación.



Fotografía 6.2 Vista desde aguas abajo de la presa principal

En la siguiente tabla se han resumido los datos más relevantes obtenidos durante la visita y aspectos relacionados con las posibles consecuencias de una rotura de las estructuras, así como condiciones de seguridad estructural y no estructural.

INFORMACIÓN GENERAL	
Nombre de la presa	José Cecilio del Valle
Nombre del río	Río Grande o Nacaome
Propietario	Mi Ambiente
Función y propósito de la presa.	Multipropósito. (Reservorio de agua potable, riego y energía)
Volumen de embalse actual	29 Hm ³ , útil 13 Hm ³

“Proyecto de Seguridad Hídrica en el Corredor Seco de Honduras”

Volumen 2 ^{da} etapa, con compuertas	43 Hm ³ , útil 27 Hm ³
Presa	
Tipo de presa principal	Gravedad
Presa Margen Izquierda	Enrocado con núcleo
Altura (m)	54m
Longitud de coronamiento (m)	324m
Ancho de coronamiento	7m
Talud agua arriba presa principal	0,075H/1V
Talud aguas abajo presa principal	0,8H/1V
Información disponible	
Método de construcción presa principal	Hormigón compactado con rodillo (HCR), con membrana de PVC impermeable en la cara de aguas arriba.
Volumen de RCC	285.000m ³
Volumen de enrocado	193.000m ³
Año de puesta en servicio	1992
Condiciones sísmicas de diseño original	No informada
Disponibilidad de planos conforme a obra	Existen planos de diseño original para construcción en papel no digitalizados y no son conforme a obra.
Vertedero	
Capacidad original	No informada
Tipo	Creager
Operación	Libre
Cantidad de vanos	8
Estructura de disipación	Cuenco de amortiguación
Obras de extracción	
Cantidad	1 Toma de agua

“Proyecto de Seguridad Hídrica en el Corredor Seco de Honduras”

Caudal máx. agua cruda	0,31 m ³ /s
Descarga al río a cota máxima	76 m ³ /s, por central hidroeléctrica o descarga directa al cauce
Mantenimiento de la conducción	No fue mantenida, se requiere realizar un nuevo tratamiento de protección anti corrosiva.
Central Hidroeléctrica	
Potencia instalada	30 MW
Unidades	2 X 12,5 MW y 1 de 5 MW
Descargador de Fondo	
Equipamiento de control	Válvula de chorro hueco
Consecuencias de rotura	Muy alta
Población involucrada	Hay población y 5 tomas de agua con plantas de tratamiento aguas abajo de la presa, correspondiente a los municipios de; San Antonio de Flores, Pespire, San Lorenzo y Nacaome. Población de más de 100.000 personas.
Rutas, puentes o infraestructura	Se informó que hay varios puentes, 5 tomas para agua de consumo y otras para riego.
Condiciones de seguridad estructural	
Presa principal de HCR	Filtraciones reducidas en la zona central. Presencia de filtraciones en el apoyo de margen derecha, con mayores niveles de subpresión en los tubos de alivio de la roca de fundación.
Presa de enrocado	Filtraciones reducidas en la galería de inspección. La abundante vegetación en el estribo y pie de presa no permite la inspección y observación de posibles filtraciones.
Coronamiento	En buen estado
Estado de los taludes de aguas abajo	En buen estado
Pie de presa	Se observaron filtraciones reducidas

“Proyecto de Seguridad Hídrica en el Corredor Seco de Honduras”

¿Sistema de drenaje pluvial está en buen estado de funcionamiento?	Si
¿Se observa presencia de vegetación aguas abajo de la presa que no permita una adecuada inspección?	Si, abundante en ambos estribos
Estado de mantenimiento	Deficiente
Aspectos de cuidado	No se controla la presa de enrocamiento de MI.
	No se realizan controles de deformación microgeodésica externa.
Instrumentación	Deteriorada por falta de mantenimiento y obsolescencia. Gran parte de la instrumentación no se mide por falla de los sistemas de mediciones manuales y de la central automática.
Seguridad no estructural	
¿Existen Manuales de Operación, Mantenimiento y Auscultación?	No
¿Se realizan inspecciones periódicas rutinarias, con informes de novedades?	No
¿Existe un Archivo completo con planos e informes de la construcción y operación?	No
¿Se realizan Informes anuales de diagnóstico de seguridad?	No
Se realizan Auditorias de Seguridad de la presa y ensayos de órganos de descarga	No
¿Existe Plan de Acción ante emergencia (PAE)?	No
¿Los organismos de defensa Civil y habitantes conocen el PAE?	No
Categoría de la presa	Alto riesgo (Habitantes aguas abajo) y provisión de agua potable.

En base a lo observado durante la inspección surgen los siguientes aspectos y recomendaciones de acciones:

4.1 Instrumentación

4.1.1 Sistema automático de medición

La presa cuenta con instrumentación, en gran parte eléctrica, equipada con un sistema de lectura automática programable, ubicada en una casilla concentradora al pie de la presa (Fotografía 6.3).

El sistema de adquisición de datos automático no se encuentra operable. Tiene como función lograr por un lado la información en tiempo y forma, y por otro, poder realizar el procesamiento de la misma a través de un software de control. El objetivo es implementar un sistema de generación de alarmas internas, cuando se superan límites preestablecidos, que alerten del inicio de un comportamiento anómalo.



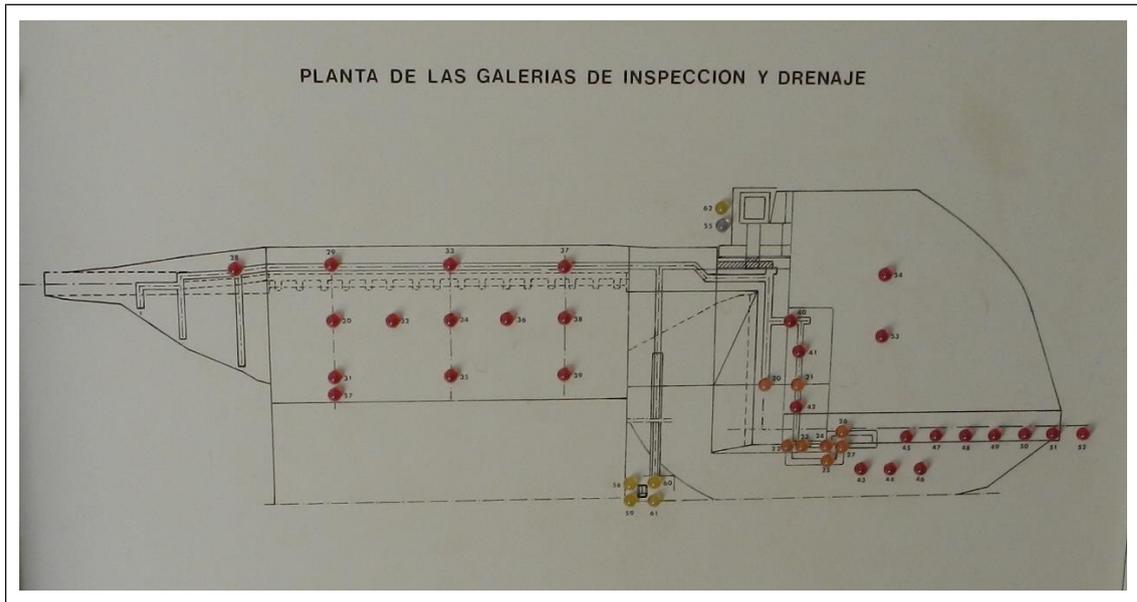
Fotografía 6.3 Casilla de Auscultación y sistema automático de medición de instrumentos

Acciones: Realizar una evaluación del estado del sistema automático de medición y control de la instrumentación eléctrica:

- Renovación, por parte del proveedor del sistema (PIZZI), del hardware y software de control operativo, con capacidad de programación local de frecuencias de lectura, agrupación de instrumentos, y otros comandos de control, a requerimiento del responsable de la seguridad de la presa.
- Implementar un programa de procesamiento y control (Software), con administración de la base de datos de la información automática y de lectura manual, con control de leyes de respuesta, bandas de plausibilidad y límites preestablecidos, con emisión de alarmas ante mediciones anómalas.

4.1.2 Control de presiones de poros en la fundación

La fundación de la presa de hormigón y la de enrocado fueron instrumentadas con piezómetros eléctricos a cuerda vibrante, instalados en la fundación a distintas profundidades (Fotografía 6.4). Estos instrumentos se encuentran fuera de servicio por falta de unidad de lectura manual y falla del sistema automático, por lo que no se cuenta con información respecto a la eficiencia de las cortinas de estanqueidad y de drenaje, ni del estado de las subpresiones, aspecto clave para la verificación de la estabilidad de la presa de hormigón.



Fotografía 6.4 Distribución de piezómetros a cuerda vibrante

Acciones: Realizar una evaluación del sistema de instrumentación de control de presiones de poros, con el objeto de evaluar si el mismo cubre el control de los modos de fallas posibles, en especial en lo vinculado a los estribos y en especial a la fundación de la presa de enrocado.

- Adquirir una nueva unidad lectora de instrumentos eléctricos a cuerda vibrante
- Adquirir un nuevo zonda graduada, para medición de niveles freáticos o piezométricos.
- Reacondicionar los instrumentos defectuosos o reemplazar aquellos que dejaron de funcionar.

4.1.3 El sistema de colección y medición de los caudales

Los medidores de filtración y caudales de drenaje ubicados al pie de la presa, se componen de dos aforadores totalizadores, uno que mide el caudal proveniente de la presa de hormigón y otro que colecta las filtraciones de la presa de enrocamiento, de margen izquierda, el cual se encuentra inundado y solo se desagota previo a realizar los aforos.

El colector de la presa de hormigón se encuentra equipado con sensor de nivel automático que se encuentra fuera de servicio. El mismo cuenta con una placa de aforo sobredimensionada para los caudales existentes (Fotografía 6.5). Al encontrarse las placas fuera de rango, no es posible medir con la precisión las variaciones de caudales, aspecto de suma importancia en la detección de fallas en la cortina estanca de la presa, hidrofracturas en la fundación o degradación de las cortinas de estanqueidad.



Fotografía 6.5 Sistema de aforo totalizador presa de hormigón

Acciones: Revisar y re proyectar el sistema de aforo

- Cambiar las placas de aforos y colocar escalas graduadas de precisión
- Instalar secciones de aforos en las galerías, con el fin de sectorizar y controlar especialmente las distintas zonas de aportes.
- Analizar el impacto del bombeo en el aforador ahogado que colecta las aguas provenientes de la presa de enrocado, de manera de evitar influencias de flujos de filtración transitorios de la red de filtración.
- Realizar análisis fisicoquímico de muestras de agua del embalse y de filtraciones, con el fin de evaluar cambios en la composición de elementos disueltos o eventuales arrastres de finos, teniendo en cuenta que la presa se funda en roca tobacea (cenizas volcánicas).

4.1.4 Sistema de medición de deformaciones

La presa solo cuenta con dos péndulos invertidos, de los cuales solo funciona el ubicado a la izquierda del cauce, equipados con sendas mesas de lectura automática y manual, que permiten conocer los giros de la presa y los desplazamientos respecto a la fundación (Fotografía 6.6). Se observaron muestras de óxidos en el dispositivo de medición y falta de lubricación, y las mesas de medición automáticas se encuentran fuera de servicio.

No se cuenta con un sistema de control de deformaciones absolutas de tipo microgeodésica plani-altimétrica de la presa de enrocado, estructura de transición, presa principal y vertedero, referenciadas a pilares ubicados en las márgenes de aguas abajo. Los puntos de control deben ser ubicados en las estructuras a relevar, a través de estaciones totales de alta precisión y niveles electrónicos con miras invar,

con el objetivo de conocer las deformaciones generales y chequear el funcionamiento de los péndulos y medidores de juntas.



Fotografía 6.6 Foto Izq. Péndulo con mesa de lectura automática - Foto Der Flotador fallado péndulo derecho

Las juntas no están siendo controladas, debido a que los calibradores extensométricos o medidores biaxiales eléctricos de juntas no cuentan con unidad lectora, mientras que los marcos mecánicos tienen roto (fuera de servicio) el dispositivo de lectura (Fotografía 6.7)



Fotografía 6.7 Izq. Calibradores extensométrico eléctrico – Der Medidor extensométrico mecánico

Acciones: Se requieren realizar las siguientes tareas:

- Implementar un programa de mantenimiento de los péndulos y remplazo de los sistemas automáticos de medición.
- Reemplazar el medidor extensométrico mecánico y adquirir un marco de calibración.
- Diseñar, construir y medir las deformaciones externas a través de un sistema de control microgeodésico, con precisiones del orden de ± 1 mm, y realizar controles semestrales con niveles de embalses mínimos y máximos.

4.1.5 Control de acciones sísmicas

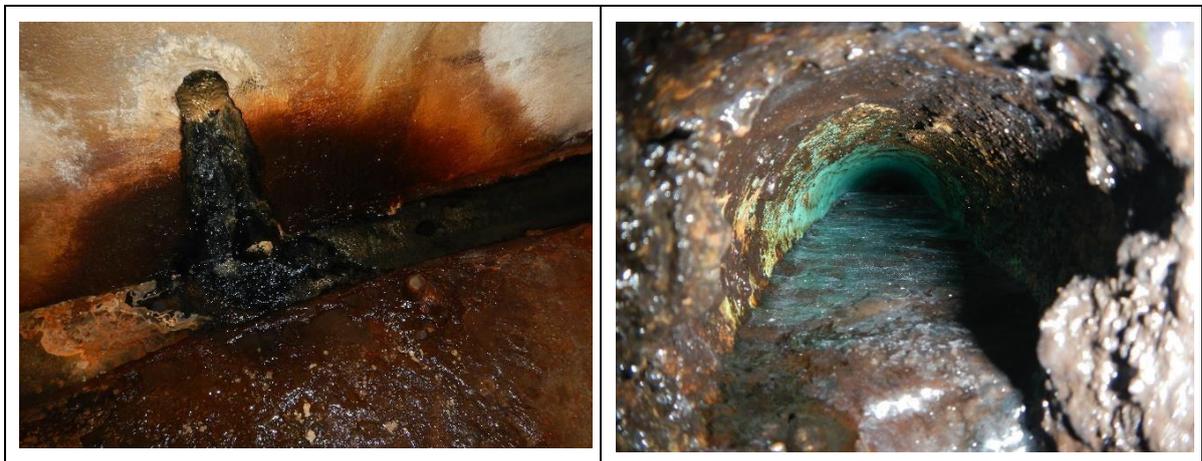
El comportamiento dinámico de las estructuras requiere ser controlado ante un evento

sísmico, para lo cual se necesitan registrar las acciones que se generan en la fundación de las estructuras y su respuesta dinámica, de modo de obtener los espectros de acción y reacción necesarios para su verificación.

Acciones: Implementar un sistema de control de acciones y reacciones sísmicas.

4.2 Sistema de drenaje

Durante el recorrido por las galerías de drenaje e inspección, pudieron observarse algunos drenes y pozos de alivio de la fundación y estribos con depósitos de finos y bacterias, o con presencia de carbonatos (Fotografía 6.8). Estos últimos probablemente provienen de la lixiviación de los calcios libres del cemento de la cortina de inyección o inyecciones de consolidación, y van progresivamente colmatando las perforaciones o conductos de drenaje, pudiendo provocar un aumento indeseable de las subpresiones bajo la presa.



Fotografía 6.8 Drenes con depósitos de finos, bacterias y lixiviación de carbonatos.

En la galería de inspección y drenaje, ubicada bajo el núcleo de la presa de enrocado, se observaron aportes de finos y bacterias a través de los drenes existentes en los muros laterales (Fotografía 6.9).



Fotografía 6.9 Galería de margen Izquierda

Acciones: Realizar un programa con el fin de mejorar y mantener el sistema de drenaje activo, para lo cual se recomienda:

- Ejecutar la limpieza profunda con hidrolavadora de alta presión y dar mantenimiento continuo al sistema de drenaje de la fundación y del cuerpo de la presa.
- Colocar sifones donde se observen depósitos de carbonatos de calcio, para evitar el ingreso de aire al interior de los drenes y la precipitación de carbonatos en el interior de los mismos, lo que con el tiempo provoca la colmatación y obstrucción del dren.
- Emboquillar los drenes que tienen caudal y realizar mediciones volumétricas.
- Realizar análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua y los materiales provenientes de los drenes, para controlar su evolución.

4.3 Sistema de descarga de caudales

4.3.1 Toma de agua

La presa cuenta con un edificio de toma de agua, provista de rejas en tres caras, recatas para descenso de ataguías de mantenimiento y un puente grúa circular (Fotografía 6.10). Este puente grúa permite realizar las operaciones de limpieza, extracción y mantenimiento de las rejas, e instalación de ataguías de cierre.



Fotografía 6.10 Obra de Toma

Acciones:

- Ejecutar el mantenimiento programado de los elementos electro- mecánicos, en especial de los esquemas de protección anticorrosiva.
- Realizar ensayos de colocación de las ataguías y cierre de la tubería.

4.3.2 Cámara de operación de la compuerta de guardia

Se observó durante el recorrido que no se cuenta con un sistema de energía redundante, mientras que algunos componentes del sistema de operación oleo-electromecánico requieren mantenimiento con el fin de garantizar la efectiva operación de la compuerta (Fotografía 6.11).



Fotografía 6.11 Cámara de operación y equipo oleo-electro-mecánico de accionamiento

Acciones: Se requiere:

- Implementar un programa de mantenimiento continuo de los sistemas de operación y remplazo de las electroválvulas dañadas.
- Instalar un generador de emergencia, para dar redundancia eléctrica a los sistemas de operación de las compuertas y válvula disipadora de la descarga de fondo.

4.3.3 Tubería de presión y descarga de fondo

El proyecto cuenta con una tubería de 4m de diámetro que alimenta, a través de un bifurcador, la central hidroeléctrica y la descarga de fondo hacia el cauce del río.

Se recorrió la galería de acceso en la cual se observó la presencia de material fino en uno de los drenes (Fotografía 6.12), mientras que en la galería que contiene en su interior la tubería de presión se apreció, en el muro derecho, una fisura inclinada con deposición de carbonatos (Fotografía 6.12).



Fotografía 6.12 Fisura y depósitos de finos en dren

Se revisó el estado de conservación del revestimiento de protección anti corrosivo de la tubería, observándose un avanzado grado de degradación, tanto en la tubería, donde la pintura se encuentra en su mayor parte despegada, descascarada o dañada, y en algunos puntos cubierta con depósitos carbonáticos (Fotografía 6.13), así como en los pedestales de apoyo.



Fotografía 6.13 Estado del revestimiento anticorrosivo

Acciones: Se requiere:

- Realizar una investigación del origen de los finos que se encuentran en el dren de la galería de acceso.
- Realizar un relevamiento detallado del estado de la galería y de la tubería de presión (degradación y espesores).
- Realizar una limpieza profunda del sector con el fin de detectar cualquier cambio que pudiera ocurrir.
- Encauzar las filtraciones de la galería, que impactan sobre la tubería, para evitar la degradación del revestimiento o la deposición de carbonatos sobre la misma.
- Realizar un tratamiento de protección anticorrosiva de la tubería de presión.
- Realizar una inspección del interior de la tubería.
- Realizar ensayos programados y protocolizados de los equipos de descarga de fondo.
- En época de crecidas cuando se evacuan caudales por el vertedero, realizar descargas por el descargador de fondo, con el objeto de extraer material sedimentado y provocar renovación de las aguas muertas profundas del embalse.

4.4 Capacidad de evacuación y estado del vertedero

En base a los nuevos cálculos de la crecida de diseño se requiere verificar la capacidad del vertedero. Durante la visita se explicó que en ocasión de las crecidas producidas por el huracán Mitch, se produjeron desbordes a ambos lados de los muros de contención. Por otro lado, se requiere conocer el estado del cuenco amortiguador y de la erosión aguas abajo en el cauce (Fotografía 6.14).



Fotografía 6.14 Vertedero, canal de descarga

Acciones: Realizar:

- El cálculo de la capacidad de descarga del aliviadero para la crecida de diseño actualizada.
- Inspección del cuenco amortiguador.
- Relevamiento batimétrico del cauce aguas abajo.

4.5 Sistema de alerta temprana

No se cuenta con una red de alerta temprana pluviométrica e hidrométrica para operación del embalse en ocasión de crecidas.

Acciones: Proyectar y materializar un sistema que permita a los operadores contar con información en tiempo real, a partir de estaciones pluviométricas e hidrométricas en las nacientes y cauces de aporte a la cuenca y modelos de predicción dedicados, para tomar decisiones durante los eventos hidrológicos en la época de lluvias.

5. REQUERIMIENTOS BASICOS A DESARROLLAR

5.1 Garantía de provisión de agua y seguridad operativa de los embalses

La presa-embalse Nacaome fue diseñada y construida en el siglo pasado, con el objetivo principal de acumular agua para garantizar los requerimientos de consumo para las poblaciones ubicadas en los valles aguas abajo, así como cubrir las demandas de riego en las épocas secas, reducir el impacto de las crecidas y proveer de energía, entre otras finalidades.

Probablemente por razones financieras y económicas se decidió construir la obra en dos etapas, dejando la implementación de compuertas de regulación en los vanos del

vertedero para una segunda etapa, con la cual podría aumentarse la capacidad útil del reservorio en 14 millones de m³, una vez generadas las demandas.

Transcurridos 26 años desde el llenado del embalse, se ha producido un aumento de la población que ha generado un incremento en la demanda de provisión de agua, al mismo tiempo que ha habido un aumento de la demanda para riego. Esta situación ha provocado la necesidad de operar el embalse con niveles más elevados, aumentando los riegos de inundaciones en las poblaciones aledañas al cauce, con impactos frecuentes en los sistemas de tomas de agua, entre otros.

5.1.1 Estudio de balance hídrico y operación segura del embalse.

Ambas demandas han aumentado y son superpuestas, por lo que se requiere un aumento del volumen útil del reservorio y un análisis profundo de las capacidades y normas de la seguridad operativa.

Desde el punto de vista de la seguridad, se requiere aumentar el volumen de amortiguación en el embalse, para reducir los daños en la infraestructura y aumentar la seguridad de los habitantes de aguas abajo.

Adicionalmente, se requiere garantizar el volumen de reserva de agua necesario para cubrir las demandas actuales y futuras.

Acciones: Instalación de compuertas en los vanos del vertedero.

5.2 Verificación Hidrológica

Con el transcurso del tiempo, desde que se hicieron los estudios básicos hidrológicos para determinar las crecidas de diseño, se pueden haber generado alteraciones en los resultados debido a, por ejemplo, cambios al considerar la nueva información registrada durante el período de explotación, incluida la ocurrencia de huracanes, en especial el Mitch 1998 y Agatha 2010, los cambios climáticos que están provocando largos períodos de sequías y fuertes tormentas, y la pérdida de volumen en los embalses por colmatación sedimentaria.

También se han producido cambios en los criterios de cálculos, verificación y operación de embalses multipropósitos, por lo que se requiere realizar un reanálisis del modo de operar los embalses.

Todos estos aspectos se encuentran expuestos en los recientes boletines del ICOLD, a saber:

- B 169 “Global Climate Change, Reservoirs and related Water Resources”
- B 170 “Flood Evaluation and Dam Safety”
- B 171 “Multipurpose Water Storage”

Acciones: Se requiere verificar la crecida de diseño con la información hidrológica actualizada, considerando la influencia del cambio climático, la información actual del volumen útil de atenuación (batimetría actual), el borde libre mínimo de la presa de enrocado y el período de recurrencia. Esta acción tiene por objeto atender las condiciones de alto riesgo frente a un sobrepaso, dado que aguas abajo se encuentran viviendas en riesgo.

5.3 Control de colmatación del embalse

El ingreso de sólidos al reservorio provoca en parte la pérdida del volumen útil, reduciendo progresivamente la capacidad de reserva y de amortiguación de las crecidas, así como la posible obturación de los órganos de descarga en la toma.

Acciones: Se requiere realizar un relevamiento topo-batimétrico a fin de conocer la evolución de la colmatación del embalse.

5.4 Verificación Sísmica

Las grandes represas fueron las primeras estructuras que han sido diseñadas contra los terremotos en casi todas partes del mundo. Sin embargo, en ese momento el peligro sísmico estaba representado típicamente por un coeficiente sísmico, por ejemplo, de 0.1 de g, casi independientemente del peligro sísmico en los sitios de la presa que a menudo no se conocía, mientras que para el análisis sísmico se utilizaba el método pseudoestático. Este concepto de diseño y análisis fue abandonado en 1989, cuando ICOLD publicó su moderna guía para la selección de parámetros sísmicos, Boletines 123 y 148 para grandes presas, actualizados en 2016.

Hoy en día, el método de análisis pseudoestático y la representación del peligro sísmico por un coeficiente sísmico, se consideran obsoletos o incluso incorrectos y, por lo tanto, ya no se utilizan. Debido a este cambio, no está claro si las muchas presas diseñadas contra los terremotos con dicho método cumplen los criterios de seguridad sísmica de hoy. Las presas bien diseñadas y construidas generalmente serían seguras, pero otras pueden resultar deficientes, especialmente aquellas ubicadas en áreas de sismicidad moderada a alta, que es el caso de esta presa. Por lo tanto, se deben realizar verificaciones de la seguridad sísmica de sus estructuras y utilizar métodos modernos para el análisis dinámico de la presa.

Acciones: Se requiere verificar la amenaza sísmica de la presa y verificar la seguridad dinámica de cada estructura.

5.5 Mantenimiento

Una cuestión importante es el mantenimiento, ya que la vida útil de una presa depende directamente de un mantenimiento adecuado. Las presas que se descuidan tienen una vida útil sorprendentemente corta, mientras que las presas bien mantenidas pueden estar en funcionamiento durante más de 200 años. Por lo tanto, a los propietarios les debería interesar proporcionar un mantenimiento adecuado. El mantenimiento no se debe considerar como un gasto, si no como una inversión a futuro que extiende la vida económica del proyecto.

5.6 Operación segura y vigilancia

Esto incluye revisiones periódicas de seguridad cuando se introducen nuevos criterios de diseño para el cálculo de las crecidas de diseño, terremotos o nuevos datos sobre terremotos, inundaciones u otros riesgos relacionados de importancia estratégica.

La vigilancia adecuada realizada en forma sistemática (mensual, semestral, anual y experta de nivel 3) en función de la vida útil de la presa (Figura 7.1), es el único modo de aumentar la seguridad, dado que permite detectar situaciones anómalas o evolutivas que, advertidas a tiempo, posibilitan la implementación de tareas remediales o de rehabilitación, tendientes a continuar con una operación segura.



Figura 7.1 Frecuencia de inspecciones expertas

El objetivo final de la seguridad de presas sería conservar un alto grado de seguridad para las personas que viven aguas abajo de una presa, sea esta nueva, de mediana edad o vieja (visión desde la perspectiva del análisis de riesgo). Por lo tanto, es muy importante que se sigan las directrices internacionales en los proyectos de presas en explotación existentes.

En base a esto surge que de acuerdo con la información recibida la presa estaría clasificadas como una gran presa, por lo que deberían seguirse las recomendaciones de los Boletines Técnicos del ICOLD para la operación, vigilancia y mantenimiento de grandes presas, siendo recomendable, en el caso de la vigilancia, la aplicación de los boletines N° 138 y 158, así como la Política de Seguridad de Presas del Banco Mundial (OP 4.37).

5.7 Manuales y normas operativas

Las actividades de operación y mantenimiento de las obras civiles y electromecánicas, así como las de instrumentación y control, deben ser compendiadas y ordenadas en manuales. Así como en el caso de la operación de los órganos de descarga durante las crecidas, las que deben ser preestablecidas en normas operativas y no dejarlas a criterio del operador de turno.

Todos estos documentos deben ser revisados periódicamente y aprobados por la autoridad competente.

Acciones: Se requiere confeccionar las normas de operación del embalse, los manuales de cada estructura y de los sistemas de instrumentación y control.

5.8 Paneles de Expertos

El Banco por medio de la “Política Operacional OP 4.37” ha establecido estándares de seguridad de presas, aplicados a las obras financiadas por la entidad y que hoy día son de aplicación extensiva a nivel mundial como, por ejemplo:

- La revisión por parte de un Panel Independiente de Expertos (Integrado por

tres o más especialistas) en las etapas de la investigación, el diseño, la construcción, rehabilitación de la presa y el inicio de las operaciones.

- Precalificación de oferentes durante el proceso de licitación y contratación.
- Planes para la supervisión de la construcción y aseguramiento de la calidad, plan de instrumentación, plan de operación y mantenimiento.
- Plan de preparación para emergencias.
- Implementación de inspecciones de seguridad periódicas de la presa por parte de Expertos (Panel de Seguridad), después de la finalización de las obras y durante toda su vida útil.

En base a lo definido por la OP 4.37, para realizar el seguimiento de las tareas de implementación del “Programa de seguridad de presas”, requerimientos de investigación y rehabilitación de las obras, se requiere conformar un Panel Independiente de Expertos con especialidades en:

- Hidrología e hidráulica para la verificación de las crecidas de diseño, capacidades de los vertederos y operación de embalses, así como en la implementación de sistema de alerta temprana.
- Presas (verificación sísmica, erosión interna, filtraciones, eficiencia de las cortinas de inyección y drenaje, estabilidad de taludes, otros). Dado que se trata básicamente de dos tipos de presas, se debería designar un especialista para la presa de materiales sueltos o enrocados y otro para la de gravedad.
- Seguridad de Presas (instrumentación, inspecciones, diagnóstico de comportamiento, detección de modos de falla, análisis de riesgo, planes de acción ante emergencia, procesamiento de información, planes de mantenimiento y sistema automático de control con emisión de alarmas, entre otros).

5.9 Análisis de riesgo

De acuerdo al estado del arte de la seguridad de la presa en operación se sugiere realizar un análisis de riesgo y clasificación de la presa, con el objeto de priorizar la realización de las tareas que implican un mayor riesgo, para lo cual se debe realizar un estudio específico de la presa y del sistema en conjunto, el cual pretende servir de ayuda en las decisiones para la identificación, análisis y descripción detallada de los modos de falla en el sistema presa-embalse.

La finalidad principal del estudio es calificar cuantitativamente el estado de cada obra y sus consecuencias ante una falla, con las pautas estandarizadas internacionalmente que se deben seguir para realizar dicho análisis.

El trabajo debe ser realizado por un grupo multidisciplinario con conocimiento profundo del proyecto, en modos de falla, operadores, responsables de mantenimiento, responsables de la seguridad de la presa, seguridad institucional, Defensa Civil, Municipios afectados, Bomberos, fuerzas de seguridad, etc.

La secuencia para realizar el mencionado análisis implica en primer lugar un trabajo de forma individual y posteriormente una interacción grupal, de modo de tener en cuenta todos los puntos de vista de los involucrados.

- A. Confección de ficha técnica de la presa (descripción de las características de las obras de retención, descarga y operación)
- B. Revisión y análisis de la información
- C. Propuesta individual de modos de falla
- D. Factores a favor y en contra de los modos de falla grupales
- E. Clasificación de los modos de falla grupales
- F. Necesidad de actuación sobre modos de falla grupales
- G. Necesidad de reducción de vulnerabilidad

Un modo de falla constituye una secuencia particular de eventos que puede dar lugar a un funcionamiento inadecuado del sistema presa-embalse o una parte del mismo. Esta serie de sucesos debe estar asociada a un determinado escenario de solicitación y tendrá una secuencia lógica; la cual constará de un evento inicial desencadenante, una serie de eventos de desarrollo o propagación y culminará por la rotura de la presa.

En principio, se debe analizar cualquier modo de falla con potencial para producir una evacuación incontrolada de caudales y, por tanto, con potencial para causar daños sobre la vida humana. Así mismo, el análisis de los modos de falla no se reduce exclusivamente a las estructuras de retención de un embalse, sino que tiene en cuenta cualquier infraestructura incluida en el sistema presa-embalse.

La auscultación resulta clave en la observación y diagnóstico del comportamiento de la presa, de esta manera ayuda en el establecimiento de un conjunto de umbrales preventivos para los diferentes controles durante la explotación; además constituye una herramienta importante para ayudar a detectar diversos modos de falla.

5.10 Planes de acción ante Emergencia

Consiste en la elaboración de un plan de acción a ser utilizado en el caso de generarse la rotura de una presa o una situación de vertido de caudales extraordinarios. Estará basado en normas y usos internacionales, atendiendo asimismo a lo requerido por la legislación local.

El alcance de los trabajos a realizarse para la elaboración de un Plan de Acción para Emergencias se compone de las siguientes actividades:

- Recopilación de la información.
- Obtención de información topográfica e hidrológica.
- Ordenamiento de datos y análisis de antecedentes para los estudios hidrodinámicos y definición de la extensión del área a analizar.
- Elaboración del estudio de rotura definiendo los tipos de rotura (estudio de la brecha) y escenarios de riesgo para la obtención de la onda de rotura.
- Elaboración de los mapas de inundación a partir de la simulación hidrodinámica de los escenarios de rotura. Además de las características de la planicie de inundación, la modelación considerará los asentamientos poblacionales y singularidades (viviendas, equipamientos, caminos, puentes, líneas de alta tensión, etc.).
- Definición de secciones de interés, con la siguiente información: Niveles

máximos que alcanzaría el agua, caudal máximo, tiempo de arribo de la onda de crecida y tiempo para alcanzar el nivel máximo.

- Elaboración del Manual del PAE en el cual se definen:
 - Responsabilidades.
 - Identificación y evaluación de las emergencias.
 - Acciones preventivas.
 - Diagrama de avisos.
 - Procedimientos de notificación.
 - Sistema de comunicaciones.
 - Accesos a la Presa.
 - Respuestas durante periodos de oscuridad.
 - Respuesta durante periodos de mal tiempo.
 - Suministros de equipo.
 - Acopio de materiales y repuestos disponibles.
 - Fuentes de energía de emergencia.
 - Sistemas de alarma.

5.11 Capacitación

La capacitación del personal técnico responsable de la operación, mantenimiento y la seguridad de la presa, resulta uno de los aspectos importantes para llevar a cabo la implementación del “PROGRAMA DE SEGURIDAD DE LA PRESA”.

Al respecto se sugiere la realización de un curso teórico práctico profundo que abarque la totalidad de los aspectos vinculados a la temática.

El programa del curso debería estar estructurado para responder a las siguientes preguntas claves:

- ✓ ¿Por qué es importante la seguridad de presas?
- ✓ ¿Cuáles son los componentes más importantes que deben incluir los planes efectivos para la seguridad de presas?
- ✓ ¿Cómo desarrollar, actualizar y poner a prueba un plan de emergencia, planes de mantenimiento y planes de vigilancia?

Debería incluir entre otros los siguientes tópicos:

- Introducción a la seguridad de presas
- Aspectos vinculados al diseño seguro de las presas de enrocado con núcleo y de gravedad correspondiente a las tipologías de las estructuras en operación.
- Riesgo en la operación de las presas.
- Procedimientos de vigilancia.
- Inspección de presas, inspecciones especiales.

- Control y prueba del equipo hidro-electromecánico vinculado a la seguridad.
- Control de parámetros y dispositivos de medición.
- Mantenimiento de sistemas de vigilancia, envejecimiento.
- Proyectos de re-instrumentación.
- Nuevos instrumentos y sistemas de control aplicados a la vigilancia de presas.
- La automatización aplicada a la vigilancia de presas, su fundación y entorno.
- Procesamiento, análisis de datos y gestión de la documentación de la presa.
- Diagnóstico del comportamiento.
- Análisis de riesgo.
- Planes de Emergencia.

Se deberían realizar prácticas de campo, con el objetivo de vincular los modos de falla con los procedimientos de inspección y elaborar las guías protocolizadas para el seguimiento de cada estructura.

6. AUTORIDAD DE SEGURIDAD DE PRESAS Y NORMAS

La inexistencia de una legislación nacional que regule la seguridad de las presas y de normas que establezcan los requisitos que deben cumplir las presas en operación, para determinar su grado de riesgo o potencial de daños en la zona de posible inundación aguas abajo, implica un vacío en la legislación referente al tema de seguridad, dejando a criterio personal el nivel de exigencias en la operación de las presas y los embalses.

El ICOLD en su boletín 167 (Regulation of Dam Safety – An overview of current practice world wide) expresa entre otros conceptos; que las normas requieren de una Autoridad de aplicación, independiente de los operadores, con atribuciones, obligaciones bien definidas y fuerza de ley.

En el caso de la presa analizada se observa entre otras, las siguientes situaciones:

- a. No existen normas y no se han desarrollado los requerimientos para la confección de diagnósticos del estado de seguridad, en función del análisis de la información de la auscultación.
- b. No está explicitada la obligatoriedad de contar con Manuales de operación de los embalses en época de crecidas, de operación y mantenimiento de las obras civiles e hidromecánicas y Manual de vigilancia e instrumentación.
- c. No se define el requerimiento de obligatoriedad de generar un Archivo de documentación activo, aspecto importante para una explotación segura a lo largo de la vida de la presa.
- d. No se cuenta con planes de acción ante emergencia ante rotura de la presa.

7. PLAN DE ACCIÓN

Se requiere contar con un plan de trabajos tendiente a colocar a la presa dentro de un estándar de seguridad aceptable internacionalmente, para ello se propone realizar como primera medida acciones inmediatas y a corto plazo, para garantizar la

seguridad de las presas, dentro de las cuales se sugiere priorizar las siguientes tareas:

1. Programa de capacitación enfocado a la vigilancia y mantenimiento de presas.
2. Revisar el estado de la instrumentación y sistemas de control de la presa. Realizar un proyecto e implementación de re-instrumentación y automatización.
3. Realizar la limpieza y tala de árboles en los estribos y pie de presa para poder realizar inspecciones detalladas.
4. Aumentar la capacidad del embalse para mejorar la garantía de provisión de agua y reducir el impacto de las crecidas en las poblaciones de aguas abajo. Revisar el proyecto existente.
5. Planes de acción ante Emergencia - Estudio de rotura de las presas y elaboración de mapas de inundación
6. Análisis de riesgo

A partir del estudio de análisis de riesgo y como resultado del mismo, se priorizarán las tareas que tengan mayor impacto en la reducción del riesgo estructural y operativo.

ANEXO A

ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE COSTOS

En este Anexo se han resumido las estimaciones presupuestarias preliminares de la totalidad de las tareas, de distinta índole que se requieren para realizar estudios, investigar, desarrollar proyectos, implementar controles y rehabilitar las estructuras, cuyo monto resulta de la necesidad de invertir para poder operar con seguridad las presas y desarrollar estudios y diseños acordes al estado del arte.

En la siguiente tabla se resumen las estimaciones presupuestarias preliminares siguiendo el desarrollo del informe, ordenadas en acciones inmediatas y a corto plazo, mediano y largo plazo, destacando en cada tarea el porcentaje de incertidumbre.

Presa Nacaome (José Cecilio del Valle) U\$S					
Ítem Informe	Tareas	Costo por etapa			Incertidumbre %
		Inmediato y Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo	
Sistema automatico de medicion					
4.1.1	Evaluación del estado del sistema automático de medición y control de la instrumentación eléctrica.	28000			Est +/- 30%
	Renovación del hardware y software de control operativo.	170000			Est +/- 20%
	Implementación de un software de auscultación (tratamiento bases de datos de la información automática y de lectura manual).	32000			Est +/- 10%
Control de presion de poros					
4.1.2	Nueva unidad lectora de instrumentos eléctricos a cuerda vibrante.	7000			Est +/- 20%
	Nueva sonda graduada, para medición de niveles freáticos o piezométricos.	1200			Est +/- 20%
	Reacondicionar los instrumentos defectuosos o reemplazar aquellos que dejaron de funcionar.	87000			Est +/- 50%
Sistema de coleccion y control de caudales					
4.1.3	Reproyectar el sistema de aforo.	5000			Est +/- 10%
	Cambiar las placas de aforos y colocar escalas graduadas de precisión.	12000			Est +/- 30%
	Instalar secciones de aforos en las galerías, con el fin de sectorizar y tener controles parciales y totales de las distintas zonas de aporte de filtraciones.	3000			Est +/- 20%
	Estudiar el impacto del bombeo en el aforador ahogado que colecta las aguas provenientes de la presa de enrocado.	4000			Est +/- 10%
Sistema de control de deformaciones					
4.1.4	Implementar un programa de mantenimiento de los péndulos y remplazo de los sistemas automáticos de medición.	70000			Est +/- 30%
	Remplazar el extensómetro mecánico y un marco de calibración.	5000			Est +/- 20%
	Diseñar, construir y medir las deformaciones externas a través de un sistema de control microgeodésico (precisión +/- 1 mm).	250000			Est +/- 40%
4.1.5	Instalar instrumental de control sísmico (estudiar ubicación).		12000		Est +/- 20%
Sistema de coleccion de drenajes en galerías de drenaje e inspección					
4.2	Realizar un programa con el fin de mejorar y mantener el sistema de drenaje activo.	1000			Est +/- 20%
	Ejecutar la limpieza profunda con hidrolavadora de alta presión y dar mantenimiento continuo al sistema de drenaje de la fundación y del cuerpo de la presa.	8000			Est +/- 20%
	Colocar sifones donde se observen depósitos de carbonatos de calcio, para evitar el ingreso de aire al interior de los drenes y la precipitación de carbonatos en el interior de los mismos, lo que con el tiempo provoca colmatación y obstrucción del dren.	2000			Est +/- 40%
	Emboquillar los drenes que tienen caudal y realizar mediciones volumétricas.	3000			Est +/- 20%
	Realizar análisis físico-químico y bacteriológico del agua y los materiales provenientes de los drenes, para controlar su evolución cada 6 meses.	600	600	600	Est +/- 30%

“Proyecto de Seguridad Hídrica en el Corredor Seco de Honduras”

	Toma de agua				
4.3.1	Ejecutar el mantenimiento programado de los elementos electro-mecánicos, en especial de los esquemas de protección anti corrosiva.		15000	180000	Est +/- 30%
	Realizar ensayos de colocación de las ataguías y cierre de la tubería.	2500			Est +/- 30%
	Cámara de operación de la compuerta de guardia				
4.3.2	Implementar un programa de mantenimiento continuo de los sistemas de operación y remplazo de las electroválvulas dañadas.		35000		Est +/- 30%
	Instalar un generador de emergencia, (back up para operación de las compuertas y válvula disipadora de la descarga de fondo).		18000		Est +/- 40%
	Tubería de presión y descarga de fondo				
4.3.3	Realizar una investigación del origen de los finos que se encuentran en el dren de la galería de acceso	2000			Est +/- 30%
	Realizar un relevamiento detallado del estado de la galería y de la tubería de presión (degradación y espesores)		6000		Est +/- 30%
	Realizar una limpieza profunda del sector con el fin de detectar cualquier cambio que pudiera ocurrir	3000			Est +/- 10%
	Encauzar las filtraciones de la galería, que impactan sobre la tubería, para evitar la degradación del revestimiento o la deposición de carbonatos sobre la misma	2500			Est +/- 10%
	Realizar un tratamiento de protección anticorrosiva de la tubería de presión			600000	Est +/- 50%
	Realizar una inspección del interior de la tubería	7000			Est +/- 30%
	Capacidad de transporte y estado del vertedero				
4.4	Estudio de la capacidad de descarga del aliviadero para la crecida de diseño actualizada		58000		Est +/- 30%
	Inspección del cuenco amortiguador		5000		Est +/- 30%
	Relevamiento batimétrico del cauce aguas abajo		12000		Est +/- 20%
	Sistema de alerta temprana				
4.5	Estudio y diseño del sistema de detección hidrológica	36000			Est +/- 20%
	Implementación del sistema (Materialización de las obras)			280000	Est +/- 30%
	Operación segura del embalse				
5.1	Estudio de balance hídrico y operación segura del embalse	55000			Est +/- 10%
	Proyecto para instalación de compuertas en los vanos del vertedero		270000		Est +/- 20%
5.2	Verificación hidrológica		130000		Est +/- 20%
5.3	Control de colmatación del embalse (relevamiento topobatimétrico)		25000		Est +/- 40%
5.4	Verificación Sísmica (amenaza sísmica y verificación dinámica)			75000	Est +/- 20%
5.7	Manuales y normas operativas		88000		Est +/- 30%
5.8	Análisis de riesgo	210000			Est +/- 20%
5.9	Planes de acción ante Emergencia		170000		Est +/- 30%
5.10	Capacitación	30000			Est +/- 10%
Totales por etapa		1036800	844600	1135600	
Total General					3017000

Tabla 1 Estimación presupuestaria