

**REPÚBLICA DEL PARAGUAY
ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA
BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO**

**PROGRAMA DE ENERGIA SOSTENIBLE
PARA EL DESARROLLO**

PLAN DE MODERNIZACIÓN Y REPOTENCIACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ACARAY



REVISIÓN DE LA SEGURIDAD DE LAS PRESAS ACARAY E YGUAZÚ

INFORME INTEGRADO N° 2 EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS OBRAS Y ACCIONES RECOMENDADAS

AGOSTO 2018

**CONSULTORES
ING. GEÓLOGO JUAN BUSTINZA
ING. ELECTRICISTA RAÚL CASARINO
ING. CIVIL MARCELO ETCHEGORRY
ING. MECÁNICO ABEL GROSSO**

REVISIÓN DE LA SEGURIDAD DE LAS PRESAS ACARAY E YGUAZÚ

INFORME INTEGRADO N° 2 EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS OBRAS Y ACCIONES RECOMENDADAS

AGOSTO 2018

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. OBJETO DEL INFORME..... | 1 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 3. CAPACIDAD DE EVACUACIÓN DE LOS ÓRGANOS DE DESCARGA ... | 2 |
| 3.1 Aspectos generales..... | 2 |
| 3.2 Capacidad de evacuación de afluencias extremas..... | 3 |
| 3.2.1 Afluencias consideradas..... | 3 |
| 3.2.2 Presa Yguazú..... | 3 |
| 3.2.3 Presa Acaray:..... | 4 |
| 3.3 Capacidad de desembalse en caso de necesidad | 5 |
| 3.3.1 Hipótesis de trabajo:..... | 5 |
| 3.3.2 Acaray:..... | 7 |
| 3.3.3 Yguazú:..... | 7 |
| 4. PRESAS DE MATERIALES SUELTOS | 8 |
| 4.1 Acaray | 8 |
| 4.1.1 Investigación sobre el estado del terraplén | 8 |
| 4.1.2 Revisión de las condiciones de estabilidad | 9 |
| 4.2 Yguazú | 10 |
| 4.2.1. Investigación sobre el estado del terraplén..... | 10 |
| 4.2.2. Revisión de las condiciones de estabilidad..... | 10 |
| 5. PRESAS DE HORMIGÓN | 11 |
| 5.1 Acaray | 11 |
| 5.1.1. Determinación del estado de subpresiones..... | 11 |
| 5.1.2. Adecuación del sistema de drenaje..... | 11 |
| 5.1.3. Revisión de las condiciones de estabilidad..... | 11 |
| 5.1.4. Reparaciones en el hormigón..... | 12 |
| 5.1.5. Caída de rocas frente a la entrada de la galería..... | 12 |
| 5.2 Yguazú | 12 |
| 5.2.1. Determinación del estado de subpresiones..... | 12 |
| 5.2.2. Adecuación del sistema de drenaje..... | 12 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.2.3. | Revisión de las condiciones de estabilidad..... | 13 |
| 5.2.4. | Reparaciones en el hormigón..... | 13 |
| 6. | ESTUDIOS DE ESTABILIDAD..... | 13 |
| 6.1 | Conceptos generales..... | 13 |
| 6.2 | Escenarios de carga a considerar | 14 |
| 6.3 | Análisis de estabilidad de la presa de materiales sueltos de Yguazú | 15 |
| 7. | ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE AUSCULTACION | 15 |
| 7.1 | Conceptos generales..... | 15 |
| 7.2 | Re-instrumentación | 17 |
| 7.2.1 | Microgeodesia..... | 18 |
| 7.2.2 | Triaxiales mecánicos..... | 19 |
| 7.2.3 | Niveles de saturación en las presas de materiales sueltos..... | 19 |
| 7.2.4 | Subpresiones en la fundación de las presas de hormigón..... | 19 |
| 7.2.5 | Control de filtraciones..... | 20 |
| 7.2.6 | Nivel de embalse..... | 20 |
| 7.2.7 | Aceleraciones sísmicas | 21 |
| 7.2.8 | Información meteorológica | 21 |
| 7.3 | Inspecciones visuales..... | 21 |
| 7.4 | Manual de auscultación..... | 21 |
| 8. | EQUIPAMIENTO HIDRO-ELECTROMECAÁNICO | 22 |
| 8.1 | Aspectos generales..... | 22 |
| 8.2 | Equipamiento de los vertederos de superficie | 23 |
| 8.2.1 | Aspectos comunes al equipamiento de ambos vertederos:..... | 23 |
| 8.2.2 | Equipamiento del vertedero de la presa Acaray: | 24 |
| 8.2.3 | Equipamiento del vertedero de la presa Yguazú: | 24 |
| 8.3 | Equipamiento de los descargadores de fondo..... | 25 |
| 8.4 | Equipamiento de las tomas de generación..... | 27 |
| 8.5 | Equipamiento de los sistemas de bombeo de drenajes | 28 |
| 9. | ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA | 29 |
| 9.1 | Aspectos generales..... | 29 |
| 9.2 | Presa Acaray..... | 29 |
| a) | Alimentación eléctrica de emergencia:..... | 30 |
| b) | Alimentación eléctrica normal alternativa: | 31 |
| 9.3 | Presa Yguazú..... | 31 |
| a) | Alimentación eléctrica normal y de emergencia:..... | 31 |
| b) | Alimentación eléctrica normal alternativa: | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 10. ACCIONES DE EJECUCIÓN PRIORITARIA | 33 |
| 10.1 Acciones comunes a ambas presas | 33 |
| 10.1.1 Capacidad de evacuación | 33 |
| 10.1.2 Obras civiles..... | 33 |
| 10.1.3 Equipamiento hidro-electromecánico..... | 33 |
| 10.2 Presa Acaray | 34 |
| 10.2.1 Presa de materiales sueltos | 34 |
| 10.2.2 Presa de hormigón | 34 |
| 10.2.3 Equipamiento hidro-electromecánico..... | 34 |
| 10.3 Presa Yguazú..... | 35 |
| 10.3.1 Presa de materiales sueltos | 35 |
| 10.3.2 Presa de hormigón..... | 35 |
| 10.3.3 Equipamiento hidro-electromecánico..... | 35 |
| 11. SUPERVISIÓN DE LA REHABILITACIÓN DE LAS PRESAS | 35 |
| 11.1 Marco general..... | 35 |
| 11.2 Supervisión de las acciones prioritarias | 36 |

1. OBJETO DEL INFORME

El objeto de este informe – elaborado conjuntamente por el ingeniero geólogo Juan Bustinza, el ingeniero electricista Raúl Casarino, el ingeniero civil Marcelo Etchegorry y el ingeniero mecánico Abel Grosso, en adelante los autores – es el de resumir el resultado de la evaluación del estado de las obras civiles e instalaciones hidro-electromecánicas de las Presas Acaray e Yguazú y exponer las recomendaciones dirigidas a garantizar un grado de seguridad razonable para la operación de las mismas.

El presente constituye el Informe N° 2 (Final) y se complementa con nuestro anterior Informe N° 1 (Inicial) en el que se documentó la gestión de recopilación de antecedentes y los registros devenidos del reconocimiento del estado de las obras civiles e instalaciones hidro-electromecánicas de ambas presas realizado durante la visita a las mismas los días 10 al 13 de julio de 2018, el cual ofrece también una breve descripción e ilustraciones de las partes componentes comprendidas.

Ambos informes responden al requerimiento del acápite 4 de los términos de referencia de los respectivos contratos suscriptos en junio de 2017 con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por cada uno de los citados autores, en el marco de la solicitud de apoyo técnico al Equipo de la División de Energía que coordina el Ing. Roberto Aiello, Especialista Regional Principal de Energía (ENE/CPR) basado en la oficina del BID en Asunción del Paraguay.

El objetivo de dicho apoyo técnico es la revisión de las condiciones de seguridad que exhiben ambas presas con miras a la implementación del Plan de Corto Plazo de Modernización y Repotenciación de la Central Hidroeléctrica Acaray I y obras conexas del Complejo Acaray-Yguazú a través del Préstamo PR-L1156, incluyendo sustanciales mejoras en los sistemas de auscultación e instalaciones hidro-electromecánicas de dichas presas y sus sistemas de alimentación eléctrica, entre otras.

2. INTRODUCCIÓN

Completado el análisis de la información antecedente puesta a disposición por ANDE y una vez concluida la instancia de reconocimiento del estado de todas las obras civiles e instalaciones hidro-electromecánicas que guardan relación con la seguridad de las presas Acaray e Yguazú – aspectos contemplados en detalle en el Informe N° 1 –, este informe N° 2 avanza en el tratamiento de los temas inherentes a la seguridad que devienen de evaluar el estado de conservación y funcional que dichas obras e instalaciones exhiben al momento de la visita mencionada, para luego recomendar las acciones que los autores entienden conducentes a garantizar un razonable grado de seguridad en la operación de las referidas presas y permitir controlar la evolución de su estado.

Entre estas acciones se destacan aquellas que por su significación para la seguridad se considera menester privilegiar, atendiendo su prioritaria ejecución con la mayor anticipación posible, más aun contemplando que las intervenciones que redundarán en beneficio de la seguridad de las presas Acaray e Yguazú incluidas en el Plan de Corto Plazo que se estudia financiar con el Préstamo LR-1156 – recomendadas por la Consultoría SP10 a cargo de Manitoba Hydro International Utility Services, con la asistencia de la consultora canadiense Hatch –, se adjudicarán a partir de la puesta en vigencia de dicho préstamo.

A continuación se presentan los resultados de la evaluación y las recomendaciones de los autores ordenados por unidades temáticas que hacen a la problemática de la seguridad de este tipo de presas y sus instalaciones hidro-electromecánicas, incluyendo en su tratamiento – cuando resulta pertinente – aspectos inherentes al diseño, construcción, operación y mantenimiento de las partes componentes consideradas.

3. CAPACIDAD DE EVACUACIÓN DE LOS ÓRGANOS DE DESCARGA

3.1 Aspectos generales

Los órganos de las presas previstos exclusivamente para la descarga de caudales – es decir, el vertedero y los desagües de fondo – deben cumplir, conjunta o individualmente según los criterios con que hayan sido diseñados, con dos roles principales:

- a) Permitir la evacuación de los caudales máximos afluentes que de acuerdo con las premisas operativas del embalse exceden su capacidad de retención, con el propósito de evitar el sobrepaso de las estructuras de cierre; y
- b) Reducir el nivel del embalse ante la ocurrencia de fenómenos que pudieran afectar la integridad estructural de las presas o su estabilidad, a valores compatibles con la condición de falla.

El primero de dichos roles fue considerado en el marco de la Consultoría SP11 financiada por el BID, ante la avenida de la crecida máxima probable (CMP) estimada por MWH-IATASA-ELECTROCONSULT para los sitios de emplazamiento de las presas Acaray e Yguazú (Ver Referencia 11 en Informe N° 1).

El segundo fue objeto de atención por los autores a los fines del presente, contando para ello con la asistencia del ingeniero hidráulico Hernán Bargigia.

Los resultados de las respectivas evaluaciones se presentan y tratan en los acápites siguientes.

3.2 Capacidad de evacuación de afluencias extremas

3.2.1 Afluencias consideradas

Como se indicó más arriba, como resultado de la Consultoría SP11 concluida en agosto de 2017 (Ver referencia 11 en Informe N° 1), el consorcio de firmas a las que se le adjudicó la revisión de los estudios hidrológicos – MWH-IATASA-ELC – afirma, en relación con la crecida de diseño a adoptar para la verificación de la capacidad de evacuación de las obras, que en este caso “...se impone el diseño sobre la base de la Crecida Máxima Probable (CMP) en razón del nivel de riesgo compatible con las consecuencias de la falla de una presa sobre la vida y la actividad económica”.

Como parte de la referida revisión, el citado consorcio consultor realizó una estimación de la CMP y concluyó acerca de la capacidad de descarga de las presas Yguazú y Acaray, expresando en el acápite 7.6 “Conclusiones”:

- ✓ “Para la presa Yguazú, el caudal máximo afluente estimado es de 4.600 m³/s, y considerando diferentes políticas de operación y niveles máximos en el embalse, el caudal erogado está entre 500 m³/s y 2.500 m³/s. Estos valores son completamente compatibles con la capacidad de las obras de descarga existentes (ver Sección 4.3)”.
- ✓ “Para la presa Acaray, el caudal máximo afluente estimado, considerando diferentes políticas de operación y niveles máximos en el embalse, está entre 1.600 m³/s y 3.400 m³/s. Estos valores son completamente compatibles con la capacidad de las obras de descarga existentes (ver Sección 4.4)”.

A partir de los resultados obtenidos por el citado consultor se revisan a continuación sus implicancias en relación con la seguridad de las obras.

3.2.2 Presa Yguazú

La capacidad total de evacuación de la presa Yguazú, tal como se indicó en 4.1.2.a del Informe N° 1, contemplando la operación conjunta de los dos vertederos libres y el vertedero regulado por compuertas a plena apertura, asciende a 2.700 m³/s para el nivel de embalse máximo extraordinario dado por la cota 223,5; es decir, 0,5 m por encima del nivel de la cresta del vertedero libre y 4,0 m por debajo del coronamiento.

Este valor es superior al máximo caudal de 2.500 m³/s erogado según afirma MWH-IATASA-ELC “considerando una política de operación que regule el nivel máximo normal a cota 223,0 mientras que sea posible de acuerdo a la capacidad de descarga del vertedero regulado”, sin que el nivel del embalse supere el máximo extraordinario (223,5).

El antes citado menor caudal erogado aguas abajo de la presa Yguazú (500 m³/s) viene dado cuando se aplica “una política de operación del embalse que tienda a maximizar su capacidad de atenuación de crecidas debido a su gran capacidad de almacenamiento”. En

este caso la simulación efectuada por MWH-IATASA-ELC *“asume que inicialmente el embalse se encuentra en su nivel máximo de operación normal (223.00), que es coincidente con la cota de la cresta de los vertederos sin regulación. Durante la simulación del evento de CMP, las compuertas del vertedero central no son operadas con el objetivo de limitar la descarga a cambio de un incremento del nivel de embalse. Este incremento del nivel de embalse provoca un gran almacenamiento y es el responsable de la atenuación del pico de la crecida que se descarga hacia aguas abajo”*.

De resultados de esta simulación, el nivel de embalse operado según la política indicada en último término no superaría la cota 224,5; pudiendo en tal caso la descarga máxima de 500 m³/s ser atendida por el vertedero libre, no obstante el agua vertería por encima del labio superior de las compuertas radiales del vertedero regulado en caso de permanecer completamente cerradas.

Es decir, a los fines de la seguridad de la presa Yguazú en relación con el manejo del hidrograma de la crecida máxima probable (CMP), cabe concluir:

- ✓ La capacidad de evacuación total por los vertederos – libres más regulado – es suficiente para evitar el sobrepaso ante la CMP, sea cual fuere la política de operación del embalse;
- ✓ No se requiere del auxilio del descargador de fondo para alcanzar la capacidad de evacuación necesaria para manejar la CMP;
- ✓ Ambas compuertas radiales del vertedero regulado deben estar operativas para aplicar la política de operación que mantiene el nivel del embalse por debajo de su máximo extraordinario (223,5).

3.2.3 Presa Acaray:

Siendo el río Yguazú tributario del río Acaray, el hidrograma de la CMP en el sitio de la presa Acaray depende muy significativamente de la política de operación del embalse de la presa Yguazú, en razón de su gran capacidad de atenuación.

Según resulta de la Consultoría SP11, en función de la aludida política operativa el pico de la crecida estaría comprendido entre 1.600 m³/s y 3.400 m³/s, en tanto la capacidad de evacuación del vertedero de la presa Acaray operando en su nivel máximo normal de cota 185,2 es de aproximadamente 5.100 m³/s, en tanto para la cota de operación máxima extraordinaria de 187,0 – la que aún guarda una revancha de 2,2 m respecto de la cota 189,2 del coronamiento de la presa – el caudal total de descarga asciende a unos 7.000 m³/s.

También en este caso, sea cual fuere la política de operación del embalse de la presa Yguazú, a los fines de la seguridad de la presa Acaray en relación con el manejo del hidrograma de la crecida máxima probable (CMP) en el sitio de esta obra, cabe concluir:

- ✓ La capacidad de evacuación por el vertedero es suficiente para evitar el sobrepaso ante la crecida máxima probable (CMP);
- ✓ No se requiere del auxilio del descargador de fondo para alcanzar dicha capacidad de evacuación;
- ✓ Se requiere el concurso de al menos cinco (5) compuertas radiales de las siete (7) con que cuenta el vertedero de la presa Acaray para manejar la CMP manteniendo el nivel del embalse por debajo del máximo extraordinario (187,0).

Contemplando que para ambas presas el manejo de la CMP lo permite, se recomienda aplicar políticas operativas para el manejo de los embalses en las cuales el nivel máximo del pelo de agua no supere los respectivos valores máximos extraordinarios para los cuales las obras fueron diseñadas.

3.3 Capacidad de desembalse en caso de necesidad

3.3.1 Hipótesis de trabajo:

Sobre la base de las respectivas curvas cota-volumen de cada reservorio y las correspondientes a los caudales erogados independientemente por el vertedero y el desagüe de fondo informados para cada proyecto en función del nivel del embalse, se determinó la “capacidad” de los órganos de evacuación en caso de falla de una y otra de las presas consideradas, en términos de los tiempos que demandaría evacuar los volúmenes necesarios para:

- i) Descender el nivel del embalse un 10% respecto de la cota correspondiente al nivel máximo normal en la progresiva de mayor altura de la presa, operando sólo el vertedero mientras ingresa al embalse un caudal equivalente al módulo del río;
- ii) Vaciar el embalse hasta alcanzar el nivel de la cresta del vertedero regulado a partir del nivel máximo normal, operando el vertedero y el descargador de fondo mientras ingresa al embalse un caudal equivalente al medio del período de estiaje;
- iii) Ídem anterior pero operando sólo el vertedero, hasta alcanzar equilibrar el caudal afluente; y
- iv) Vaciar el embalse hasta el dintel de los conductos de desagüe de fondo a partir del nivel de la cresta del vertedero regulado, mientras ingresa al embalse un caudal equivalente al medio del período de estiaje.

Cabe destacar que la determinación planteada en el primer escenario es recomendada por el US Army Corps of Engineers (USACE) con el objeto de verificar que con los medios disponibles y en condiciones de afluencias normales es posible reducir en un plazo de no más de 10 días el nivel de embalse en el citado 10%.

Cabe aclarar que todas las estimaciones realizadas priorizaron la más pronta reducción de los niveles de los respectivos embalses a los fines de verificar si la capacidad de descarga instalada es suficiente para resguardar la seguridad de las obras; no obstante, es posible que los caudales erogados deban ser restringidos para preservar el medio socio-ambiental aguas abajo de las obras. El plan del eventual desembalse deberá definirse contemplando la condición que afecta la presa y las consecuencias para su entorno, de acuerdo con el Plan de Acción Durante Emergencias (PADE) de cada obra.

Los resultados obtenidos se informan en la Tabla N° 1.

| Tabla N° 1: Capacidad de Descarga de las Presas Acaray e Yguazú | | | |
|--|---|--------|------------|
| Hipótesis | Parámetros de Estado y Resultado | Presa | |
| | | Acaray | Yguazú |
| Descenso embalse un 10% altura máxima normal por compuertas vertedero desde NAMO | Cota coronamiento | 189,2 | 227,5 |
| | Cota umbral descargador de fondo | 158,0 | 188,0 |
| | Altura presa desde coronamiento a umbral descargador | 31,2 | 39,5 |
| | Nivel máximo normal embalse (NAMO) | 185,2 | 223,0 |
| | Altura embalse a descender (Aprox. hasta fundaciones) | 3,1 | 4,0 |
| | Nivel embalse reducido | 182,1 | 219,1 |
| | Caudal afluente adoptado (m3/s) = Módulo río | 188 | 80 |
| | Cantidad de compuertas vertedero disponibles | 7 | 2 |
| | Volumen total erogado (Hm ³) | 77 | 1.600 |
| | Caudal medio erogado (m3/s) | 3.200 | 1.900 |
| | Tiempo insumido (Horas) | 7 | 240 (10 d) |
| Vaciado embalse hasta cresta vertedero por compuertas vertedero y descargador fondo desde NAMO | Nivel cresta vertedero | 177,0 | 209,0 |
| | Caudal afluente adoptado (m3/s) = Medio del Estiaje | 135 | 50 |
| | Cantidad de compuertas vertedero disponibles | 7 | 2 |
| | Cantidad de compuertas descargador disponibles | 2 | 2 |
| | Volumen total erogado (Hm ³) | 172 | 4.900 |
| | Caudal medio erogado (m3/s) | 1.100 | 360 |
| | Tiempo insumido (Días) | 1 | 84 (2 ¼ m) |
| Vaciado embalse hasta equilibrio caudales por compuertas vertedero desde NAMO | Caudal afluente adoptado (m3/s) = Medio del Estiaje | 135 | 50 |
| | Cantidad de compuertas vertedero disponibles | 7 | 2 |
| | Nivel equilibrio caudales (1er Diferencia Razonable) | 177,9 | 210,5 |
| | Volumen total erogado (Hm ³) | 152 | 4.380 |
| | Caudal medio erogado (m3/s) | 720 | 300 |
| | Tiempo insumido (Días) | 3 | 180 (6 m) |
| Vaciado embalse desde cresta vertedero hasta el dintel del descargador de fondo por descargador de fondo | Nivel dintel descargador de fondo | 164,0 | 192,0 |
| | Caudal afluente adoptado (m3/s) = Medio del Estiaje | 135 | 50 |
| | Cantidad compuertas descargador de fondo disponibles | 2 | 2 |
| | Volumen total erogado (Hm ³) | 57 | 1.050 |
| | Caudal medio erogado (m3/s) | 470 | 200 |
| | Tiempo insumido (Días) | 2 | 84 (2 ¼ m) |

En los acápite siguientes se evalúan los resultados obtenidos para cada una de las presas consideradas.

3.3.2 Acaray:

El reducido volumen de embalse de la presa Acaray y la gran capacidad de evacuación del vertedero son los parámetros responsables de los muy bajos tiempos que demanda descender el nivel del embalse para todos los escenarios analizados, aún sin contar con la colaboración del descargador de fondo, también de gran capacidad en razón de haber sido dimensionado para conducir los caudales máximos esperados durante la etapa del desvío del río.

Nótese que el tiempo insumido para descender el embalse hasta unos 0,9 m por encima de la cota de la cresta del vertedero (177,0) sin la contribución del descargador sólo difiere en 2 días respecto del tiempo que se requiere para alcanzar la cresta con dicha contribución; estos resultados no varían sustancialmente aun siendo el módulo del río el caudal afluente.

Alcanzado dicho nivel (177,90) se habrá disminuido la altura del embalse en unos 7,3 m respecto del nivel máximo normal (185,2); es decir, la presión hidrostática se habrá reducido un 27% respecto de la máxima normal actuante sobre las zonas más profundas de la presa.

En tal caso, aun si en el sector de la presa sometido a la mayor solicitud del embalse un hipotético defecto hubiera disminuido el coeficiente de seguridad desde el admisible 1,5 a 1,1, la antes indicada disminución del nivel del embalse es suficiente para restituir dicho coeficiente a su valor admisible, en el supuesto que el aludido defecto responda linealmente a la variación de la carga que lo solicita.

El descargador de la presa Acaray resulta entonces necesario para atender la eventualidad de tener que descender el nivel del embalse por debajo de la cresta del vertedero, razón por la cual, a juicio de los autores, se justifica su oportuna rehabilitación.

No obstante ello, de persistir dudas entre la antes enunciada opinión de los autores respecto de la necesidad de rehabilitar el descargador de fondo de la presa Acaray y la emitida por MHI-HATCH en su Informe Final de Fase I (Ver Referencia 10 en nuestro Informe N° 1), para tomar una decisión definitiva al respecto se recomienda efectuar un análisis cuantitativo del riesgo residual de no practicar dicha rehabilitación luego de haber efectuado las intervenciones propuestas para mejorar la seguridad de las obras civiles de la presa y su vigilancia.

3.3.3 Yguazú:

El descenso del nivel del embalse de la presa de regulación Yguazú demanda, por su gran capacidad de acumulación, tiempos significativamente mayores; no obstante, se requieren razonables 10 días para disminuir el nivel del embalse un 10% respecto de la cota

correspondiente al nivel máximo normal en la progresiva de mayor altura de la presa, empleando como órgano de descarga sólo el vertedero regulado.

Sin embargo, como puede observarse en la Tabla N° 1, para acotar los tiempos insumidos a valores compatibles con la duración del estiaje, la contribución del descargador de fondo resulta imprescindible toda vez que se requiera descender el nivel del embalse a valores próximos a la cota de la cresta del vertedero, en razón del amesetamiento prolongado que presenta la curva de descarga de no contar con dicha contribución.

Es aproximadamente hasta la cota 212,0 que, aun ingresando el caudal medio estimado para el estiaje (50 m³/s), el vertedero regulado conserva una capacidad de evacuación razonable con la cual es capaz en 60 días de descender el embalse hasta ese nivel desde el nivel máximo normal (223,0).

Se habrá disminuido entonces la altura del embalse en 11,0 m; es decir, la presión hidrostática en la zona más solicitada de la presa se habrá reducido en este caso en un 31% de la máxima normal.

Al igual que fue expuesto para la presa Acaray, la antes indicada disminución del nivel del embalse es suficiente para restituir un coeficiente de seguridad admisible de 1,5 que a plena carga hubiera sido disminuido a 1,1 en razón de un hipotético defecto en el sector de la presa sometido a la mayor solicitación del embalse.

Cabe destacar que aun así, si se contara con la contribución de ambos conductos del descargador de fondo, ese tiempo se reduciría a 35 días; razón por la cual entendemos que se justifica proceder a su oportuna rehabilitación tanto por la obvia necesidad de contar con dicho equipamiento en caso de requerirse vaciar el embalse por debajo de la cresta del vertedero como por la significativa colaboración que éste presta para disminuir los tiempos de desembalse para niveles superiores.

Restituida la capacidad de evacuación total de la obra, el tiempo requerido para descender el nivel del embalse un 90% de su altura máxima normal será inferior a los 120 días que para este tipo de presas de regulación de gran capacidad de acumulación es recomendado por el USACE.

4. PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

4.1 Acaray

4.1.1 Investigación sobre el estado del terraplén

En el apartado 3.2.2.a de nuestro anterior informe se describió un “accidente grave” de migración de finos proveniente del núcleo que ocurrió desde el momento del primer embalse y durante al menos tres años, transportando un importante volumen de material

sólido en suspensión. La tarea de remediación ejecutada en el año 1972 consistente en la inyección de lechadas bentoníticas redujo significativamente la migración de finos, medido esto en el nuevo dren allí instalado, y si bien hoy se observa clara el agua drenada no se realizan determinaciones físico-químicas para determinar la eventual presencia de material sólido o en disolución, ni se efectúan controles de la eventual variación de su caudal.

Aunque mediante el control del agua se verifique hoy la efectividad de aquel tratamiento para detener el fenómeno, se desconoce la actual integridad del núcleo y consecuentemente el grado de estabilidad del terraplén en su conjunto.

Al considerarse que el cercano canal de desvío utilizado durante la construcción tiene un nivel de solera inferior al de la superficie de fundación del núcleo es lógico asumir que hacia él fluyen las aguas filtradas bajo el terraplén como se menciona en el apartado 3.2.1.j de nuestro anterior informe N°1. Tales filtraciones no son controladas ni en caudal ni en arrastre de sólidos.

Por ello se considera importante realizar una campaña de investigación mediante perforaciones que alcancen el sector que pudo haberse deteriorado con pérdida de material del cuerpo de la presa, y en función de sus resultados se diseñe y ejecute un plan de acciones adecuadas para restituir las condiciones eventualmente perdidas del núcleo, el que podría consistir en la reposición de material mediante nuevas inyecciones de material impermeable. Tal plan de acción debería contemplar un sistema de monitoreo eficiente que permita controlar el eventual reinicio de procesos de erosión interna. Para cumplir con este objetivo es necesario actuar sobre el canal de desvío hoy relleno con suelo funcionando a modo de dren de pie de presa y enmascarando el arrastre de finos que pudiese estar en desarrollo, instalando una cámara o caseta de control dentro del canal y a corta distancia del pie del terraplén para monitorear las variaciones de caudal y la eventual migración de finos.

4.1.2 Revisión de las condiciones de estabilidad

El desconocimiento de los actuales niveles de saturación del espaldón de aguas abajo, del grado de integridad del núcleo y la ocurrencia o no de un fenómeno de migración del núcleo impide determinar el actual grado de seguridad del terraplén. Si bien no se observan fenómenos de hundimiento o deslizamiento en el terraplén que pudiesen indicar un deterioro en las condiciones de estabilidad, se recomienda que luego de la revisión y eventual reparación del núcleo y una vez definidas las condiciones de saturación del terraplén mediante una auscultación específica, sean ejecutados sin demoras los estudios de estabilidad y la definición de los umbrales de saturación para las condiciones de normalidad, alerta y riesgo. Esto se describe en el apartado 6.

4.2 Yguazú

4.2.1. Investigación sobre el estado del terraplén

En el apartado 4.2.2.b de nuestro anterior informe N°1 se describió que el terraplén de margen izquierda muestra signos de deformaciones en el tramo próximo a su vinculación con la presa de hormigón, con hundimientos en el espaldón tanto aguas arriba como aguas abajo y la presencia de una cárcava inundada a pie de presa que recibe las aguas de filtración bajo el terraplén que podrían estar saturando el espaldón de aguas abajo afectando su estabilidad.

Esta posible saturación del espaldón no puede controlarse ya que no se cuenta con piezómetros convenientemente ubicados para ello y el enrocado que cubre su superficie impide visualizar eventuales niveles altos de afluencia. Si bien el caudal de las aguas de filtración es controlado en un aforador totalizador ubicado próximo a la restitución, el tránsito por el fangal de pie de presa dificulta la detección de eventuales fenómenos de migración de finos.

Al igual que lo ya mencionado para la presa Acaray, el desconocimiento de los actuales niveles de saturación del espaldón de aguas abajo y de la ocurrencia o no de un fenómeno de migración del núcleo impide determinar el actual grado de seguridad del terraplén. Es necesario entonces no demorar el inicio de una campaña de investigación diseñada para definir estos aspectos, caracterizando los parámetros geotécnicos de los diferentes materiales que integran el terraplén en sus diferentes zonas verificando la aptitud y magnitud de los materiales que integran el núcleo y los de transición que lo protegen, determinando las pendientes actuales de ambos espaldones y verificando el nivel de saturación del espaldón de aguas abajo. Esta campaña deberá incluir la construcción de un sistema de aforos a pie de presa adecuadamente diseñado para controlar caudales y el eventual desarrollo del fenómeno de arrastre de finos, así como proceder a restituir la geometría de los sectores de espaldón afectado.

4.2.2. Revisión de las condiciones de estabilidad

Con los datos aportados por dicha campaña, restituidas las condiciones geométricas del espaldón y determinadas las condiciones de saturación mediante auscultación específica, se deberán evaluar las condiciones de estabilidad de este sensible sector de la presa frente a diferentes escenarios, así como establecer los umbrales de saturación correspondientes a las situaciones de normalidad, alerta y riesgo. Esto se describe en el apartado 6.

5. PRESAS DE HORMIGÓN

5.1 Acaray

5.1.1. Determinación del estado de subpresiones

Como se explicó en el apartado 3.2.1.c de nuestro anterior Informe N°1, los cálculos de estabilidad asumen que la acción combinada de las cortinas de inyección y drenaje tiene una eficiencia del 50% en la reducción de las subpresiones provocadas por el máximo nivel de embalse. Hoy tales valores de sub-presión no pueden registrarse y por ello no es posible verificar el grado de estabilidad de la estructura frente a los distintos escenarios de carga requeridos en las normativas actuales de ingeniería de presas. La presencia de afluencias de agua por conductos de inyección mal selladas y a media altura de los hastiales de la galería podría sugerir que las subpresiones no son nulas.

Es necesario entonces instalar nuevos piezómetros en la fundación de la estructura mediante perforaciones convenientemente orientadas que permitan evaluar los niveles de subpresión en diferentes bloques y controlar su evolución a lo largo del tiempo y en diferentes escenarios de carga. Esta tarea no debería ser demorada dada la importancia del nivel de subpresiones en las condiciones de estabilidad de esa estructura.

5.1.2. Adecuación del sistema de drenaje

La galería inferior aloja drenes ascendentes para drenar las juntas verticales entre módulos y los contactos entre tongadas, y drenes descendentes para aliviar las sub-presiones en la fundación. Estos últimos son los que tienen mayor afectación sobre la estabilidad de la presa y sin embargo se encuentran obstruidos por carbonatación que reduce o anula su eficiencia para aliviar eventuales subpresiones, presentando además dificultades para aforar caudales. Es necesario entonces ejecutar aquí la misma tarea de desobstrucción que en el año 2013 se realizó en la presa de Yguazú.

Para evitar una nueva carbonatación, se recomienda que todos los drenes finalicen con un sifón que evite el ingreso de oxígeno y facilite el aforo particular de cada uno de ellos lo cual permite, ante una eventual variación anormal en los caudales totales aforados en las piletas aforadoras, detectar el sector de presa que la origina.

5.1.3. Revisión de las condiciones de estabilidad

Una vez adecuado el sistema de drenaje e instalados los piezómetros en la fundación deben revisarse sin demoras las condiciones de estabilidad de la presa de hormigón, estableciendo además los umbrales de medición para condiciones de normalidad, alerta y riesgo. Esto se describe en el apartado 6.

5.1.4. Reparaciones en el hormigón

En el vertedero a pelo libre y en el sector de la presa regulada con compuertas, se ha podido observar que no se encuentran fisuras estructurales en el hormigón que pudieran provocar daños sensibles. En las rápidas del vertedero se pudo observar la necesidad de realizar reparaciones en el hormigón para su reacondicionamiento integral, incluyendo sellado de fisuras. También se recomienda proceder al sellado de juntas en el coronamiento de la presa que evite el ingreso de las filtraciones por precipitaciones.

5.1.5. Caída de rocas frente a la entrada de la galería

Tal como se indicó en el apartado 3.21.I de nuestro informe N°1, a la entrada de la galería de inspección y drenaje se debe proceder a la remoción tanto de los bloques caídos como de los inestables que actualmente enfrentan la entrada de la misma. Para su reacondicionamiento se recomienda aplicar medidas de protección estáticas y/o dinámicas; entre las primeras se encuentran el refuerzo con anclajes y malla y entre las segundas a enmallados fijados en la zona superior y sueltas sobre el talud de tal modo de permitir la caída de los bloques al pie pero sin proyección sobre el acceso a la galería. El empleo de uno de estos sistemas o la combinación de ambos según sectores, debe provenir de un estudio de las condiciones geoestructurales del talud.

5.2 Yguazú

5.2.1. Determinación del estado de subpresiones

Como se mencionó en el apartado 4.2.1.c de nuestro anterior Informe N°1, esta presa no fue equipada con piezómetros que permitiesen controlar las subpresiones como así tampoco se implementó una cortina de inyecciones normalmente dispuesta bajo las presas para reducirlas contribuyendo así a la estabilidad de la estructura. Debe recordarse que la presa se funda en un macizo rocoso basáltico que normalmente presenta una permeabilidad secundaria significativa.

Por tal razón, se considera importante instrumentar sin demoras esta presa con piezómetros en su fundación cuyo diseño permita controlar el nivel de subpresiones, mediante la ejecución de perforaciones desde el interior de la galería.

5.2.2. Adecuación del sistema de drenaje

En el año 2013 se procedió a la eliminación del carbonato que obstruía los drenes que hoy se encuentran en buenas condiciones. Sin embargo, al igual que lo mencionado para la presa Acaray es necesario equiparlos con sifones para evitar una nueva carbonatación y facilitar su aforo individual.

5.2.3.Revisión de las condiciones de estabilidad

Estando en buenas condiciones de operatividad el sistema de drenaje, una vez instalados los piezómetros en la fundación deben revisarse las condiciones de estabilidad de la presa de hormigón, estableciendo además los umbrales de medición para condiciones de normalidad, alerta y riesgo. Esto se describe en el apartado 6.

5.2.4.Reparaciones en el hormigón

Al igual que en Acaray no se observaron aquí fisuras que pudiesen comprometer la integridad estructural de las obras de hormigón; sin embargo se observaron fisuras en las rápidas de ambos vertederos en los que para lograr su integral reacondicionamiento es necesario realizar reparaciones incluyendo sellado de fisuras en el coronamiento de la presa para evitar el ingreso de las filtraciones por precipitaciones.

6. ESTUDIOS DE ESTABILIDAD

6.1 Conceptos generales

En las presas de materiales sueltos deben analizarse los estudios antecedentes de estabilidad de las presas y desarrollar los que se consideren necesarios, adoptando los parámetros geotécnicos correspondientes a cada material constitutivo de las presas. Los modelos de flujo y estabilidad deben desarrollarse en las secciones típicas respetando su configuración real (zonificación, geometría, etc.) y especialmente en las afectadas por fenómenos de erosión interna o deformaciones para los escenarios de carga citados en el apartado siguiente.

En las presas de hormigón deben realizarse los estudios de verificación de estabilidad, adoptando las subpresiones resultantes de considerar diferentes grados de eficiencia de las cortinas de inyección y drenaje.

La estabilidad de las presas debe ser asegurada para cada una de las diferentes solicitaciones a las que se verá sometida durante su vida útil, debiendo verificarse los distintos escenarios de cargas combinados utilizando procedimientos de equilibrio límite bidimensional considerando, claro está, las reales propiedades resistentes de los materiales constitutivos.

Para el caso de las presas de materiales sueltos, como se explicó anteriormente, es necesario investigar las condiciones geotécnicas actuales de los materiales constitutivos, especialmente el núcleo probablemente deteriorado por los episodios de migración de finos comprobados en Acaray, y supuestos en Yguazú. Esta investigación previa es la mencionada en los apartados 4.1.1 y 4.2.1

En cada caso se debe utilizar software validado y de aplicación reconocida en el ámbito de la ingeniería de presas.

6.2 Escenarios de carga a considerar

Los análisis de estabilidad de las presas deben desarrollarse atendiendo a los siguientes escenarios de carga, resultantes del conjunto de solicitudes esperables sobre la presa:

✓ Escenario 1- Solicitaciones usuales:

Es aquel propio de un comportamiento normal de la presa para niveles de embalse no superiores al de operación normal. En las presas de materiales sueltos, una óptima eficiencia del núcleo impermeable y del dren suficiente para limitar el nivel de saturación a la base del espaldón de aguas abajo. En las presas de hormigón una eficiencia de las cortinas de inyección y drenaje del 50%

✓ Escenario 2 - Solicitaciones poco usuales o excepcionales:

Se considerarán estas tres variantes de carga:

- Escenario 2a: Nivel de embalse máximo extraordinario. Una eficiencia tanto del núcleo y dren en las presas de tierra como de las cortinas de inyección y drenaje en las presas de hormigón, igual al del escenario 1.
- Escenario 2b: Nivel de embalse no superior al de operación normal como en el escenario 1. En las presas de materiales sueltos un nivel piezométrico resultante de una posible pérdida de eficiencia en el núcleo y dren. En las presas de hormigón una pérdida total de eficiencia en las cortinas de inyección y drenaje.
- Escenario 2c: Nivel de embalse igual al de operación normal como en el escenario 1. Una eficiencia tanto del núcleo y dren en las presas de tierra como de las cortinas de inyección y drenaje en las presas de hormigón, igual al del escenario 1. Ocurrencia de un sismo de intensidad igual a la del Sismo Básico de Operación.

✓ Escenario 03 - Solicitaciones extremas:

Resultan aquellas derivadas de la ocurrencia del Sismo de Seguridad de las obras principales. Para este estado transitorio se supondrá un nivel de embalse y un nivel piezométrico equivalente al del escenario 1.

✓ Escenario 04 - Situación post-sismo extremo.

Se entiende a esta situación como transitoria hasta tanto se realicen las reparaciones que restituyan su condición de normalidad.

6.3 Análisis de estabilidad de la presa de materiales sueltos de Yguazú

Entre la documentación antecedente del proyecto Yguazú figura el estudio realizado en el año 2013 por la firma Logos SRL (referencia 9 del Informe N°1), el que además definió un plan de monitoreo incluyendo las inspecciones visuales y la gestión de los datos a realizar. Allí se precisaron los valores umbrales o límites admisibles de cada uno de los piezómetros instalados con la consideración de que aún en esos niveles la presa cuenta con un aceptable grado de seguridad.

Para el desarrollo de los análisis de flujo y estabilidad se adoptaron parámetros de resistencia al corte y coeficientes de permeabilidad de los materiales constitutivos de la presa y su fundación; estos análisis no tuvieron en cuenta la pérdida eventual de propiedades geomecánicas por fenómenos de erosión interna. Algunas secciones se las considera con filtro de arena y otras con filtro de arena y dren de grava sin diferenciar coeficientes de permeabilidad, asumiendo un valor de $k=1 \times 10^{-4}$ cm/s. Se ha tenido en cuenta un solo escenario de carga que es el correspondiente al máximo nivel del embalse.

Es llamativo el hecho de que los resultados no muestran efecto alguno del núcleo para abatir la piezométrica; sí se muestran eficaces el filtro y el dren ubicados aguas abajo al punto de impedir que se cargue el espaldón de aguas abajo que, de producirse, afectaría sensiblemente la condición de seguridad de la presa a un nivel de riesgo. Los coeficientes de seguridad así obtenidos en todos los casos exceden los requerimientos de la reglamentación de seguridad de presas. Por otra parte, en el documento citado se estableció la frecuencia de lecturas de los instrumentos de auscultación en función de los eventos esperados durante el período de operación del proyecto. Dado que se ha considerado solamente el escenario de nivel de riesgo técnico, se recomienda ampliar estos estudios considerando los diferentes escenarios de carga indicados en el acápite siguiente. Por otra parte, no se ha considerado la probable afectación del núcleo ni la modificación de la inclinación de los paramentos que se observa en la realidad.

7. ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE AUSCULTACION

7.1 Conceptos generales

La auscultación es la herramienta que permite controlar la funcionalidad y las condiciones de seguridad, anticipando eventuales apartamientos para aplicar oportunamente las medidas correctivas que correspondan. En otras palabras, la auscultación permite:

- ✓ Garantizar la seguridad de la obra a través de la detección temprana de eventuales anomalías.
- ✓ Aumentar el conocimiento de las relaciones causa-efecto de los parámetros en juego para eventualmente ajustar los límites previamente definidos entre situaciones de normalidad, alerta y riesgo técnico que surgen de los análisis de estabilidad.

En la práctica estos objetivos no son de fácil cumplimiento con la mera medición, ya que las causas y los efectos en general tienen contemporaneidad y los mismos efectos pueden ser provocados por diversas causas. En general se correlacionan los primeros con los segundos después de largos períodos de observaciones.

Las cargas que actúan sobre una presa son numerosas pudiéndose citar entre ellas: pesos propios; carga hidrostática; presión intersticial; subpresiones; variaciones de la temperatura del agua del embalse; variaciones climáticas; variación de la temperatura del hormigón y sollicitaciones sísmicas.

Para verificar la seguridad de las presas es necesario realizar controles mediante un sistema de auscultación constituido normalmente por:

- ✓ Auscultación visual utilizando el principal sensor que es el ojo humano, capaz de detectar el mayor número de anomalías de comportamiento
- ✓ Auscultación hidrológica utilizando pluviómetros y efectuando aforos de filtraciones
- ✓ Auscultación microgeodésica para medir deformaciones exteriores
- ✓ Auscultación instrumental para monitorear zonas internas de la presa y su fundación que se controlan con sensores manuales y automáticos.

Estas mediciones deben tener la adecuada precisión y en su evaluación considerar que se han tomado sobre estructuras que solamente con algunas aproximaciones se las puede considerar homogéneas e isotrópicas. Por otra parte, en ocasiones deben realizarse en condiciones climáticas variadas y por ello es necesario aplicar métodos directos e instrumental de fácil manejo y lectura, construcción robusta, estables, y de serie por la necesidad de intercambio y renovación.

El diseño del sistema de auscultación debe privilegiar el monitoreo de aquellos sectores considerados más sensibles, para detectar con la mayor anticipación posible anomalías o cambios en el comportamiento previsto en el proyecto. Este conocimiento anticipado permite implementar estudios de verificación del comportamiento estructural y adoptar eventualmente medidas correctivas que permitan evitar fallas y devolver a las estructuras las condiciones de seguridad adecuadas.

La presa de Yguazú fue objeto de una adecuación de su sistema de auscultación en el año 2013 con el objeto de controlar eventuales afectaciones que pudiesen ser provocadas por las obras de maquinación; su alcance ahora debe ser ampliado a las actuales necesidades del control y conforme a los modernos conceptos de seguridad de presas. Por su parte, la presa de Acaray no dispone de un sistema de auscultación en operación aunque cuenta con mojones, piezómetros, drenes y aforos desde la época de su construcción.

7.2 Re-instrumentación

Sobre la base de estos análisis debe diseñarse un nuevo sistema de auscultación y elaborar el correspondiente Manual de Auscultación, conteniendo éste las instrucciones o guías para lograr un eficaz control de la seguridad de las presas, especialmente en sus zonas más sensibles. Para ello es necesario:

- ✓ Instalar la re-instrumentación que sea requerida.
- ✓ Definir adecuadamente el alcance de las inspecciones visuales.
- ✓ Establecer las frecuencias de medición e inspecciones.
- ✓ Definir los umbrales de registros para condiciones de normalidad, alerta y riesgo operativo.
- ✓ Establecer la correcta gestión de la información para permitir el diagnóstico sobre el estado de seguridad de las presas.

Para la definición del proyecto de re-instrumentación de las obras se deben contemplar dos criterios básicos.

- ✓ El criterio principal consiste en instrumentar las obras de modo que permita evaluar su comportamiento en la operación normal en condiciones seguras. En este sentido se buscará que el sistema provea la información suficiente en tiempo y forma para detectar, con la mayor anticipación posible, eventuales anomalías que conduzcan a un deterioro, rotura o daños de la estructura que pudiesen consecuentemente poner en riesgo las vidas y bienes ubicados aguas abajo.
- ✓ El otro criterio de proyecto está dirigido a la funcionalidad de las obras aportando la información necesaria para corregir eventuales deficiencias que pongan en riesgo el cumplimiento de la misión para la que fueron construidas.

Se deberán registrar los parámetros más útiles para la evaluación de la seguridad y funcionalidad de las obras, tanto en las presas de materiales sueltos como en las de hormigón y sus fundaciones, siendo los principales parámetros los mencionados a continuación:

- ✓ Deformaciones externas mediante control microgeodésico.
- ✓ Deformaciones internas en las presas de hormigón mediante triaxiales mecánicos.
- ✓ Subpresiones en la fundación de las presas de hormigón mediante piezómetros.
- ✓ Niveles de saturación en las presas de materiales sueltos mediante piezómetros.
- ✓ Control de filtraciones; mediante drenes y aforadores.
- ✓ Nivel de embalse.
- ✓ Aceleraciones sísmicas.
- ✓ Información meteorológica.

Sobre cada uno de estos controles instrumentales caben los siguientes comentarios.

7.2.1 Microgeodesia

El actual sistema de control topográfico debe ser reemplazado por un control microgeodésico. Los puntos de medición actuales presentan condiciones no aceptables para lograr las precisiones requeridas y ello es debido a defectos constructivos que generan distorsiones de medición, imposibilitando detectar deformaciones de pequeña magnitud como son las que indican el inicio de procesos de asentamientos o rotura. Aunque su apreciación sea milimétrica podría enmascarar un error de precisión. Por ello, deben adoptarse metodologías de medición microgeodésicas que sólo puede lograrse con mojones, equipamiento y metodologías de medición apropiadas, junto a operadores calificados.

La información básica que utiliza la microgeodesia para detectar las deformaciones relativas o absolutas que puedan tener las estructuras es provista por la medición precisa de distancias y de ángulos para el control planimétrico, y de desniveles desde el punto de vista altimétrico. Ello requiere la instalación de una nueva red de puntos fijos para realizar mediciones microgeodésicas con una base topográfica de referencia fija fuera de la presa, y mojones de medición equipados con buje de centrado forzoso para la inserción tanto de la estación total como de los prismas de medición. Esta nueva red permitirá el control con precisiones milimétricas como es requerido en la moderna auscultación de presas.

Por sus características, las campañas microgeodésicas se realizan normalmente con una frecuencia del orden de seis meses, aunque debe asumirse que en el ocasional caso de observarse anomalías tal como evidencias de erosión interna o niveles de alarma de elementos detectores, se dispare también una inmediata medición microgeodésica para complementar los demás registros de auscultación y favorecer así la interpretación y evaluación de la seguridad de las presas. De existir registros históricos confiable, antes de anular la red actual deberán ejecutarse mediciones paralelas en ambas redes para lograr su empalme.

7.2.2 Triaxiales mecánicos

En el año 2013 fueron instalados en Yguazú estos elementos sólo en algunas de las juntas entre bloques, siendo necesario ahora completar esta instalación para que todas las juntas, tanto aquí como en la presa Acaray, estén equipadas con este sencillo y eficaz instrumento.

7.2.3 Niveles de saturación en las presas de materiales sueltos

En Yguazú los niveles de saturación establecidos en el estudio del año 2013 por los programas computacionales determinaron la no saturación del espaldón y por lo tanto los coeficientes de seguridad en todas las secciones analizadas exceden los requerimientos de la reglamentación. Estos resultados numéricos deben ser confirmados mediante registros piezómetros, lo cual hoy no es posible pues los piezómetros operativos se han instalado unos desde el coronamiento en el núcleo y otros al pie de presa, lo que no permite observar niveles de saturación dentro del espaldón y que es la información crítica para evaluar la seguridad de la presa. Cabe recordar que la zona afectada con signos de deformación es la vecina al contacto con la presa de hormigón y allí no se cuenta con piezómetros integrantes de una sección de análisis; por otra parte, la laguna a pie de presa enmascara fenómenos de erosión interna que pudiesen estar en desarrollo o iniciarse en el futuro. Todo ello indica la necesidad de instrumentar el sector mediante piezómetros adecuadamente ubicados en secciones transversales al eje de presa que permitan medir y apreciar gradientes y la eventual carga en el espaldón al menos en un punto intermedio instalado sobre el dren horizontal y otros dos sobre el mismo espaldón, verificando así la condición de normalidad que resulte de los estudios de estabilidad.

En Acaray tampoco se cuenta con los piezómetros sobre el espaldón pues los piezómetros están ubicados sobre el coronamiento y a pie de presa. Es necesario proceder a conformar secciones de instrumentación sobre el terraplén como las descritas más arriba para la presa de Yguazú, que permitan auscultar los niveles de saturación y así el grado de seguridad de la presa. Una de estas secciones debe ubicarse considerando el fenómeno de erosión interna ocurrido en cercanías del contacto con la presa de hormigón y el enmascaramiento de las filtraciones que podría provocar la presencia del viejo canal de desvío.

7.2.4 Subpresiones en la fundación de las presas de hormigón

Es necesario controlar las subpresiones aguas abajo de la cortina de drenaje en diferentes secciones transversales y a diferentes profundidades para verificar su incidencia en la estabilidad, permitiendo monitorear el escurrimiento general en la fundación. Los piezómetros de Acaray están desactivados y, según la documentación analizada, desde

su instalación no registraron presiones; no obstante, dada la posibilidad de que hayan sido inutilizados durante las inyecciones de la fundación, es necesario proceder a su reinstalación mediante perforaciones desde la galería inferior que alcancen, en dos o tres secciones transversales, convenientemente seleccionadas, diferentes puntos en el contacto hormigón/roca y en la roca misma. Similar instrumentación debe realizarse desde la galería inferior en Yguazú.

7.2.5 Control de filtraciones

Este es un aspecto muy importante a controlar ya que un incremento inusual podría indicar la existencia de un fenómeno de deterioro que es necesario prevenir con la mayor anticipación posible para evitar su progreso y, al mismo tiempo, reducir la magnitud de las acciones correctivas.

En las presas de materiales sueltos debe controlarse el caudal de las aguas de filtración y el eventual transporte de materiales para alertar sobre el inicio de un fenómeno de erosión interna. Es necesaria la construcción de casetas aforadoras que impidan el enmascaramiento de tal fenómeno. En efecto, en Yguazú el fangal a pie de presa del terraplén izquierdo enmascara la eventual migración de finos, mientras que en Acaray es necesario implementar el control de las filtraciones que fluyen por el viejo canal de desvío del río. Por otra parte, es importante proceder a muestrear periódicamente las aguas drenadas para realizar ensayos físico-químicos que permitan detectar materiales en suspensión o disolución indicativos de un proceso de deterioro.

En las presas de hormigón, sus galerías inferiores cuentan con los drenes descendentes que alivian presiones en la fundación y con drenes ascendentes en el mismo cuerpo de la presa para controlar las fisuras en el hormigón, sus juntas frías horizontales y la estanqueidad de las juntas entre bloques existentes. En todos estos drenes pero principalmente en los descendentes, deben realizarse las tareas de limpieza de la carbonatación acumulada como fue ejecutado en la presa de Yguazú, y equiparlos con sifones para facilitar su aforo individual y evitar nuevas carbonataciones.

Todos los aforadores tipo Thomson, tanto interiores como exteriores, deben ser acondicionados y calibrados.

7.2.6 Nivel de embalse

Es la principal causa de las variaciones "normales" de la gran mayoría del resto de los parámetros medidos y para explicarlas debe registrarse entonces permanentemente su nivel.

7.2.7 Aceleraciones sísmicas

Normalmente son registradas en el coronamiento, en la parte inferior y en el exterior de la presa mediante sendos acelerógrafos para evaluar, en el caso de la ocurrencia de un sismo, su impacto sobre la integridad de las estructuras, las filtraciones, las presiones internas y las deformaciones. Los registros obtenidos en la vecina presa de Itaipú podrían ser tomados como referencias válidas para las evaluaciones de estabilidad en caso de ocurrencia de sismos, por lo cual se recomienda arbitrar los medios para contar con dicha información.

7.2.8 Información meteorológica

Se deberá prever la obtención de información de los fenómenos meteorológicos importantes en el emplazamiento de la presa y en particular la temperatura ambiente, precipitación y vientos.

7.3 Inspecciones visuales

Tan o más importante que el registro instrumental arriba mencionado, es el control visual de las presas realizado por personal experimentado. Este control permite detectar señales superficiales indicativas de fenómenos que pudiesen poner en riesgo la seguridad y que deben ser detectados con la mayor anticipación, permitiendo aplicar rápidamente las medidas correctivas que eviten su progreso. Deben ser sistematizadas, incluyendo registros fotográficos y fílmicos de aquellas señales superficiales mencionadas anteriormente. En caso de ocurrencia de situaciones anormales tal como sismos o fuertes lluvias, deben realizarse inspecciones específicas.

Estas inspecciones deben abarcar las galerías, el coronamiento, taludes y pie de las presas como así también el terreno adyacente buscando fisuras, hundimientos, deslizamientos, sectores húmedos, cavidades, erosión superficial, filtraciones y turbidez de las mismas.

7.4 Manual de auscultación

Este importante elemento que recomendamos elaborar, constituye la referencia directa y guía de todas las actividades vinculadas al control de los parámetros asociados a la seguridad de las presas y su comportamiento frente a diferentes escenarios de carga. Toda la información que sea generada siguiendo las instrucciones de este Manual debe ser evaluada por especialistas altamente calificados que elaboren el diagnóstico de comportamiento y, si se diera el caso, alerten sobre el deterioro de las condiciones de seguridad y formulen las recomendaciones de medidas correctivas.

Debe incluir al menos:

- ✓ La descripción de las obras con énfasis en los aspectos de mayor incidencia en la seguridad.
- ✓ La descripción del sistema de auscultación.
- ✓ El catálogo de los instrumentos, si correspondiera.
- ✓ Los protocolos de la instrumentación.
- ✓ Las guías para el registro de datos.
- ✓ Las guías para la inspección visual.
- ✓ Las rutinas de medición.
- ✓ Las rutinas de inspección visual.
- ✓ El procesamiento de la información.
- ✓ Las guías para la confección de informes periódicos de auscultación.
- ✓ Las guías para el archivo y conservación de toda la documentación generada.

8. EQUIPAMIENTO HIDRO-ELECTROMECAÁNICO

8.1 Aspectos generales

En el presente acápite se resume la evaluación de los aspectos vinculados al estado de conservación y funcional de los equipos hidro-electromecánicos que hacen a la seguridad de las presas, incluyendo sus medios de accionamiento y mando, así como también se recomiendan las acciones que los autores entienden conducentes a asegurar la operación confiable de aquellos componentes críticos.

Cabe señalar que como resultado de la Consultoría SP10 se han incluido en el Plan de Corto Plazo 2019-2025 que se propone financiar por el BID mediante el Préstamo PR-L1156, intervenciones de rehabilitación sobre el equipamiento aquí considerado las que, adecuadamente implementadas, renovarán el estado de sus componentes estructurales y de accionamiento a la condición de origen y modernizarán los sistemas de mando local y a distancia, así como adicionarán los instrumentos necesarios para la señalización y vigilancia de las operaciones, entre otras tareas propuestas por el consorcio Manitoba Hydro Int. – Hatch de Canadá detalladas en su Informe Final del Contrato SP10 por el Diagnóstico Integral de los Equipos e Infraestructura, Estudio del Potencial de Incremento de la Capacidad de Generación y Desarrollo de un Plan de Acción Estratégico para el Complejo Acaray-Yguazú.

En ese marco, a la espera de la oportunidad en que dichas intervenciones tengan lugar, las evaluaciones y recomendaciones aquí expuestas se han orientado a conferir al equipamiento hidro-electromecánico crítico para la seguridad de las obras actualmente instalado en las presas Acaray e Yguazú, las condiciones adecuadas para cumplir con el servicio para el cual ha sido diseñado.

Teniendo en cuenta la similitud que presentan los aspectos relevados sobre cada tipo de equipamiento, su tratamiento se ha decidido abordarlo agrupándolos en relación con la función que cada uno de dichos tipos cumplen en las obras.

8.2 Equipamiento de los vertederos de superficie

8.2.1 Aspectos comunes al equipamiento de ambos vertederos:

Tanto para el manejo de las afluencias excedentes como para mitigar los efectos de eventuales fallas en las obras de cierre, la adecuada funcionalidad del equipamiento de los vertederos de las presas Acaray e Yguazú, así como la integridad estructural de sus obras civiles, tal como puede colegirse de la evaluación efectuada en el acápite precedente, resulta imprescindible.

Consecuentemente, el equipamiento hidro-electromecánico de los vertederos regulados constituye uno de los componentes críticos para la seguridad de ambas obras.

De resultados del reconocimiento parcial efectuado por los autores durante la visita de la que da cuenta nuestro precedente Informe N° 1, así como de las consultas formuladas al personal de ANDE en dicha ocasión, puede concluirse que el estado de conservación y funcional tanto de las compuertas radiales como de los respectivos equipos de izaje y mando, mantiene la aptitud necesaria para atender las demandas operativas propias del importante rol que le ha sido asignado en el proyecto.

Por su parte, se ha constatado que el personal de ANDE es muy diestro en la operación de este equipamiento, así como también en la aplicación de las pautas de mantenimiento preventivo periódico que, aunque de muy escasa frecuencia, éste requiere.

No obstante, un juego de los procedimientos operativos – impresos, plastificados y resguardados – debe estar siempre disponible en cada parte de las obras en las que se emplazan los equipos hidro-electromecánicos, cuyos componentes deben ser adecuadamente identificados para establecer una correspondencia biunívoca con lo indicado en dichos procedimientos. Asimismo, atentos a la antigüedad de los instrumentos de indicación local de la posición de cada compuerta, se recomienda pintar en forma indeleble sobre la pila de cada vano adecuadas referencias para permitir la identificación bien visible de la altura o el porcentaje de apertura, según sea la práctica operativa de ANDE.

En lo que respecta a sus funciones productivas, cabe diferenciar entre ambas obras: mientras que Acaray es una presa de retención que oficia de cámara de carga de las centrales Acaray I y Acaray II, por su parte la presa Yguazú regula su erogación a través de sus dos compuertas del vertedero para optimizar el uso del recurso hídrico a los fines de la generación eléctrica en dichas centrales. En otros términos, esto significa que las compuertas radiales del vertedero regulado de Yguazú están operando permanentemente en función de los requerimientos de la demanda de las centrales – tal como es propio del equipamiento de descarga a superficie libre de este tipo de obras, así como de diques compensadores –, en tanto las compuertas del vertedero de Acaray permanecen inactivas hasta que se presente una necesidad de vertido en razón de avenidas excedentes.

A continuación se tratan aspectos particulares de las instalaciones de los vertederos de ambas obras.

8.2.2 Equipamiento del vertedero de la presa Acaray:

La condición antes indicada hace recomendable adicionar al plan de mantenimiento preventivo de Acaray, pruebas periódicas de mantenimiento “detectivo” – práctica difundida en el ámbito de diversos componentes electromecánicos para escenarios de inmovilidad comparables – de tal modo de mejorar la respuesta del equipamiento en oportunidad que se lo requiera.

En tal sentido, para instalaciones de la antigüedad de las que nos ocupan – próximas a los 50 años – es usual y conveniente efectuar estas comprobaciones preferentemente con periodicidad semestral y a lo sumo anual, efectuando en cada caso al menos una carrera total de apertura y cierre. Esto aplica también para la compuerta de descarga de elementos en suspensión en el embalse.

Para evitar descargar un volumen de agua significativo, durante las pruebas a realizar en las compuertas del vertedero de Acaray, se operarán también los medios de izaje y las ataguías de mantenimiento y cierre en condiciones de flujo pasante, con lo cual se completa el relevamiento del estado funcional del conjunto de equipos de descarga de superficie del coronamiento de esta presa.

En este sentido conviene también completar en breve el reconocimiento funcional de la totalidad de las compuertas radiales del vertedero de Acaray, habida cuenta que el efectuado durante la visita a la que se refiere nuestro Informe N° 1 se trató de un spot que incluyó sólo el equipamiento del vano 4.

8.2.3 Equipamiento del vertedero de la presa Yguazú:

El proyecto de las obras de la presa Yguazú no incluyó un medio de izaje para las ataguías metálicas de cierre de la sección aguas arriba de cada vano del vertedero, circunstancia

que hace inviable en condiciones razonables la ejecución en este caso de las pruebas recomendadas para Acaray en el acápite anterior, las que si bien no guardan la misma significación por la continuidad de su condición operativa, es conveniente verificar con periodicidad anual la ejecución de al menos una carrera completa de apertura y cierre.

Con respecto a lo informado por ANDE en relación con la singularidad que presenta para aperturas bajas la compuerta de margen izquierda, la que requiere ser descendida para reposicionarse en un nivel superior al que se encontraba antes de instruirse la maniobra, si bien se viene operando de este modo sin más inconveniente que el citado, es menester investigar la causa de la anormalidad y en función de los resultados de dicha investigación definir la solución para proceder a su corrección.

Tal como se anticipó en nuestro Informe N° 1, la aludida investigación puede orientarse a determinar si la causa del defecto es atribuible a alguna deformación particular en la planitud de la pieza fija o bien a una excesiva precompresión del sello lateral o a la suma de ambas singularidades.

8.3 Equipamiento de los descargadores de fondo

Como se indicó anteriormente en ocasión de tratar la capacidad de desembalse en caso de riesgo de falla de una u otra de las presas, los autores entienden necesario y conveniente rehabilitar las obras civiles y el equipamiento de los descargadores de fondo tanto de Acaray como de Yguazú, actualmente indisponibles tal como resulta del reconocimiento documentado en nuestro Informe N° 1.

Principalmente por la baja probabilidad asociada a la necesidad de tener que efectuar un desembalse completo de las obras durante el período de desarrollo de las intervenciones previstas en Plan de Corto Plazo 2019-2015 financiadas por el BID, y complementariamente por la magnitud de los trabajos de rehabilitación que requiere el equipamiento de ambos descargadores así como por la especialización necesaria para su cometido, es que se entiende razonable incluir estas obras y las adquisiciones respectivas en el marco del programa de ejecución del referido Plan, colocando en cabeza del consultor al que se adjudique la ingeniería y supervisión del programa, el proyecto ejecutivo y la ingeniería básica de las respectivas intervenciones y las correspondientes especificaciones técnicas.

Respecto de la complejidad de las tareas a realizar para ejecutar los trabajos de rehabilitación de los descargadores, sustancialmente similares para ambas presas, se ofrece a continuación un listado de algunas de las principales de ellas:

- ✓ Relevamiento subacuático del estado de embancamiento de la presa extendido a unos 50 m hacia aguas arriba del paramento de cierre, especialmente en las zonas

de las tomas de los órganos de descarga, incluyendo las recatas de las respectivas ataguías;

- ✓ Limpieza del material que depositado entre los sedimentos que pudiera obstruir el funcionamiento de los descargadores;
- ✓ Limpieza de las recatas, guías laterales y superficies de apoyo de los patines y sellos de las ataguías de cierre de la sección aguas arriba de los desagües de fondo, los que según pudo advertirse durante la inspección subacuática general efectuada en ocasión de la visita del 10 al 13 de julio sobre una de las recatas del descargador de Acaray, se encuentran invadidas por colonias de moluscos;
- ✓ Descenso de los paños de la ataguía de cierre de la sección aguas arriba del vano del primer descargador a ser intervenido, teniendo en cuenta que sólo se cuenta con un juego de ataguías en ambas obras;
- ✓ Construcción de una ataguía temporaria para el cierre de la sección aguas abajo del vano a ser intervenido, considerando que ninguna de las presas cuenta con un juego de ataguías para ocluir la sección de descarga de un vano;
- ✓ Desmontaje de los servomecanismos de la respectiva compuerta;
- ✓ Izaje y traslado de la compuerta de regulación hasta el sitio en donde será cuidadosamente inspeccionada, reparada en caso necesario y su recubrimiento protector completamente hecho a nuevo;
- ✓ Reacondicionamiento de las obras civiles de los ductos, incluyendo los blindajes metálicos, caja estanca y las piezas fijas de guía y apoyo de las compuertas;
- ✓ Montaje de la compuerta renovada y ajuste de los huelgos o precompresión de sellos según el tipo de compuerta intervenida;
- ✓ Reacondicionamiento del o los servomotores de la compuerta intervenida;
- ✓ Adquisición de nuevas centralinas oleo-hidráulicas y sus respectivos tableros de alimentación eléctrica de fuerza motriz, protección y mando local y a distancia, contemplando la totalidad de la provisión necesaria para ambas obras, considerando que el suministro de modernos nuevos equipos es una solución más conveniente a la de renovar y complementar los existentes;
- ✓ Montaje de las centralinas y tableros, ejecución de los tendidos oleohidráulicos y eléctricos;
- ✓ Pruebas en seco del conjunto armado a los fines de efectuar ajustes en los sensores límites de carrera y de reposicionamiento, así como regular las velocidades de cierre y apertura de la compuerta intervenida, entre otras;

- ✓ Llenado de la cámara entre ataguía y compuerta e inspección de estanqueidad;
- ✓ Remoción de la ataguía aguas abajo;

En esta instancia se juzgará la conveniencia de efectuar pruebas funcionales del equipamiento ya rehabilitado o bien disponer las ataguías en el vano contiguo e iniciar los trabajos de rehabilitación antes indicados sobre la compuerta restante. En el caso de la presa Yguazú, la rehabilitación del descargador de fondo está ligada a la recuperación de la funcionalidad del puente grúa que el proyecto prevé para asistir las maniobras del equipamiento de los desagües de fondo de esa presa.

Los antes enunciados son trabajos que desde el punto de vista de la calidad asociada a la seguridad operativa deben ser realizados por empresas especializadas con antecedentes en intervenciones de similar envergadura, que a su vez deben ser coordinados con otros que forman parte del citado Plan de Corto Plazo.

8.4 Equipamiento de las tomas de generación

Durante el reconocimiento funcional de la operación de cierre de las compuertas de la toma de la conducción forzada de la central Acaray II – extensivas a la correspondiente a la toma de Acaray I – que fue efectuado durante la visita a las obras, se puso en evidencia una falla que afecta la prestación esperada de dichas compuertas, tal como se señaló en el Informe N° 1.

En efecto, el rol principal de estas compuertas consiste en interrumpir el flujo pasante que se ocasionaría en caso de rotura de la conducción forzada alimentada desde la toma respectiva; en segunda instancia actúa como respaldo del cierre fallido de alguna de las válvulas de pie ante la doble contingencia de no haberse completado el cierre del distribuidor de la respectiva turbina.

A los fines de la seguridad de las obras es importante que las dos compuertas de cada toma descendan obturando la sección de acometida prácticamente al mismo tiempo a partir de la señal impartida desde la sala de control.

Durante las aludidas pruebas, si bien la referida señal siempre fue recibida en la toma respectiva, se ha constatado que:

- ✓ No siempre el dispositivo mecánico ha desarrollado el desplazamiento necesario para provocar el disparo de la compuerta a cuyo servomotor está vinculado directamente; y
- ✓ Aun en los casos en que dicha compuerta (maestra) respondió descendiendo conforme con lo esperado inmediatamente luego de impartida la instrucción desde la sala de control, la compuerta contigua (esclava) no descendió.

La maniobra de descenso de la segunda compuerta (esclava) debió ser completada liberando la traba del respectivo servomotor por acción manual desde el mismo mecanismo que es operado por la señal eléctrica que en corriente continua es enviada desde la sala de control de la central.

No obstante ser posible operar localmente en forma manual el disparo de ambas compuertas, obviamente este defecto que según informa ANDE afecta tanto a la toma de la central Acaray II – sobre la que se realizó la prueba – como a la toma de Acaray I, debe ser corregido.

Dicho defecto radica en la dificultad que presenta el mecanismo de traba del émbolo del servomotor de la compuerta esclava para permitir su descenso desde la posición de guardia en ocasión de la liberación del émbolo del servo de la maestra. La solución no parece representar un escollo, contando ANDE con los recursos humanos y materiales para ejecutar las correcciones necesarias.

Cabe destacar que este tipo antiguo de servomotores ha caído en desuso tanto por anomalías como la descrita así como por el hecho que las eventuales pérdidas de aceite de la cámara inferior suelen provocar la caída brusca de la compuerta al momento de la liberación de la traba; por tal circunstancia los nuevos servomotores destinados a estos usos están dotados de un sistema de recuperación oleohidráulica de la posición, descartando la aludida traba superior. En rediseño del equipamiento a ejecutar durante la rehabilitación de estos componentes en el marco del Plan a financiar con el Préstamo PR-L1156 deberá contemplar tal adecuación.

Respecto de las actuales prácticas de mantenimiento aplicadas por ANDE para estos componentes, vale aquí también lo antes indicado sobre la conveniencia de implementar un plan de pruebas periódicas semestrales del tipo detectivas para asegurar el mantenimiento de la capacidad operativa de las compuertas de ambas tomas, reconociendo anticipadamente la necesidad de efectuar eventuales intervenciones correctivas; en este caso, a las pruebas funcionales en aguas muertas como las ejecutadas durante la visita se debe sumar con periodicidad al menos anual la verificación del cierre con carga desequilibrada por flujo pasante.

8.5 Equipamiento de los sistemas de bombeo de drenajes

Los sistemas de achique por bombeo de los pozos sumideros de los drenajes de las presas Acaray e Yguazú, operan normalmente; no obstante, es necesario para la seguridad de las personas emprolijar los tendidos eléctricos de las alimentaciones de fuerza motriz y señalización del nivel del pelo de agua.

Asimismo, es conveniente redundar las señales extremas – nivel mínimo de parada y nivel máximo de alarma y reiteración de las órdenes de arranque de las bombas – de los aludidos sistemas de control del nivel de modo de evitar innecesarias inundaciones por la eventual falla del sistema principal de detección disponible en cada pozo. El sistema complementario no deberá interferir con el citado principal sino hasta exceder en uno u en otro sentido el rango de operación del actual.

En cuanto al programa de mantenimiento del sistema de bombeo, se recomienda incorporar como práctica predictiva la medición periódica cada seis meses de la resistencia de la aislación de todas las bombas. Por último, se recomienda mantener en condiciones operativas en depósito una bomba de reserva de cada tipo de aquellas instaladas.

9. ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA

9.1 Aspectos generales

Con excepción de las compuertas de guardia de las obras de toma de las centrales Acaray I y II, que ejecutan la instrucción de cierre – ya sea impartida en corriente continua desde la sala de control o bien operada manualmente en forma local – valiéndose de su propio peso, las restantes instalaciones hidro-electromecánicas aquí consideradas requieren de energía eléctrica a través de un sistema de corriente alterna trifásico en sus circuitos de fuerza motriz, así como un sistema monofásico en sus circuitos de control, para cumplir el rol que en el diseño les ha sido asignado.

En especial, es más sensible para la seguridad de las obras la falta de alimentación eléctrica del equipamiento de los vertederos y del correspondiente a los sistemas de bombeo de los drenajes de cada presa, en razón de tratarse de componentes críticos: el primero para el manejo de los caudales afluentes, en tanto el segundo para el control de las sub-presiones en las fundaciones de las presas.

Del reconocimiento del estado de las instalaciones de alimentación eléctrica de la que da cuenta el Informe N° 1, se desprende la necesidad de introducir mejoras en la infraestructura existente así como complementaciones para asegurar su prestación en casos de emergencia, las que para cada obra son tratadas en los respectivos acápite siguientes.

9.2 Presa Acaray

Dos son los aspectos relevados que resulta menester atender para garantizar la alimentación eléctrica del vertedero y el sistema de achique por bombeo de los drenajes de la presa Acaray.

a) *Alimentación eléctrica de emergencia:*

En primer lugar se consideran las adecuaciones en las instalaciones y procedimientos para contar con el servicio de una fuente alternativa de alimentación eléctrica de emergencia en caso de ausencia de la fuente primaria que provee de energía en condiciones normales al tablero general de baja tensión en corriente alterna de la presa.

Por una parte, debe mejorarse la conexión externa prevista en el diseño para vincular el citado tablero con un grupo generador portátil; dispuesta sobre un lateral de la explanada de ingreso al local en el que se emplaza dicho tablero, actualmente resulta difícil acceder a ésta por la vegetación circundante, así como laboriosas y lentas las tareas para acoplar ambos terminales.

Sobre este mismo aspecto, más importante aún resulta contar con la disponibilidad permanente de un grupo portátil de generación eléctrica de potencia suficiente para atender la demanda simultánea de la totalidad de las bombas del sistema de achique y al menos operar una compuerta radial del vertedero por vez, incluyendo las maniobras que pudieran ser menester efectuar con el pórtico grúa y las correspondientes ataguías, así como la instalación de iluminación del área operaciones.

ANDE cuenta con un grupo generador portátil accionado por un motor Diésel habitualmente estacionado en dependencias de los talleres de las centrales Acaray I y II; no obstante, en ocasiones éste ha sido afectado a trabajos fuera del ámbito de la obra.

La disponibilidad del grupo generador de emergencia asignado a este servicio debe ser privilegiada frente a cualquier otro uso circunstancial, pero de ningún modo podrá retirarse del emplazamiento. Si por alguna razón esto fuera menester, deberá reemplazarse su servicio por otro grupo que cumpla los requisitos anteriores.

El citado grupo deberá ser objeto de pruebas funcionales de arranque y parada de periodicidad semanal y toma de carga al menos mensual, adicionalmente a las prácticas de mantenimiento recomendadas por el fabricante. Asimismo, es recomendable efectuar trimestralmente una conmutación real de la fuente de alimentación normal por la provista por dicho grupo, tanto como medio para detectar posibles fallas a ser corregidas como para adiestrar y mantener la capacidad operativa del personal en la ejecución de las correspondientes maniobras ante emergencias.

El combustible disponible almacenado no será inferior al necesario para mantener funcionando el grupo referido a plena potencia durante el tiempo máximo estimado de ausencia de la fuente normal, aunque no menos de 8 horas.

b) Alimentación eléctrica normal alternativa:

Tanto la alimentación eléctrica normal como la de emergencia tratada en el párrafo precedente se sirven del mismo tablero general de distribución para satisfacer el requerimiento de la demanda de los consumos críticos para la seguridad de la obra antes mencionados; esto pone en evidencia que una falla grave en dicho tablero o bien un accidente en el local que lo afecte seriamente, deja sin posibilidad – al menos en el corto plazo – de operar dichos componentes.

Una alimentación eléctrica normal alternativa es conveniente que provenga de una fuente diferente, pero proviniendo de la misma fuente confiable que la actual el recorrido de su traza debe ser diferente; lo dicho es recomendable para atender las demandas críticas ante la ocurrencia de la aludida emergencia.

A la margen izquierda de la presa Acaray, en proximidades del acceso al local donde se emplazan los tableros de las compuertas del descargador de fondo y las bombas del sistema de achique así como también de la séptima compuerta del vertedero, llega una línea de distribución de media tensión (23 KV) de propiedad de ANDE desde la cual es posible tender dicha alimentación normal alternativa.

Siendo su utilización necesaria en un escenario de baja probabilidad de ocurrencia, su inserción a los consumos puede preverse bajo la modalidad de tomacorrientes.

Cabe señalar que en razón de la idéntica procedencia de las fuentes de la alimentación eléctrica normal y de la alternativa aquí considerada, mantienen vigencia las previsiones indicadas precedentemente para la alimentación eléctrica de emergencia mediante el grupo generador portátil.

9.3 Presa Yguazú

También en el caso de las instalaciones de alimentación eléctrica de la presa Yguazú dos son los aspectos relevados que requieren ser atendidos para asegurar razonablemente la prestación del servicio esperado tanto en condiciones normales como en escenarios de emergencia.

a) Alimentación eléctrica normal y de emergencia:

Se consideran aquí las adecuaciones que se recomienda efectuar en las instalaciones existentes para restituir las condiciones de la prestación a las previsiones de diseño.

Como fue señalado en nuestro Informe N° 1, se encuentra averiado el sistema automático que, ante la ausencia de tensión en bornes del transformador 23/0,4 KV alimentado desde la red pública, ordena el arranque del grupo Diésel de emergencia y conmuta la fuente para restituir al servicio el equipamiento de la presa.

Si bien de ser necesaria dicha conmutación ésta puede ser efectuada manualmente por el operador de turno – tal como se practica actualmente –, ésta se demoraría en caso que la aludida necesidad se presente en oportunidad en que el citado operador estuviera alejado del local en el que se emplaza el tablero respectivo, pudiendo producirse el inicio de la inundación de la galería inferior de la presa.

Se recomienda reestablecer tan pronto como sea posible la disponibilidad del tablero de conmutación automática de fuentes.

Por otra parte, el cable pre-ensamblado que va desde el local en el que se emplaza el aludido tablero de conmutación de fuentes y el poste terminal dispuesto en proximidades del muro de margen izquierda del canal de restitución, exhibe irregularidades en su tendido que deben ser corregidas. Al respecto se recomienda desbrozar la traza bajo la línea, reducir las flechas incrementando de ser necesario la postación y reemplazar los herrajes averiados.

Por último, cabe indicar que para disminuir el riesgo de incendio del local en el que se ha dispuesto el grupo Diésel de alimentación de emergencia y el tablero principal de alimentación y conmutación de fuentes, es conveniente disponer el tanque de combustible en un recinto externo.

También en este caso se recomienda que el combustible disponible almacenado no será inferior al necesario para mantener funcionando el grupo referido a plena potencia durante el tiempo máximo estimado de ausencia de la fuente normal, aunque no menos de 8 horas

Asimismo, el citado grupo deberá ser objeto de las mismas pruebas funcionales recomendadas para el grupo portátil que asiste a la presa Acaray.

b) Alimentación eléctrica normal alternativa:

Conforme como se indicó en nuestro Informe N° 1, la presa Yguazú cuenta con una línea de alimentación eléctrica normal alternativa también proveniente de la red pública pero que recorre un camino diferente que aquel que conduce al predio en el que se emplazan el transformador principal y el local del grupo Diésel de emergencia. Con esta línea alternativa es posible alimentar el equipamiento hidro-electromecánico de la presa ante una circunstancia que indisponga componentes

eléctricos comunes a la alimentación normal y de emergencia emplazados en dicho predio.

Sin embargo, esta alimentación eléctrica alternativa y la línea de baja tensión proveniente del tablero de distribución dispuesto en el local del grupo generador Diésel, también tienen un punto en común en el tablero de conmutación dispuesto en el acceso a la galería inferior de la presa de hormigón.

Por este motivo se recomienda separar ambos circuitos, alimentando desde la línea alternativa un sistema de tomacorrientes desde los cuales, en caso de presentarse esta emergencia de baja probabilidad de ocurrencia, puedan conectarse los tableros eléctricos – a ser adaptados a tal fin – de cada uno de los respectivos equipos.

La aludida adaptación de los citados tableros eléctricos servirá también para recibir eventualmente la energía proveniente de un grupo generador portátil en caso que por su ubicación aguas abajo de la presa todo el sistema de alimentación actualmente instalado pudiera verse afectado.

10. ACCIONES DE EJECUCIÓN PRIORITARIA

A modo de resumen de las recomendaciones antes enunciadas, haciendo referencia a los acápites del presente informe en el que cada tema es considerado, a continuación se listan las acciones que los autores entienden que deben ser ejecutadas prioritariamente para alcanzar un nivel razonable de control de la seguridad de las presas, ya sea resolviendo respecto aspectos sobre los que en las presentes condiciones no se cuenta con información suficiente o corrigiendo defectos detectados durante las visitas del 10 al 13 de julio de 2018 que, ante determinados escenarios, configurarían situaciones de riesgo.

10.1 Acciones comunes a ambas presas

10.1.1 Capacidad de evacuación

- ✓ Políticas operativas a aplicar para el manejo de los embalses (3.2.3).

10.1.2 Obras civiles

- ✓ Microgeodesia (7.2.1)
- ✓ Niveles de saturación en las presas de materiales sueltos (7.2.3)
- ✓ Subpresiones en la fundación de las presas de hormigón (7.2.4)
- ✓ Control de filtraciones (7.2.5)

10.1.3 Equipamiento hidro-electromecánico

- ✓ Disponibilidad de los procedimientos operativos (8.2.1)

- ✓ Indicación local de la posición de cada compuerta radial de los vertederos (8.2.1)
- ✓ Corrección de defectos que impiden el descenso en servicio de las compuertas de cierre de emergencia de las tomas de generación de las centrales Acaray I y II (8.4)
- ✓ Plan de pruebas periódicas detectivas de las compuertas de guardia de ambas tomas de generación (8.4)
- ✓ Redundancia de señales extremas de los sistemas de control del nivel de los pozos sumideros de los drenajes (8.5).
- ✓ Incorporación de prácticas predictivas y disponibilidad de reservas pasivas al programa de mantenimiento de los sistemas de bombeo de los pozos de drenaje (7.5).
- ✓ Disponibilidad de combustible para asegurar el funcionamiento de los respectivos grupos Diésel de emergencia (9.2.a y 9.3.a)

10.2 Presa Acaray

10.2.1 Presa de materiales sueltos

- ✓ Investigación sobre el estado del terraplén (4.1.1.)
- ✓ Revisión de las condiciones de estabilidad (4.1.2.)

10.2.2 Presa de hormigón

- ✓ Determinación del estado de subpresiones (5.1.1.)
- ✓ Adecuación del sistema de drenaje (5.1.2.)
- ✓ Revisión de las condiciones de estabilidad (5.1.3.)

10.2.3 Equipamiento hidro-electromecánico

- ✓ Reconocimiento funcional de la totalidad de las compuertas radiales del vertedero (8.2.2)
- ✓ Pruebas periódicas de las compuertas radiales del vertedero (8.2.2).
- ✓ Conexión externa de vinculación del tablero general de distribución de corriente alterna con un grupo generador portátil (9.2.a)
- ✓ Disponibilidad permanente en el emplazamiento de un grupo portátil de generación eléctrica (9.2.a)
- ✓ Pruebas funcionales del grupo de generación portátil (9.2.a)

- ✓ Pruebas de conmutación de fuentes (9.2.a)
- ✓ Disponer de una alimentación normal alternativa (9.2.b)

10.3 Presa Yguazú

10.3.1 Presa de materiales sueltos

- ✓ Investigación sobre el estado del terraplén (4.2.1)
- ✓ Revisión de las condiciones de estabilidad (4.2.2)

10.3.2 Presa de hormigón

- ✓ Determinación del estado de subpresiones (5.2.1)
- ✓ Adecuación del sistema de drenaje (5.2.2)
- ✓ Revisión de las condiciones de estabilidad (5.2.3)

10.3.3 Equipamiento hidro-electromecánico

- ✓ Investigación sobre la causa de singularidad que afecta el funcionamiento normal de la compuerta radial de margen izquierda del vertedero (8.2.3)
- ✓ Disponibilidad del tablero de conmutación automática de fuentes (9.3.a)
- ✓ Adecuación del tendido del cable pre-ensamblado de alimentación principal (9.3.a)
- ✓ Reubicación del tanque de combustible del grupo Diésel de generación de emergencia (9.3.a)
- ✓ Adecuación de la alimentación normal alternativa (9.3.b)

11. SUPERVISIÓN DE LA REHABILITACIÓN DE LAS PRESAS

11.1 Marco general

La rehabilitación de las presas Acaray e Yguazú ha sido contemplada en el Plan de Corto Plazo de Modernización y Repotenciación de la Central Hidroeléctrica Acaray I y obras conexas del Complejo Acaray-Yguazú, a ser financiado por el BID a través del Préstamo PR-L1156 y fondos de Contrapartida Local.

Dicho Plan, elaborado a partir del diagnóstico integral efectuado durante el año 2017 en el marco de la Consultoría SP10 por el consorcio Manitoba Hydro Int. Utility Services y HATCH de Canadá, incluye la implementación de mejoras para el control de la seguridad de las presas, sus instalaciones hidro-electromecánicas y sistemas de alimentación eléctrica.

A tal fin, como parte del mismo Plan, se prevé colocar en cabeza de una firma consultora internacional de primer nivel el desarrollo de relevamientos de campo y estudios complementarios, la ingeniería básica y los documentos de licitación por la ejecución de las referidas intervenciones, así como el seguimiento de los procesos licitatorios, la evaluación de ofertas y preparación de los informes de recomendación de adjudicación, la revisión de la ingeniería de detalle e informes técnicos a presentar por los contratistas, la inspección y pruebas en obra, la coordinación general y el seguimiento programático, y la vigilancia de las condiciones de seguridad, higiene en el trabajo, planes de gestión ambiental y social asociados a dichas intervenciones, entre otros servicios de asistencia técnica especializada a prestar a ANDE con todos los cuales se considera estarán suficientemente cubiertos los requisitos de supervisión que demandan los bienes a ser provistos, las obras a hacer y los servicios a prestar.

Asimismo, se prevé que un panel de consultores externos, expertos en las diversas disciplinas de la ingeniería que abarcan las referidas intervenciones, brinde periódicamente apoyo técnico a ANDE respecto de los temas que requieren especial atención, contrastando sus opiniones con las de la antes citada firma consultora.

No obstante, una mirada de mayor detalle focalizada en la seguridad de las presas como la aquí ofrecida, pone de manifiesto la conveniencia de dar comienzo a las acciones de ejecución prioritaria listadas en el acápite precedente, sin esperar los beneficios que devendrán de la aplicación del antes referido Plan de Corto Plazo.

11.2 Supervisión de las acciones prioritarias

El inicio de la ejecución de las acciones prioritarias con antelación a la puesta en vigencia del Plan de Corto Plazo conlleva a instrumentar una modalidad de trabajo aplicable en el interregno, tal que permita desarrollar dichas acciones con la rigurosidad profesional y calidad necesarias.

Excepto en el caso de aquellas acciones prioritarias que proponen medidas correctivas o mejoras de configuración conceptual sobre el equipamiento hidro-electromecánico que requieren de la aplicación de recursos disponibles en ANDE, se recomienda requerir a una consultora especializada o grupo de expertos en seguridad de presas las tareas de ingeniería que requieren las intervenciones propuestas, incluyendo:

- ✓ La elaboración de los términos de referencia para desarrollar los planes de las investigaciones propuestas.
- ✓ El análisis de los resultados de las referidas investigaciones.
- ✓ Los análisis de estabilidad de las presas de materiales sueltos y de hormigón de ambos cierres.

- ✓ La elaboración de los términos de referencia para ejecutar los trabajos que se estime menester como resultado de dichas investigaciones y estudios.
- ✓ El diseño de los nuevos sistemas de auscultación, en particular el control de las deformaciones, la piezometría y las filtraciones.
- ✓ La elaboración de los términos de referencia para implementar en las obras los respectivos diseños del sistema de auscultación.

El desarrollo de las actividades antes indicadas puede considerarse a ser ejecutado en forma secuencial, en tanto paralelamente deberán atenderse:

- ✓ La elaboración de los procedimientos para realizar tareas en las obras civiles que pueden ser ejecutadas con recursos disponibles en ANDE, como por ejemplo la práctica de las mediciones e inspecciones visuales, la limpieza de drenes, la calibración de los aforadores de caudales, entre otros.
- ✓ El seguimiento en gabinete de los trabajos en obra para dar respuesta a las consultas que se planteen durante la ejecución de los mismos.
- ✓ La supervisión en obra de los trabajos.

A las tareas antes citadas deberá adicionarse la asistencia a prestar a ANDE para la calificación de proveedores para la ejecución de los trabajos en obra a ser solicitados, la evaluación técnica de las ofertas recibidas por dichos trabajos, la elaboración de informes de avance y finales de las tareas propias, así como los informes de evaluación de los trabajos instruidos a terceros y aquellos realizados por ANDE en el marco del plan de ejecución de las acciones prioritarias.