

Ésta es una traducción del documento en inglés preparado por el Panel de Asesores Independientes de BID Invest. En caso de discrepancia entre esta versión y la original, prevalecerá lo sostenido en el documento original.

Panel Asesor Independiente de BID Invest
Informe del IAP n.º 3, octubre de 2019
Proyecto Hidroeléctrico Ituango
Colombia



Federico Ciampitti
Hydraulic, Mechanical & Electric Equipment

Via L Tolstoi 72, 20146 Milan Italy
Tel. +39 335 1007517
Federico.ciampitti@gmail.com

Pavlos Marinos
Engineering Geology and Geotechnical

23A, Penetoliou str. 11741, Athens, Greece
Tel. +30 694 4301993
marinos@central.ntua.gr

Alessandro Palmieri
Dam Engineering and Safety (Chair)

Via Massimi 25, 00136 Rome, Italy
Tel. + 39 063 5400737
Arp.palmieri@gmail.com

Composición del IAP: El Sr. Ciampitti y el Sr. Marinos representaron al IAP durante la misión de septiembre de 2019. El Sr. Palmieri no pudo asistir a la visita, pero los demás miembros lo mantuvieron informado sobre los hallazgos y revisó el presente informe del IAP, el cual respalda plenamente.

ÍNDICE

SIGLAS	3
RESUMEN EJECUTIVO Y RECOMENDACIONES	4
1. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO	6
1.1. General	6
1.2. Comparación con marzo de 2019	6
1.3. Evaluación de seguridad	8
1.4. Diligencia debida de POYRY/Agencia Ambiental	8
1.5. Descarga de emergencia: Cronología esencial	8
2. OBRAS Y COMPLEJOS SUBTERRÁNEOS	10
3. EVALUACIÓN DE DAÑOS A EQUIPOS ELECTRO E HIDROMECÁNICOS	13
3.1. Equipo electromecánico	13
3.2. Actualizaciones en equipos hidromecánicos	23
3.3. Actualización sobre el patio de maniobras de GIS de 500 kV	27
4. CONTROL DE NIVELES DEL EMBALSE	27
4.1. Galería de descarga intermedia a 260 m	27
4.2. Opciones de diseño actualmente en evaluación	27
4.3. Salida de nivel medio adicional.....	29
4.4. Importancia de controlar los niveles del embalse/Análisis del modo de falla potencial	29
5. REPRESA	30
5.1. Deformaciones de asentamientos	30
5.2. Gradientes de piezómetros y fugas	30
6. ESTRIBO IZQUIERDO	32
7. ESTRIBO DERECHO Y EL ROMERITO	33
8. PENDIENTES DEL ALIVIADERO	35
9. GESTIÓN DE SEDIMENTOS/TENDENCIAS DE SEDIMENTOS	35
10. FINALIZACIÓN DEL PROYECTO	35
10.1. Cronograma	35
10.2. Costes.....	36
ANEXO: LISTADO DE DOCUMENTOS PUESTOS A DISPOSICIÓN DE LA IAP	37

ACRÓNIMOS

ADT	Túnel de desvío auxiliar
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAP	Capacidad del embalse
EPM	Empresas Públicas de Medellín
FEM	Análisis de elementos finitos
IAP	Panel Asesor Independiente de BID Invest
IDG	Galería de descarga intermedia
MAF	Flujo medio anual
MAS	Producción media anual de sedimentos
MLO	Salida de nivel medio
ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
PH	Sala de máquinas
TD2	Túnel de desvío 2 (derecho)
EBIA	Junta de Asesores Independientes de EPM
msnm	Metros sobre el nivel del mar

RESUMEN EJECUTIVO Y RECOMENDACIONES

Se están evaluando las condiciones de seguridad de las casi todas las obras subterráneas; esta es una tarea crítica porque controla el cronograma del proyecto y la posibilidad de tapar definitivamente la GAD y el DT2 para eliminar las condiciones de alerta a la población corriente abajo.

Las investigaciones y los trabajos subterráneos requieren una atención constante a la salud y seguridad de los trabajadores. El rendimiento de la represa es tan bueno como el observado en marzo de 2019.

POYRY fue designado por EPM para realizar un análisis de estabilidad de todo el proyecto que se presentará a la ANLA, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, como parte del proceso para levantar la sanción impuesta por la Resolución 820 de junio de 2018 de la ANLA. Su asignación incluye una primera fase de evaluación de riesgos y una segunda fase de seguimiento de riesgos.

El IAP contribuyó, junto con la Junta de Asesores Independientes de EPM (EBIA) y EPM, a aclarar las dudas de POYRY en términos de comprensión de los detalles técnicos del proyecto.

Todas las partes declararon y reconocieron claramente que la debida diligencia de POYRYS será completamente independiente, directa y autónoma para proporcionar a la ANLA los antecedentes técnicos suficientes para respaldar una decisión con respecto a la Resolución 820; al final de la sección, POYRY declaró que habían aclarado todos los elementos de su interés para la reunión.

Ninguna parte del macizo rocoso ni de la zona de las obras subterráneas está en peligro. Hay una estabilidad general. Los daños y colapsos se pueden rehabilitar a condiciones geotécnicas seguras.

Ya se dispone de una evaluación final de los daños en la mayoría de los equipos electromecánicos. La situación es relativamente simple de describir porque, aparte de algunas partes mecánicas incrustadas en hormigón, todos los demás equipos ya instalados se consideran inadecuados para su futura operación.

EPM aún está evaluando diferentes opciones para el diseño de la entrada de la IDG, y la decisión final se tomará en breve. La opción de completar el tramo del túnel entre el tapón existente y el portal de entrada, así como el propio portal, fue la primera opción considerada. Se recomienda el uso de revestimiento de acero para el túnel.

Recientemente, se ha presentado un importante cambio de diseño. Este prevé el abandono del portal original y la colocación de la entrada de la IDG a una mayor elevación, con admisión en las entradas de alimentación 3 y 4, corriente arriba de las compuertas, pero corriente abajo de los taponos, a través de un pozo vertical diseñado para 450 m³/s y conectado a la IDG corriente abajo de su tapón de corriente.

Esta opción es menos arriesgada en términos de calendario y metodología, y menos costosa. Sin embargo, renunciaría definitivamente a la posibilidad de controlar el nivel del embalse por debajo de 370, posiblemente 350 msnm. El único medio para bajar el nivel del embalse sería a través de las turbinas, en las que no se puede confiar a largo plazo y en caso de situaciones de emergencia (por ejemplo, un fuerte terremoto).

El IAP confirma que la disponibilidad de obras hidráulicas para bajar el nivel del embalse, en circunstancias excepcionales cuando no se puede confiar en el funcionamiento de la turbina, es fundamental para el desempeño seguro del proyecto a largo plazo. La operación del proyecto no va a ser confiable, y no se puede garantizar la seguridad sin un sistema para bajar los niveles por debajo del nivel de entrada de alimentación, y el compartimiento estanco temporal en la plataforma de entrada sería solo un proxy.

El IAP reitera la necesidad de una descarga adicional, la MLO (no necesariamente antes de la puesta en marcha de las unidades), y la importancia de evaluar cuidadosamente las consecuencias de la nueva solución para la entrada de la IDG que limitaría su flujo máximo y reduciría su rango operativo.

El IAP es plenamente consciente de que la solución es muy compleja de ejecutar (ya sea un aumento de la capacidad de la IDG, que sería un mínimo, o la construcción de una salida de nivel medio, que el IAP ha defendido desde el principio), pero esta característica esencial no se puede renunciar solo por las complejidades tecnológicas.

El tema del control del embalse a largo plazo es demasiado importante y requiere un examen detallado. Con este fin, el IAP propone realizar una sesión de PFMA (Análisis del Modo de Falla Potencial), en el sitio o en Medellín, para analizar posibles escenarios de operación del proyecto, o falla en la operación, bajo diferentes configuraciones de canales de agua. La sesión debe involucrar a todas las partes interesadas clave, y a la EBIA en particular (posiblemente también a POYRY). Hay que tomar una decisión, y debe ser una decisión informada.

El IAP reitera su consejo de extender las medidas de protección de pendientes hasta el área desestabilizada por encima de los dos túneles de desvío y la entrada de la IDG donde se han producido grandes movimientos de masas.

El valor de los detalles del cronograma actual es limitado porque los hallazgos y la evaluación recientes causaron cambios importantes en la planificación del proyecto.

EPM podrá emitir el cronograma de actualización del proyecto en los próximos meses; para la mayor parte del proyecto, excepto la parte sureste, debe ser un cronograma final. Este reflejará, además de una secuencia mejor definida de todas las actividades, las decisiones clave que deben tomarse en los próximos meses; entre otras, la secuencia de las unidades a erigir y poner en servicio. De hecho, es probable que se abandone el enfoque de dos fases correspondiente a las salas de máquinas norte y sur.

Los impulsores clave del nuevo cronograma serán la evaluación del hormigón existente en las unidades 3 y 4 (retener o eliminar) y el perfil de riesgo de las diferentes entradas.

Un elemento parece seguro: las unidades 7 y 8 serán las últimas en ser puestas en servicio debido a la falta de túnel de descarga y la extensión de los daños en la parte sureste del proyecto. Un par de otros elementos parecen bastante probables: la unidad 5 y 6 estarán entre las primeras en ser puestas en servicio, la cámara de los pozos norte y sur debe dividirse en dos mitades para permitir un cronograma más rápido.

Las estimaciones de costes son actualmente menos inciertas que hace seis meses; sin embargo, por el momento, EPM no comunicó una estimación de costes actualizada a la IAP, y hay muy pocos elementos disponibles para actualizar de manera confiable las estimaciones que se realizaron en septiembre de 2018.

Con base en el conocimiento actual, es seguro mantener las estimaciones de septiembre para fines financieros. Los hallazgos que afectan a las obras civiles deben equilibrarse ampliamente con las intervenciones de las aseguradoras para los equipos electromecánicos.

1. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO

1.1. General

El Proyecto Hidroeléctrico Ituango está en construcción en el noroeste de Colombia desde 2009. El Panel Asesor Independiente (IAP) de BID Invest visitó el Proyecto por primera vez, en agosto de 2018 (Fase I del IAP) y por segunda vez en marzo de 2019 (Fase II del IAP). El objetivo de la Fase II del IAP es asesorar a BID Invest sobre:

- Los avances logrados con la implementación del proyecto desde marzo de 2019;
- La evaluación de la situación actual del Proyecto centrándose en: i) la estabilidad de los estribos de la represa; ii) la estabilidad de la pendiente; iii) los trabajos en curso en la descarga intermedia; iv) el sellado de los túneles de desviación; v) la estabilidad de la sala de máquinas y el complejo de cavernas; vi) la rehabilitación de las tuberías forzadas; vii) y el estado general de las entradas de la central eléctrica;
- La evaluación de la seguridad general de la infraestructura;

El intercambio de puntos de vista y el análisis de opiniones técnicas con la Junta de Asesores Independientes de EPM y con otros subcontratistas (POYRY, Integral, etc.).

El presente Informe incluye los hallazgos y las recomendaciones del IAP, luego de la tercera visita del IAP al Proyecto Hidroeléctrico Ituango (HPP) en septiembre de 2019. La misión comenzó el 23 de septiembre con un día completo de información por parte de Integral y EPM en la sede de EPM en Medellín, seguido de una visita al sitio el martes 24 de septiembre, y una sección posterior de preguntas técnicas por parte de POYRY, además de una reunión informativa con la Junta de Asesores Independientes de EPM (EBIA) y EPM en la sede de EPM en Medellín el día 25. Los miembros del IAP desean reconocer el compromiso, la cooperación y la transparencia sobresalientes de EPM y otras partes.

En el momento de la visita, el nivel del embalse era de 403,52 msnm, la descarga del aliviadero de 438 m³/s, y la cresta de la represa había alcanzado la elevación 435.

1.2. Comparación con marzo de 2019

Durante la visita del IAP en septiembre de 2019, la situación del Proyecto había evolucionado considerablemente en comparación con marzo de 2019:

- Se completan las actividades de desagüe.
- La evaluación de las condiciones de las obras subterráneas a través de las cuales se llevó a cabo la descarga de emergencia durante nueve meses está casi completa.
- El restablecimiento de las condiciones de seguridad y protección se completó en varias áreas y está en curso en varias otras.
- La consolidación, el relleno y el refuerzo del macizo rocoso en varias áreas está en curso, incluida la cavidad grande, entre los pozos de presión 1 y 2 y del diafragma de roca colapsado entre la sala de máquinas y la cámara del pozo en correspondencia con las unidades 1, 2 y 3.
- Una nueva cavidad en correspondencia con la transición entre la cámara del pozo norte y el túnel de descarga 2 fue un hallazgo negativo, aunque uno de los últimos.
- El hallazgo más satisfactorio de las últimas misiones, es decir, el techo sin daños de la sala de máquinas, se confirma definitivamente y se extiende a la galería de transformadores y a las cámaras de los pozos.
- Si bien no se ha completado la evaluación completa de las condiciones del macizo rocoso, el balance parece ser definitivamente positivo.
- El diseño y la metodología para el taponamiento del RDT y la GAD están avanzados, así como las primeras actividades por parte de contratistas especializados.

- El contrato con ATB para las tuberías forzadas se encuentra en fase avanzada de negociación.
- Un cambio de diseño, colocando la entrada de la IDG a mayor altura utilizando un pozo vertical conectado a las entradas de alimentación 3 y 4 tiene la preferencia del Diseñador, abandonando el portal actual de la IDG sin terminar a una altura de 260 msnm.
- La partición de cada cámara del pozo en dos mitades se puede adoptar para optimizar la secuencia de montaje y puesta en marcha de las unidades.

A pesar de los desafíos extremos encontrados, y los esperados en el futuro, el personal del Proyecto de todas las partes involucradas sigue demostrando un compromiso sobresaliente. El IAP desea reconocer la cooperación y la actitud proactiva de las partes interesadas del Proyecto.

La siguiente tabla actualiza la evaluación del IAP de las "Opciones para la finalización del proyecto" que se presentaron durante la visita de agosto.

Opciones	Evaluación de agosto de 2018	Evaluación de marzo de 2019	Evaluación de octubre de 2019
Rehabilitación completa	Opción preferible; confirmación final después de la evaluación de los daños en la sala de máquinas	Opción preferible confirmada.	Confirmado sustancialmente
Revisar los resultados del proyecto	No previsto en esta etapa.	Salida de alimentación sin modificar. Programación de la fuente de alimentación de la segunda etapa (unidades 5 a 8) a evaluar.	Salida de alimentación sin modificar. La secuencia para poner en funcionamiento la unidad será independiente de la fuente de alimentación original de dos fases.
Revisar los propósitos del proyecto	No es realista.		
Reingeniería del proyecto	Adición de salida de nivel medio esencial		La decisión futura será respaldada por un Análisis de Modos de Falla Potencial (consulte a continuación)
Cierre parcial/total	Muy improbable, a menos que la ubicación de la caverna deba ser abandonada por daños excesivos.	Se puede excluir el cierre parcial.	Cierre parcial excluido.
Visión a largo plazo	El proyecto tendrá que ser abandonado al final de su vida útil, cuando la gestión de los sedimentos gruesos, para mantener el funcionamiento de la central de pasada, deje de ser económica.	Se deben iniciar estudios batimétricos para evaluar las tendencias de sedimentación.	La gestión del embalse a largo plazo conserva su importancia.

Haber encontrado las obras subterráneas en condiciones seguras significa que el proyecto se puede completar de acuerdo con el diseño original, aunque con trabajos de reparación significativos. Estos últimos están siendo evaluados.

1.3. Evaluación de seguridad

Desde la última misión, la seguridad hidrológica ya no es un problema, mientras que el dique de la represa avanzó hasta su elevación final.

Se están evaluando las condiciones de seguridad de las casi todas las obras subterráneas; esta es una tarea crítica porque controla el cronograma del proyecto y la posibilidad de tapar definitivamente la GAD y el DT2 para eliminar las condiciones de alerta a la población corriente abajo.

Las investigaciones y los trabajos subterráneos requieren una atención constante a la salud y seguridad de los trabajadores. El rendimiento de la represa es tan bueno como el observado en marzo de 2019.

1.4. Diligencia debida de POYRY/Agencia Ambiental

POYRY fue designado por EPM para realizar un análisis de estabilidad de todo el proyecto que se presentará a la ANLA, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, como parte del proceso para levantar la sanción impuesta por la Resolución 820 de junio de 2018 de la ANLA. Su asignación incluye una primera fase de evaluación de riesgos y una segunda fase de seguimiento de riesgos.

El 25 de septiembre, en la sede de EPM en Medellín, POYRY manifestó que estaba evaluando preliminarmente cinco áreas del proyecto como merecedoras de la máxima atención. Estas son:

- Modificación del diseño de la represa (dique prioritario y diafragma impermeable), estabilidad a largo plazo e inspecciones (según ICOLD).
- Operación modificada del aliviadero (operación continua y prolongada imprevista), diseño original y estabilidad general.
- Descarga intermedia (modificada).
- Declaraciones del método para recuperar los componentes del proyecto afectados por los eventos.
- Estabilidad general del macizo rocoso.

El IAP contribuyó, junto con la Junta de Asesores Independientes de EPM (EBIA) y EPM, a aclarar las dudas de POYRY en términos de comprensión de los detalles técnicos del proyecto.

El IAP afirmó que su posición oficial siempre está representada por su informe oficial colegiado que actualmente está ampliamente distribuido.

Todas las partes declararon y reconocieron claramente que la debida diligencia de POYRYS será completamente independiente, directa y autónoma para proporcionar a la ANLA los antecedentes técnicos suficientes para respaldar una decisión con respecto a la Resolución 820; al final de la sección, POYRY declaró que habían aclarado todos los elementos de su interés para la reunión.

1.5. Descarga de emergencia: cronología esencial

Para comodidad de los lectores, la siguiente tabla resume la secuencia de los eventos clave; las fechas más críticas posteriores a agosto de 2018 (primera visita del IAP) se muestran en rojo, y las medidas de respuesta a emergencias se resaltan en amarillo.

Día	Eventos clave
28 de abril de 2018	28 de abril de 2018: la falla del macizo rocoso en la GAD inició la secuencia de eventos.

10 de mayo de 2018	Para evitar el desbordamiento de la represa, EPM dejó abierto los túneles de entrada 1 y 2, así como los túneles de entrada 7 y 8; el embalse comenzó a fluir a través de la sala de máquinas. Control del nivel del embalse recuperado.
12 mayo de 2018	Un arrastre abrupto de la obstrucción del túnel de desvío derecho causó un flujo superior a 4000 m ³ /s, lo que provocó consecuencias graves corriente abajo.
17 de mayo de 2018	El túnel de fuga 3 redujo su flujo, que posteriormente se detuvo.
20 de mayo de 2018	EPM cerró las compuertas de entrada 7 y 8.
5 de junio de 2018	El nivel de la cresta de la represa alcanzó una altura de 410 msnm, lo que permitió la operación del aliviadero de superficie. Riesgo de desbordamiento de la represa evitado.
Noviembre de 2018	El nivel del embalse se mantuvo constantemente a una altura de 408 msnm sin causar daños adicionales a la represa.
Diciembre de 2018	Aparecieron signos de deterioro de la parte fija de las compuertas de entrada, lo que generó preocupaciones sobre la posibilidad futura de cerrar el túnel de entrada utilizando las compuertas de entrada. Tal evento podría haber tenido graves consecuencias para la sala de máquinas.
Diciembre de 2018/ principios de enero de 2019	El reconocimiento de que las actividades sobre la descarga intermedia no se completarían antes de octubre o noviembre de 2019, el resultado positivo del monitoreo de la represa y de las obras subterráneas, y el riesgo de enfrentar problemas con el cierre del túnel de entrada, significó reconsiderar las condiciones previamente identificadas como esenciales para el cierre de las compuertas, es decir (i) tapón final de la GAD y el RDT, (ii) finalización del diagrama plástico de la represa, (iii) finalización de la descarga inmediata. Se iniciaron preparativos para el cierre de la primera compuerta, incluida la instalación de instrumentación temporal adicional de la compuerta y una amplia reevaluación de las condiciones de funcionamiento de las compuertas de entrada con la participación de expertos y fabricantes.
16 de enero de 2019	Cierre de la primera compuerta de entrada (n.º 2)
Enero de 2019, días posteriores al cierre de la primera compuerta de entrada	Durante el cierre de la primera compuerta de entrada, una conexión física directa entre el túnel de entrada 1 y el 2 se evidencia inequívocamente por diversos fenómenos. Las primeras investigaciones revelaron que los pozos 1 y 2 se vieron severamente afectados por colapsos de sus paredes que generaron grandes cavidades. El colapso de la roca amenazaba los codos superiores, y quedaba solo un pequeño pilar de menos de 20 m.
5 de febrero de 2019	Cierre de la segunda compuerta de entrada (n.º 1)
Febrero de 2019 en adelante	Inicio del desagüe de las obras subterráneas; las actividades se previeron parcialmente porque el volumen de escombros en las elevaciones más bajas de las obras subterráneas fue mayor de lo esperado.

Integral indicó que la secuencia de eventos del 12, 17 y 20 de mayo es responsable de la situación actual del área alrededor de las tuberías forzadas 5, 6, 7 y 8 (consulte a continuación).

2. OBRAS Y COMPLEJOS SUBTERRÁNEOS

La zona de El Romerito, sobre las estructuras de entrada, colapsó en mayo de 2018 después del evento principal, y se reportó una falla en la chimenea. A partir de entonces, se planteó una preocupación. ¿Hacia dónde se dirigió el material colapsado en el interior de las obras subterráneas y con qué trayectoria? Esta zona potencialmente inestable concierne a los pozos del área de entrada. El Diseñador presentó la hipótesis de la formación y presencia de huecos que han afectado el área de los pozos 5 a 8. Sin embargo, la perturbación se encuentra en los orificios perforados, pero no hay vacíos claramente informados. El IAP no tuvo la oportunidad de inspeccionar los orificios perforados. Esta zona fue comentada por el IAP en el informe de abril de 2019. Estos canales estaban expuestas a descargas de emergencia y tenían que cerrarse según la cronología anterior (se registraron vibraciones intensas en el área de entrada en el momento de cerrar las compuertas).

Actualmente, se está llevando a cabo un refuerzo con lechada en esta área. Aunque no está claro que el terreno esté desestabilizado y débil a nivel general, el IAP está de acuerdo con este refuerzo, debido a muchas incertidumbres. Estas incertidumbres se refieren a la calidad del macizo rocoso investigado por los orificios perforados, ya sea debido a una perturbación causada por el evento o no. Sin embargo, no se puede conectar ninguna perturbación con la sala de máquinas.

El IAP no tiene más comentarios sobre la cavidad entre el pozo 1 y el pozo 2 desde el informe de abril de 2019.

El panel visitó varias obras subterráneas y las cavernas de los transformadores y las máquinas.

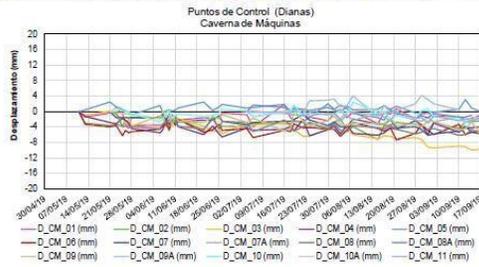
Las cavernas tienen una estabilidad general. No hay una desorganización del macizo rocoso. El monitoreo (extensómetros) antes del evento mostró una condición estable. Ahora no se miden cambios con respecto a las deformaciones. Por lo tanto, el macizo rocoso no está desgastado ni perturbado; tampoco muestra indicios de un problema de estabilidad general. Las mediciones geodésicas no muestran ningún cierre de la abertura. No se observan filtraciones desde arriba, teniendo ya una importante carga de agua del embalse. Definitivamente hay desprendimientos de rocas en algunos lugares, y es necesario reforzarlos. La rehabilitación ya está en curso. **Con la finalización, se debe instalar una red de monitoreo adicional.** Con la finalización, se debe instalar una red de monitoreo adicional.



Figura 1 - Caverna de la sala de máquinas vista desde la barra de carga. Se reconoce la estabilidad general del macizo rocoso.

COMPLEJO SUBTERRÁNEO

0.2.6 Instrumentación adicional – Caverna de transformadores



Dianas reflectivas Caverna de Máquinas: Desde el 13 de mayo/2019 se están monitoreando las deformaciones en la casa de máquinas mediante dianas reflectivas localizadas a la altura de los hastiales. Las lecturas obtenidas se encuentran dentro del rango de precisión del método de medición.



Figura 2 - Complejo subterráneo, caverna de transformadores.

COMPLEJO SUBTERRANEO

0.2.2 Caverna de Transformadores Sur – GML024

El monitoreo de la caverna de transformadores se inicia el 17/05/2019, a la fecha se mantiene estable.
Debido a trabajos que se ejecutan en el sector, a partir del 27 de agosto se crea una nueva pared de monitoreo. A la fecha, la tendencia de deformación muestra un comportamiento estable con magnitudes y dispersiones dentro de la precisión del instrumento.

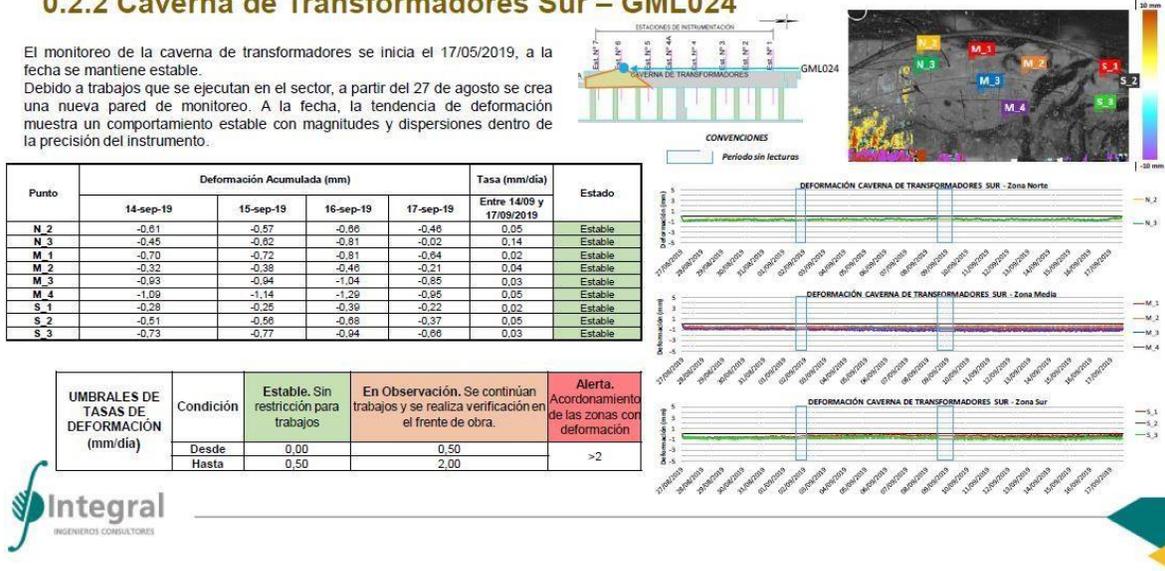


Figura 3 – Complejo subterráneo, caverna de transformación sur.

COMPLEJO SUBTERRANEO

0.2.5 Transformadores – Extensómetros de posición múltiple

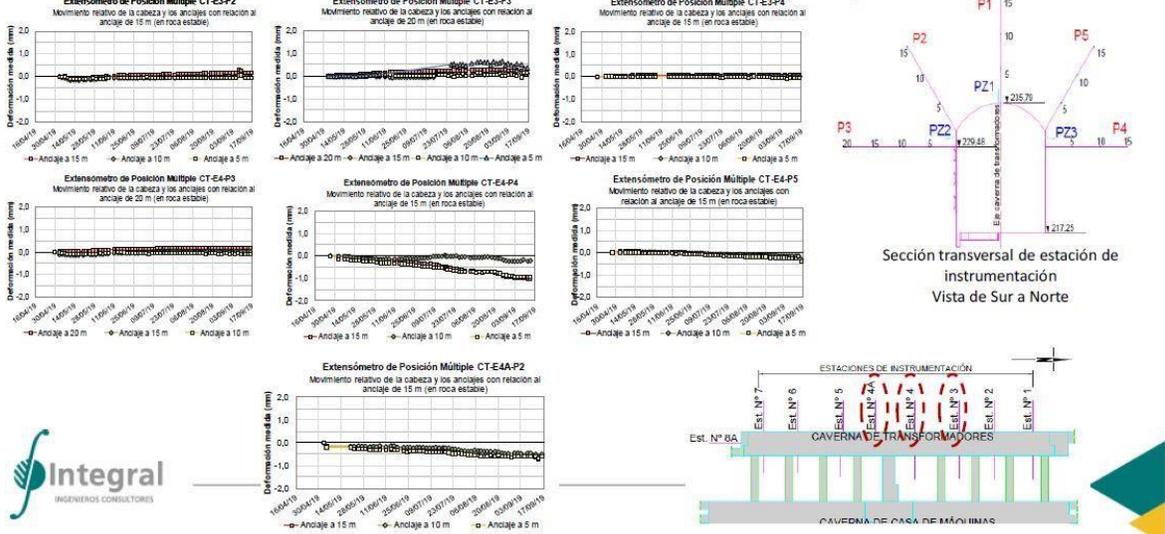


Figura 4 – Complejo subterráneo, extensómetro de posición múltiple.

COMPLEJO SUBTERRÁNEO

0.2.3 Casa de Máquinas – Entre unidades 2 y 3 – GML025

El monitoreo del hastial aguas debajo de la caverna de casa de máquinas entre unidades 2 y 3 se inicia el 25/05/2019. Debido a trabajos de demolición cercanos al instrumento, se retira el 27/07/2019 y se reubica sobre la viga-riel del puente grúa el 17/08/2019 hasta el 26/08/2019 fecha en la cual se retira nuevamente el instrumento debido a trabajos sobre el riel. El 1/09/2019 se reinician las lecturas con una nueva pared de monitoreo, permaneciendo a la fecha estables.

Punto	Deformación Acumulada (mm)				Tasa (mm/día)	Estado
	14-sep-19	15-sep-19	16-sep-19	17-sep-19		
N_1	0.97	0.83	1.47	1.61	0.21	Estable
N_2	-0.09	-0.35	-0.18	-0.15	-0.02	Estable
N_3	-0.65	-0.63	-0.49	-0.52	0.04	Estable
M_1	-0.13	-0.30	-0.11	0.09	0.07	Estable
M_2	0.42	0.33	0.55	0.64	0.07	Estable
M_3	-0.55	-0.71	-0.38	-0.09	0.15	Estable
S_1	-0.17	-0.31	-0.18	-0.01	0.05	Estable
S_2	0.26	0.18	0.53	0.68	0.14	Estable
S_3	0.20	0.02	0.21	0.30	0.04	Estable

UMBRALES DE TASAS DE DEFORMACIÓN (mm/día)	Condición	Estable.	En Observación.	Alerta.
		Desde	Sin restricción para trabajos	Se continúan trabajos y se realiza verificación en frente de obra.
Hasta	0,00	0,50	>2	

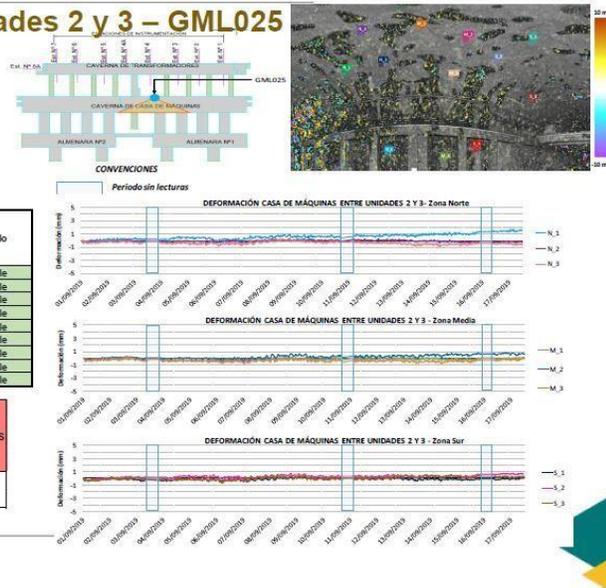


Figura 5 – Complejo subterráneo, sala de máquinas entre las unidades 2 y 3.

Las figuras 3 a 6 mostradas anteriormente fueron seleccionadas del monitoreo de las cavernas entre mayo de 2019 y septiembre de 2019. No se miden deformaciones, o las deformaciones se encuentran en el marco de la precisión del instrumento de medición. Por lo tanto, el macizo rocoso no está desgastado ni perturbado a nivel general; tampoco muestra indicios de un problema de estabilidad general. Las mediciones geodésicas no muestran ningún cierre de la abertura. Esto no significa que haya que descuidar el refuerzo adicional de las cavernas (Informe del IAP de marzo de 2019).

Las fallas y los colapsos en túneles y aberturas son en la mayoría de los casos estructuralmente dependientes de la gravedad. Están controlados por las características estructurales del macizo rocoso gnéisico (uniones, planos de esquistosidad y fallas que atraviesan la zona). Las aberturas colapsadas se conectaron rápidamente y se ha logrado un nuevo equilibrio, pero en algunos casos, son grandes (almenara). En muchos casos, no hay necesidad de llenar el vacío de la rotura superior a la forma antigua del túnel. Solo se debe reforzar la nueva geometría (hormigón proyectado y pernos/anclajes).

Conclusión: Ninguna parte del macizo rocoso ni de la zona de las obras subterráneas está en peligro. Hay una estabilidad general. Los daños y colapsos se pueden rehabilitar a condiciones geotécnicas seguras.

Se presentaron los principios para el taponamiento del TDD y la GAD, y estos son razonables.

3. EVALUACIÓN DE DAÑOS A EQUIPOS ELECTRO E HIDROMECÁNICOS

3.1. Equipo electromecánico

Cumpliendo con las disposiciones de seguridad actualmente establecidas en la mayoría de las obras subterráneas, el IAP tuvo la posibilidad de visitar la zona de las cámaras del pozo norte y sur, la caverna de la casa de máquinas, la galería de transformadores y la galería de cables que ocupa su parte superior.

Ya se dispone de una evaluación final de los daños en la mayoría de los equipos electromecánicos.

La situación es relativamente simple de describir porque, aparte de algunas partes mecánicas incrustadas en hormigón, todos los demás equipos ya instalados se consideran inadecuados para su futura operación.

Esta inadecuación se aplica también a los transformadores y cables de alta tensión, el único equipo para el que no se descartó, en principio, una posible recuperación.

Sus daños físicos y funcionales no fueron drásticos y están en línea con la previsión expresada en los informes anteriores. Sin embargo, un estudio conjunto de EPM y las aseguradoras decidió un reemplazo completo, principalmente al coste de las aseguradoras (los detalles están en análisis). Esta decisión parece rentable para EPM y, en estas condiciones, cuenta con el pleno apoyo del IAP. Además, esta decisión también parece estar respaldada por el hecho de que el fabricante de transformadores (SIEMENS) no extenderá la garantía para ningún equipo que no sea reemplazado.

La primera investigación visual realizada por EPM, según se informó al panel, no observó ningún signo de pérdidas de aceite de los transformadores (los tanques de los transformadores no se vieron afectados). Posteriormente, se retiró el aceite de los tanques del transformador y se eliminó adecuadamente.

En el momento de la visita al sitio, la caverna de transformadores era totalmente accesible: los daños a las estructuras civiles eran muy limitados, excepto por la presencia de escombros finos, y todos los transformadores estaban en su lugar.



Figura 6 - Uno de los transformadores elevadores monofásicos.

EPM tiene en el almacén solo 6 de los 25 transformadores monofásicos del suministro original; son suficientes para las dos primeras unidades, pero, al tener artículos de entrega prolongada, los otros se adquirirán a tiempo.



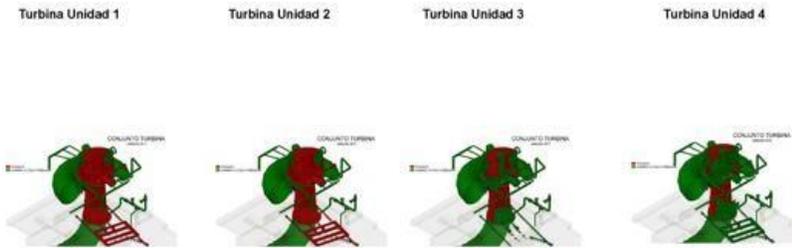
Figura 7 - Uno de los cables monofásicos de alta tensión.

En el momento de la inundación de la sala de máquinas, el progreso de la instalación de la parte más baja de las unidades era como se muestra en la figura 9 (el color verde muestra el equipo instalado).

La instalación de las turbinas del lado norte estaba muy avanzada, especialmente la unidad 3 y la unidad 4, que se iban a poner en marcha primero.

La necesidad de reemplazar los tubos de aspiración puede tener consecuencias sobre el cronograma, como se detalla en el párrafo correspondiente.

Progress of installation at the time of flooding the north power house



Progress of installation at the time of flooding the south power house

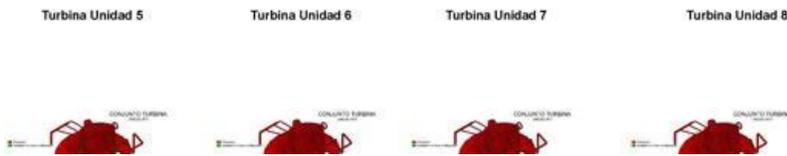


Figura 8 - Avance de la instalación en el momento de la inundación de las salas de máquina norte y sur.

La parte más baja de las unidades 1 y 2, así como los hormigones correspondientes de primera y segunda fase con sus partes incrustadas, se perdieron por completo, y su montaje comenzará desde el principio. No estaban disponibles para una inspección visual y se encontraban en una orilla temporal.



Figura 9 - Unidades 1 y 2. Imágenes de EPM.



Figura 10 - Unidades 1 y 2. Imágenes de EPM.



Figura 11 - Unidad 2, anillo de retención desplazado por socavación del agua de inundación.



Figura 12 – Tubo de aspiración de la unidad 3 dañado.



Figura 13 – Resto del tubo de aspiración de la unidad 4.

Las unidades 3 y 4 estaban parcialmente disponibles para inspección visual. Parte de la zona más baja está dañada, el cono del tubo de aspiración y el tubo de aspiración de la unidad 4 ya no están en su lugar, y el de la unidad 3 está dañado. La interrogante es el estado de sus hormigones de primera y segunda fase y sus partes incrustadas. EPM espera completar la evaluación para noviembre de 2019.



Figura 14 - Pared masiva a nivel del cono del tubo de aspiración con barras de acero expuestas y signos de erosión en la parte inferior izquierda.

El resultado de la evaluación de EPM representará uno de los elementos clave para decidir dentro de fin de año la secuencia de las unidades a poner en operación comercial.

Las dos grúas aéreas que estaban bien fijadas con cable a los dos rotores en el muelle de carga todavía están en su lugar, y la idea de obtener una grúa adecuada para la actividad temporal (reutilizando las dos grúas y reemplazando todos los componentes eléctricos) falló.



Figura 15 - Grúas.

El foso donde el generador n.º 3 estaba en estado avanzado de ensamblaje estaba libre de escombros, mientras que el estator del generador n.º 4 todavía estaba parcialmente cubierto por escombros (los dos rotores estaban completamente ensamblados en el muelle de carga).



Figura 16 - Rotor de la unidad 3 en el muelle de carga.



Figura 17 - El estator de la unidad 3 está limpio y listo para ser retirado.



Figura 18 - La brida del eje de la turbina que emerge de los escombros dentro del estator de la Unidad 4.



Figura 19 - Corredor de la unidad 3 visto desde abajo.

Se perdieron los conductos colectores de fase aislada de las unidades 3 y 4, que son mecánicamente frágiles, como se previó.



Figura 20 - Sección dañada y cortada del conducto colector de fases aisladas de la unidad 3.

Tres de las cuatro compuertas de los tubos de aspiración en la cámara del pozo norte ya no están en su lugar, colapsadas junto con la parte de la cámara del pozo donde se instalaron. Se encontraron en los canales de descarga.



Figura 21 - Ranura relativamente bien conservada para la compuerta del tubo de aspiración de la unidad 5 en la cámara del pozo sur.

El nivel más alto del edificio de control en el extremo norte de la caverna ya no existe. El sistema de control estaba casi completamente instalado antes del incidente, y todos los equipos computarizados móviles se retiraron antes del inicio de la descarga de emergencia.

3.2. Actualización sobre equipos hidromecánicos

Un nuevo componente hidromecánico pasa a formar parte del proyecto, el revestimiento de acero de los pozos verticales.

El diseño original preveía el revestimiento de acero solo en la sección horizontal entre el codo inferior y la caja en espiral de las unidades. Dados los graves daños al macizo rocoso en la zona de los pozos de presión, se debe asumir que el suelo ha perdido su capacidad de colaborar con el revestimiento en cuanto al soporte de las presiones internas. La adopción de un revestimiento de acero autónomo y dúctil parecía inevitable y fue recomendada por el IAP. EPM adoptó la recomendación y el contrato correspondiente con ATB Brescia estaba programado para ser firmado pocos días después de la finalización de la misión del IAP. La decisión tenía que ser rápida para evitar retrasos en la puesta en marcha de la primera unidad.



Figura 22 - Codo superior de la tubería forzada n.º 1 abierto para facilitar la instalación del revestimiento de acero con la cara corriente abajo de la compuerta de entrada en el fondo.

La siguiente tabla resume los comentarios del IAP sobre las compuertas del aliviadero y de la IDG (solo las compuertas del aliviadero se inspeccionaron visualmente durante la visita al sitio).

Equipos hidromecánicos	Progreso de la instalación y las pruebas	Observaciones
<p>Compuertas del aliviadero</p> <p>Cuatro compuertas radiales (dos con solapa para escombros) 15 m x 19,50 m</p> <p>Capacidad de descarga: 22 600 m³/s (PMF)</p> <p>Operación: servomotores oleodinámicos, control único y estaciones oleodinámicas para cada compuerta + control común</p>	<p>Ya en funcionamiento; se han completado las pruebas y el control común.</p> <p>Actualmente, todavía funcionan por separado.</p>	<p>La posición del edificio del generador diésel. En caso de terremoto, las rocas pueden caer desde la pendiente y golpear el edificio. Se recomienda la evaluación de riesgos.</p>
<p>Compuertas de la galería de descarga intermedia</p> <p>Dos compuertas radiales + dos compuertas corredizas de emergencia</p> <p>Dimensiones: 3 m x 3,90 m (compuertas radiales)</p> <p>Capacidad de ajuste: 750 m³/s con ambas compuertas en funcionamiento para toda elevación del embalse superior a 350 msnm</p>	<p>Ya en condiciones de funcionamiento; se han completado las pruebas y el control. Instalación de revestimiento de acero debidamente completada</p>	<p>Ninguno</p>

Operación: servomotores oleodinámicos, control único y estaciones oleodinámicas para cada compuerta.		
--	--	--

La siguiente tabla resume los comentarios del IAP sobre las compuertas de entrada y desvío.

Equipos hidromecánicos	Progreso de la instalación y las pruebas	Observaciones
<p>Compuertas de entrada</p> <p>Compuertas corredizas de altura, 5,03 x 6,87 m, con ataguías.</p> <p>Funcionamiento: servomotores oleo dinámicos.</p>	<p>Ahora se puede acceder a la zona. Se instaló una protección física sobre el foso y la caja de control de las unidades 1 y 2.</p>	<p>Las compuertas se cierran en condiciones de presión equilibrada y, en caso de emergencia, bajo la carga hidráulica máxima y el flujo nominal de la unidad. Sin embargo, se demostró su capacidad para cerrar bajo flujo más alto que el nominal.</p>
<p>Compuertas de desvío</p> <p>Compuertas de dos volantes, 9 m x 18 m</p>	<p>EPM está trabajando para bajar las compuertas levantadas de nuevo a la cámara de compuertas y dañadas durante el transitorio hidráulico del ADT.</p> <p>Las compuertas se bajaron a través de una grúa fija temporal.</p>	<p>EPM ya cerró la puerta izquierda, y trabajan para cerrar la derecha y rehabilitar la estructura de obra civil.</p>
<p>Compuertas de la salida inferior</p>	<p>Están bloqueadas y taponadas</p>	<p>sin haber sido utilizadas</p>

Las actividades en las compuertas de entrada y sus sistemas operativos están en su mayoría en espera porque no están en la ruta crítica, y la atención de EPM a estas áreas se concentra en trabajos de refuerzo subterráneo y estabilización de las pendientes.

El área de la IDG se utilizará para los sistemas de liberación controlada de la presión piezométrica corriente arriba del tapón temporal del DT2 y las compuertas de desviación de la GAD; el objetivo es aumentar la seguridad en el momento de los trabajos de taponamiento permanente.

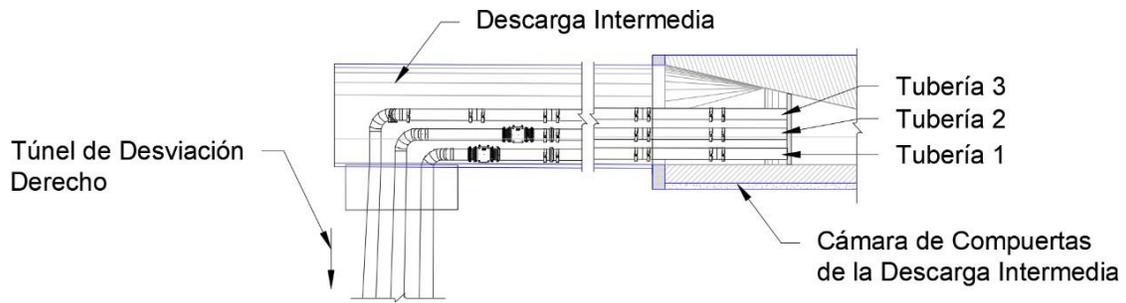


Figura 23 - Tubos del sistema de liberación de control de presión piezométrica para el DT2.

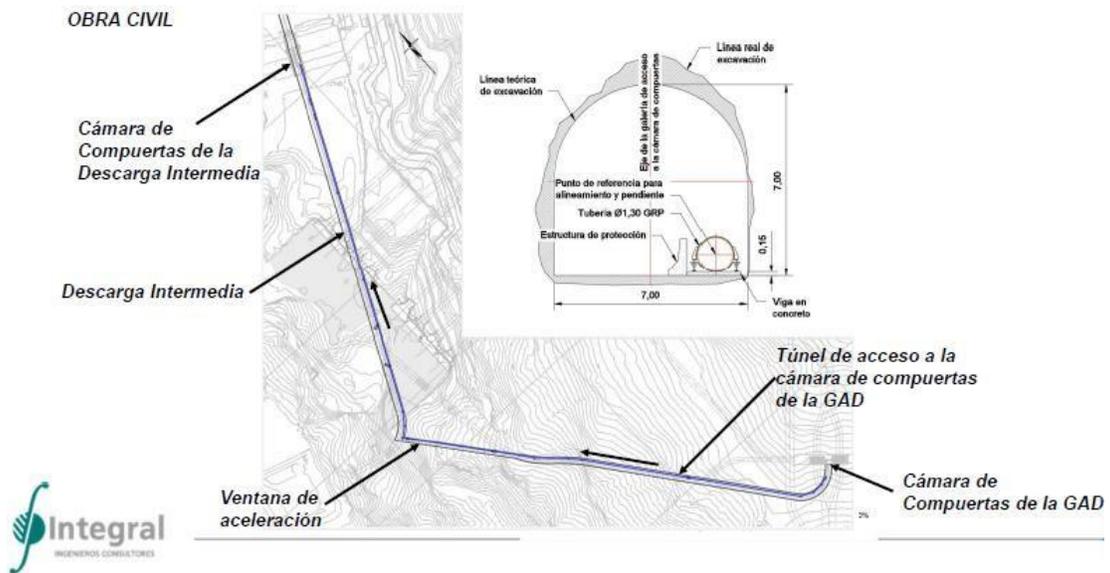


Figura 24 - Sistema de liberación de control de presión piezométrica de la GAD.

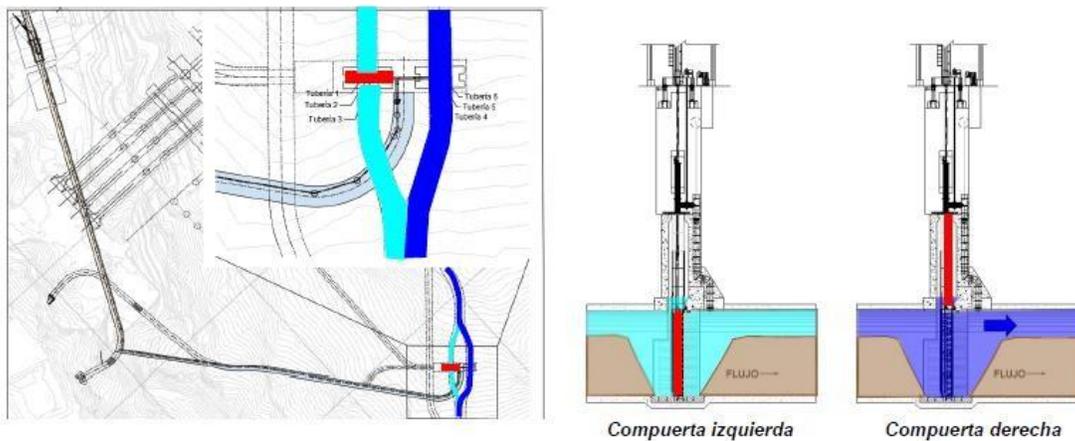


Figura 25 - Situación actual de las compuertas de la GAD.

3.3. Actualización sobre el patio de maniobras de GIS de 500 kV.

El patio de maniobras de 500 kV ya está terminado, aunque será necesario reinstalar el cable de alimentación de alta tensión, así como todos los demás cables procedentes de la central eléctrica. La galería de cables incluye conexiones con el patio de maniobras de GIS de 500 kV. EPM realizó pequeños trabajos de estabilización en la pendiente sobre el área del patio de maniobras.

4. CONTROL DE LOS NIVELES DEL EMBALSE

4.1. Galería de descarga intermedia a elevación 260 m

La posibilidad de controlar el nivel del embalse de Ituango es extremadamente limitada en la configuración actual. Solo la galería de descarga intermedia (IDG), con umbral de diseño a 260 msnm, ofrecería una capacidad parcial en ese sentido. Después de verificar las condiciones de seguridad del enchufe y de toda la porción del túnel corriente arriba de las compuertas de la IDG, EPM reforzó el revestimiento de hormigón, completó la lechada de contacto detrás del revestimiento corriente arriba de las compuertas de emergencia, y aumentó y fortaleció las dos paredes verticales del canal corriente abajo.

4.2. Opciones de diseño actualmente en evaluación

EPM aún está evaluando diferentes opciones para el diseño de la entrada de la IDG, y la decisión final se tomará en breve. La opción de completar el tramo del túnel entre el tapón existente y el portal de entrada, así como el propio portal, fue la primera opción considerada. Se recomienda el uso de revestimiento de acero para el túnel.

Recientemente, se ha presentado un importante cambio de diseño. Este prevé el abandono del portal original y la colocación de la entrada de la IDG a una mayor elevación, alimentada por las entradas 3 y 4, corriente arriba de las compuertas, pero corriente abajo de los tapones, a través de un pozo vertical diseñado para 450 m³/s y conectado a la IDG corriente abajo de su tapón de corriente.

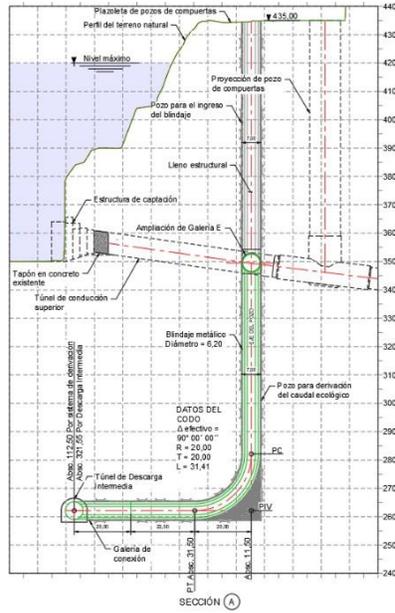


Figura 26 - Sección del diseño alternativo.

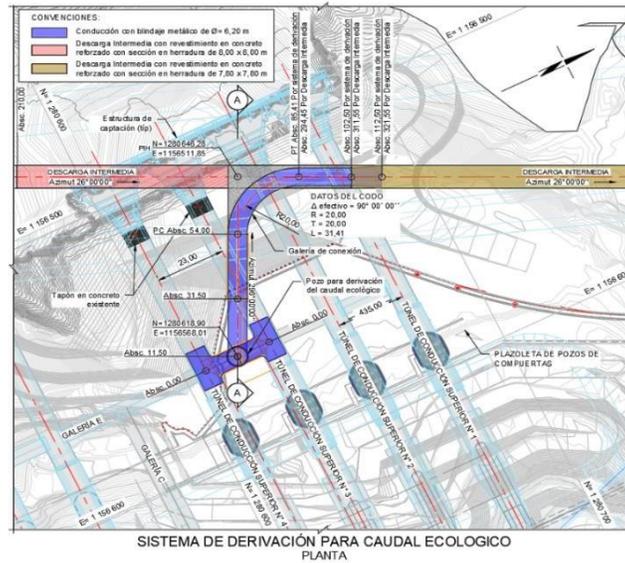


Figura 27 - Plano del diseño alternativo.

Esta opción es menos arriesgada en términos de calendario y metodología, y menos costosa.

Sin embargo, renunciaría definitivamente a la posibilidad de controlar el nivel del embalse a 350 - 370 msnm. El único medio para bajar el nivel del embalse sería a través de las turbinas, en las que no se puede confiar a largo plazo y en caso de situaciones de emergencia (por ejemplo, un fuerte terremoto).

4.3. Salida de nivel medio adicional

Si se completa, con entrada a una elevación de 260 msnm, la IDG sería una característica de diseño positiva que mejorará el funcionamiento del Proyecto. Al mismo tiempo, dicha medida es insuficiente para garantizar un control adecuado de los niveles del embalse en todas las condiciones previsible durante la vida del plan.

El IAP reiteró su recomendación de dotar a Ituango de una salida de nivel medio (MLO) adicional por, al menos, dos razones:

- Seguridad: la parte superior del embalse debe bajarse en condiciones de emergencia (por ejemplo, después de un terremoto o para manifestaciones de erosión interna), incluso cuando no se puede confiar en la descarga a través de las turbinas.
- Operación: para acceder a las áreas de la compuerta de entrada, para mantenimiento o reparaciones extraordinarias.

4.4. Importancia de controlar los niveles del embalse/Análisis del modo de falla potencial

El IAP entiende que la EBIA está presentando preocupaciones legítimas asociadas con las dificultades de completar el diseño original de la IDG y realizar una capacidad de descarga adicional (salida de nivel medio) en un macizo rocoso que ve áreas locales perturbadas y ya alberga varios túneles. Además, la EBIA del proyecto todavía parece convencida de que no se necesitan obras hidráulicas para controlar y bajar los niveles del embalse. La EBIA todavía confirma sustancialmente el diseño original previsto al comienzo del proyecto; la única capacidad de descarga, aparte del aliviadero, es la que garantiza los 450 m³/s de la descarga ambiental obligatoria. Se registrará que dicho enfoque ya está implementado en otro proyecto hidroeléctrico en Colombia.

El IAP confirma una opinión diferente. La disponibilidad de obras hidráulicas para bajar el nivel del embalse, en circunstancias excepcionales cuando no se puede confiar en el funcionamiento de la turbina, es fundamental para el desempeño seguro del proyecto a largo plazo. La operación del proyecto no va a ser confiable, y no se puede garantizar la seguridad sin un sistema para bajar los niveles por debajo del nivel de entrada de alimentación, y el compartimiento estanco temporal en la plataforma de entrada sería solo un proxy.

El IAP reitera la necesidad de una descarga adicional, la MLO (no necesariamente antes de la puesta en marcha de las unidades), y la importancia de evaluar cuidadosamente las consecuencias de la nueva solución para la entrada de la IDG que limitaría su flujo máximo y reduciría su rango operativo en el futuro.

La declaración anterior habría sido válida desde el comienzo del proyecto, ya que representaba una opinión profesional diferente en comparación con la de los proyectos de la EBIA, pero se hizo más estricta después de los eventos que afectaron al proyecto.

El IAP es plenamente consciente de que la solución es muy compleja de ejecutar (ya sea un aumento de la capacidad de la IDG, que sería un mínimo, o la construcción de una salida de nivel medio, que el IAP ha defendido desde el principio), pero esta característica esencial no se puede renunciar solo por las complejidades tecnológicas.

El IAP recibió una breve documentación, elaborada por Integral, con el objetivo de demostrar la inadecuación de la IDG para controlar el nivel del embalse. Sin embargo, dicha documentación tiene un interés limitado porque considera, sin demostración y en contra de las prácticas normales, el nivel de operación más bajo de las unidades correspondientes al nivel mínimo de operación de 390,00 msnm, incluso en situación de emergencia, y el flujo máximo de la IDG a su valor original de 450 m³/s sin considerar el aumento de capacidad obtenido.

El tema del control del embalse a largo plazo es demasiado importante y requiere un examen detallado. Con este fin, el IAP propone realizar una sesión de PFMA (Análisis del Modo de Falla Potencial), en el sitio o en Medellín, para analizar posibles escenarios de operación del proyecto, o falla en la operación, bajo diferentes configuraciones de canales de agua. La sesión debe involucrar a todas las partes interesadas clave, y a la EBIA en particular (posiblemente también a POYRY).

Hay que tomar una decisión, y debe ser una decisión informada. El IAP considera que un taller de PFMA es la herramienta adecuada para tal fin.

5. REPRESA

5.1. Deformaciones de asentamientos

La represa se ha completado y se comporta satisfactoriamente. El dique muestra asentamiento normal en la cresta. Las deformaciones medidas desde octubre de 2018 están asociadas tanto a la subida de la represa como del embalse. Los valores medidos son confiables, considerando que cuentan también las deformaciones de toda la represa alta.

Los extensómetros magnéticos colocados desde la cresta de la represa muestran variaciones menores en los límites de la exactitud de las mediciones desde la finalización de la represa a partir de julio de 2019, con un comportamiento estable.

El control y seguimiento de las deformaciones de la cara de la represa se registra mediante el radar interferómetro SAR-X. Hay un ligero aumento de la deformación en la parte superior, explicado por la subida del nivel de la represa y el embalse. Su tamaño es el esperado.

5.2. Gradientes de los piezómetros y fugas

Los piezómetros situados corriente abajo de la pared del diafragma de plástico hacia las zonas de filtro se han mantenido secos desde su instalación.

Los piezómetros instalados en el núcleo de la represa mostraron el comportamiento esperado por el análisis. Actualmente, tienen un comportamiento estable.

Las lecturas de los piezómetros principales son satisfactorias en todas las secciones de la represa. Hay una clara caída de los cabezales piezométricos corriente abajo del pozo, lo que denota un bajo gradiente hidráulico y un buen funcionamiento de la cortina de lechada. El comportamiento ha sido estable hasta ahora.

PRESA

0.3.24 Deformaciones al 15/09/2019

Los PCS 29, PCS 30 y PCS 35 registran deformaciones asociadas tanto al incremento del nivel del embalse y de los llenos de la presa. En las gráficas se observa un aumento en las deformaciones, atribuido al reinicio de la conformación de los llenos de la presa por encima de la cota 418, el 07 de abril de 2019. Y culminando el 19 de julio de 2019.

En el PCS_30 el rango de valores entre umbrales es menor al error de precisión de los equipos, generando una oscilación entre umbrales.

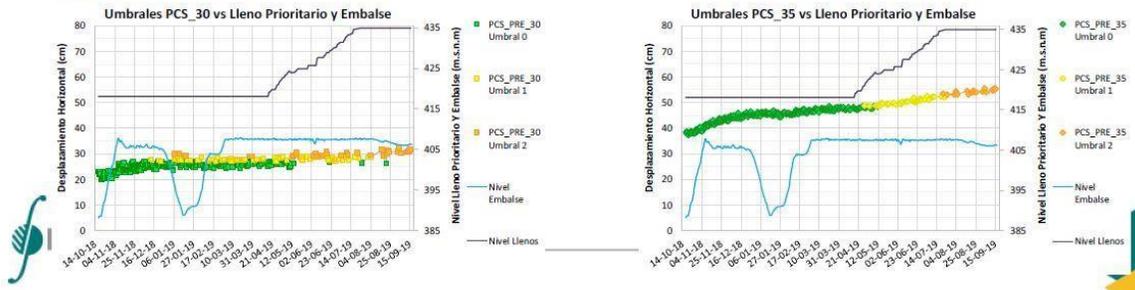


Figura 28 – Deformaciones de la represa desde octubre de 2018, tras la subida del nivel de la represa y el embalse. Los valores están en línea con los valores que podrían esperarse.

PRESA

0.3.20 Piezometría Abs 480 al 15/09/2019

Los piezómetros instalados la abscisa 480 presentaron un comportamiento de acuerdo con lo esperado bajo condiciones ideales regidas por la modelación numérica para la etapa de llenado del embalse. El comportamiento ha sido estable sin cambios significativos luego de la entrada a la etapa de operación de la presa

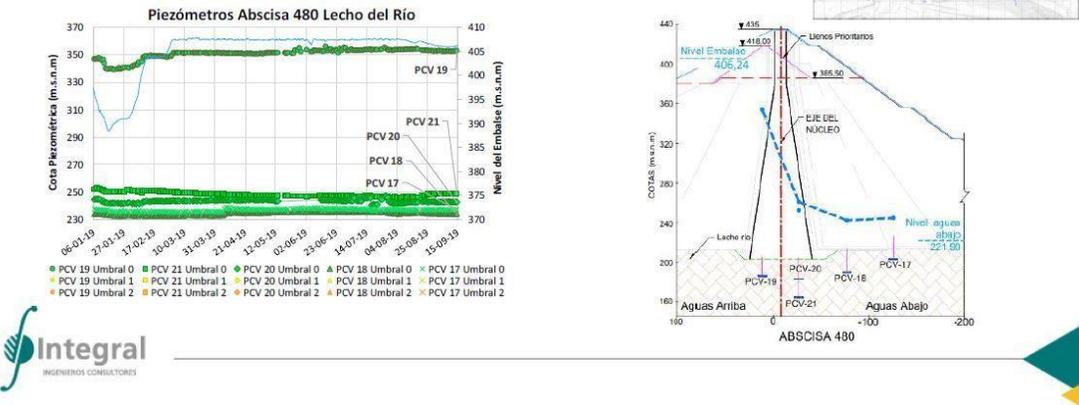


Figura 29 – Perfil piezométrico en el lado izquierdo de la represa y su cimentación, y su evolución con el tiempo. Buen comportamiento del núcleo de la represa. Cabezales piezométricos corriente abajo de la cortina de lechada, más altos de lo esperado. Las fugas se registran en la galería de inspección, del lado izquierdo. Aunque no son altas (170 l/seg), se prevé una inyección de lechada adicional en esta área.

La filtración de agua asociada con la pared del diafragma es muy baja. A partir del 18 de agosto de 2019, con el nivel de embalse en +407,08, las infiltraciones registran un flujo de 7,8 l/seg.

Las fugas en las galerías de inspección y lechada son de bajas a muy bajas. La necesidad de trabajos adicionales de inyección de lechada en la orilla izquierda se analizó en el informe del IAP de marzo de 2019, aunque el alcance de la fuga no fue excesivo. Se ejecutó una inyección de lechada adicional. Sin embargo, la filtración general no disminuye sustancialmente. Con el nivel actual del embalse, en este estribo se informa que la filtración total ha alcanzado los 170 l/seg. Se recomendó la inyección de lechada multidireccional adicional, que se debe realizar después de revestir la galería de lechada. Toda el agua filtrada está limpia, según el informe.

La filtración de agua asociada con la pared del diafragma es muy baja. A partir del 18 de agosto de 2019, con el nivel de embalse en +407,08, las infiltraciones registran un flujo de 7,8 l/seg.

6. ESTRIBO IZQUIERDO

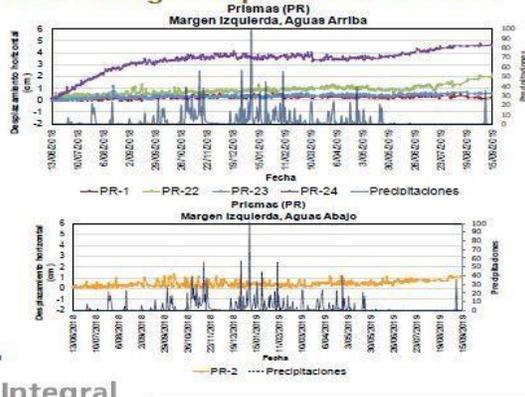
El estribo izquierdo no muestra formas que pudieran corresponder a suelo inestable o desprendimientos antiguos. Podrían ocurrir desprendimientos como el que ocurrió corriente arriba del estribo. El monitoreo geodésico desde junio de 2018 muestra condiciones estables. No se registra una tendencia de desprendimiento.



Figura 30 - Vista aérea del estribo izquierdo. Geomorfología sin exposición de formas inestables. Solo desprendimientos.

PRESA

0.3.27 Margen Izquierda de la Presa



Prismas:

En el registro de los prismas de la margen izquierda el comportamiento general durante los últimos meses ha sido estable, con movimientos inferiores a 1,5 cm en los Prismas 2 y 22. La deformación registrada en el prisma 24 al inicio de las lecturas correspondió a movimientos generados por el lavado de material durante la segunda temporada invernal de 2018.

Piezómetro:

El PCV_MI_02 presenta variaciones asociadas directamente al nivel del embalse, la cota de instalación del sensor inferior es la 391,19 m s.n.m. y registra al 15 de septiembre una columna de agua total de 13,85 m.

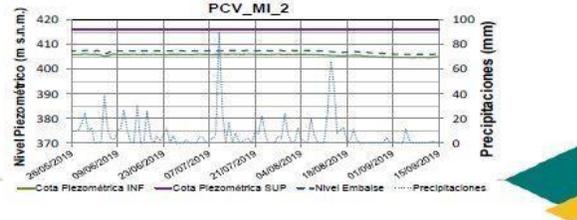


Figura 31 - Estribo izquierdo. Monitoreo geodésico desde la estabilidad de junio de 2018. No hay signos de deformación a considerar; no hay tendencia.

El monitoreo de las pendientes inferiores con el radar SAR-X muestra un proceso de erosión superficial lento y activo, tratado con geomalla y revegetalización. La tendencia a la deformación ha disminuido en las últimas semanas.

La monitorización del estribo izquierdo tiene que ser permanente.

7. ESTRIBO DERECHO Y EL ROMERITO

Las pendientes en la parte superior del estribo derecho ya están remodeladas, asentadas y ancladas. La estabilización avanza cuesta abajo con otro banco hacia la zona de El Romerito. Durante la misión, el panel visitó las obras en curso en la pendiente. Tanto el diseño como la implementación se consideran satisfactorios. Este tratamiento contribuirá a la estabilidad del estribo y descargará la parte de El Romerito de la pendiente por encima y por detrás de las estructuras de entrada.



Figura 32 - Estribo derecho y "El Romerito".

ROMERITO

0.5.2 Piezómetros / Inclínómetros



Figura 33 – Estribo derecho y zona sobre “El Romerito”. Posición de los inclinómetros. Los resultados de la monitorización son satisfactorios. Solo IN-GAP-05 muestra un desprendimiento de aproximadamente 1 cm a una profundidad de 18 m, sobre la parte terminal de la pendiente natural.



Figura 34 – Protección estructural por encima de las compuertas de entrada de alimentación 2, 3 y 4 a mejorar.

Los resultados de la monitorización son satisfactorios. Solo el inclinómetro IN-GAP-05 sobre la parte terminal muestra un desprendimiento de aproximadamente 1 cm a una profundidad de 18 m; el monitoreo debe continuar para la verificación.

Se observaron grietas en las capas de hormigón proyectado en la pendiente por encima de la plataforma de las entradas de alimentación. Se debe revisar la estabilidad de estas pendientes y continuar el monitoreo.

El IAP reitera su consejo de extender las medidas de protección de pendientes hasta el área desestabilizada por encima de los dos túneles de desvío y la entrada de la IDG donde se han producido grandes movimientos de masas.

Una pendiente en esas condiciones no puede dejarse sin tratar en ningún caso. Está demasiado cerca de la represa, y no podemos excluir la posibilidad de completar la IDG o incluso añadir una MLO. El IAP expresó esta necesidad desde la primera visita.

8. PENDIENTES DEL ALIVIADERO

El IAP ya ha comentado sobre la operación segura del aliviadero. El monitoreo de las pendientes del aliviadero muestra un comportamiento satisfactorio. Las celdas de carga y los extensómetros multiposición muestran un comportamiento estable. Los inclinómetros instalados no muestran desprendimientos a considerar por inestabilidad; las mediciones no definen profundidad precisa y se encuentran en el rango de error de las mediciones. El monitoreo tiene que ser permanente. En la zona de la subestación sobre el aliviadero donde se midió una deformación de 4 cm en noviembre de 2018, a una profundidad de 10 m, no se registró ningún movimiento adicional hasta la actualidad.

9. GESTIÓN DE SEDIMENTOS/TENDENCIAS DE SEDIMENTOS

Como seguimiento del discurso iniciado durante sus primeras visitas, el IAP reitera la planificación de estudios del embalse destinados a proporcionar elementos tempranos para la gestión de la sedimentación y a considerar desde la primera etapa de la operación todas las medidas posibles para garantizar la gestión de los sedimentos.

Se recomiendan dos tipos de estudios:

- Estudios batimétricos del embalse, y
- Distribución granulométrica de los depósitos del delta que comienzan a acumularse en el límite corriente arriba del lago.

10. FINALIZACIÓN DEL PROYECTO

10.1. Cronograma

El último cronograma del proyecto fue proporcionado por EPM en agosto de 2019 y está fechado el 29 de junio de 2019. Es una versión refinada de las anteriores que refleja la estrategia de finalización con las mismas dos fases previstas en septiembre de 2018, (i) unidades 1 a 4 (sala de máquinas norte), finalización a finales de 2021 y (ii) unidades 5 a 8 (sala de máquinas sur), finalización a finales de 2023. Sin embargo, este último cronograma pospone la puesta en marcha de la primera unidad a finales de 2021 y fecha las de las otras tres primeras unidades en 2022.

El valor actual de los detalles del cronograma es limitado porque los hallazgos y la evaluación recientes causaron cambios importantes en la planificación del proyecto.

El nuevo cronograma estará listo a finales de año, a principios de 2020. Este reflejará, además de una secuencia mejor definida de todas las actividades, las decisiones clave que deben tomarse en los próximos meses; entre otras, la secuencia de las unidades a erigir y poner en servicio. De hecho, se prevé que se abandone el enfoque de dos fases correspondiente a las salas de máquinas norte y sur.

Los impulsores clave del nuevo cronograma serán la evaluación del hormigón existente de las unidades 3 y 4 (retener o eliminar) y el perfil de riesgo de las diferentes entradas.

Un elemento parece seguro: las unidades 7 y 8 serán las últimas en ser puestas en servicio debido a la falta de túnel de descarga y la extensión de los daños en la parte sureste del proyecto. Un par de otros elementos parecen bastante probables: la unidad 5 y 6 estarán entre las primeras en ser puestas en servicio, la cámara de los pozos norte y sur debe dividirse en dos mitades para permitir un cronograma más rápido.

EPM confiaba en alcanzar el hito de 2021 (qué, según entiende el IAP, es solo una unidad) y presentó la garantía financiera pertinente al regulador para obtener derechos de acceso al mercado (dicha garantía financiera ya se perdió una vez a finales de 2018).

Con base en el estado actual de la evaluación de los daños a las obras subterráneas, queda claro que las obras de reparación son el factor de control de cronograma. Esto también se debe a que todo un conjunto de equipos electromecánicos, originalmente asignados a las unidades 5 a 8 (sala de máquinas sur), ya está disponible en el almacén de EPM. Sin embargo, de acuerdo con la información en manos del IAP, solo los transformadores monofásicos para dos unidades y un tubo de aspiración están disponibles en los almacenes de EPM.

El tiempo para el diseño, la fabricación, el transporte, la instalación y la prueba del revestimiento debe detallarse en un cronograma revisado.

Un elemento en la ruta crítica debe ser la disponibilidad de la estructura de obra civil (hormigones de primera fase) de la sala de máquinas a finales de junio de 2020. De hecho, EPM estima un retraso de 18 meses para la instalación del componente electromecánico de una unidad.

A pesar de la mejora significativa en la evaluación de las condiciones de las obras civiles subterráneas y los equipos electromecánicos instalados, la gestión adaptativa seguirá siendo el principio rector para la implementación del proyecto. Dicho esto, la decisión de EPM de mantener el cronograma anterior para la primera unidad parece razonablemente sólida.

EPM podrá emitir el cronograma actualizado en los próximos meses, y en ese momento, se justificará mejor su solidez; para la mayor parte del proyecto, excepto la parte sureste, debe ser un cronograma final.

10.2. Costes

Las estimaciones de costes son actualmente menos inciertas que hace seis meses; sin embargo, por el momento, EPM no comunicó una estimación de costes actualizada a la IAP, y hay muy pocos elementos disponibles para actualizar de manera confiable las estimaciones que se realizaron en septiembre de 2018.

Con base en el conocimiento actual, es seguro mantener las estimaciones de septiembre para fines financieros. Los hallazgos que afectan a las obras civiles deben equilibrarse ampliamente con las intervenciones de las aseguradoras para los equipos electromecánicos.

ANEXO: LISTADO DE DOCUMENTOS PUESTOS A DISPOSICIÓN DEL IAP

- [1] Temario de la vigésima segunda reunión 23 al 28 de septiembre de 2019 - Túneles de desviación, GAD y descarga intermedia, Integral.
- [2] Temario de la vigésima segunda reunión 23 al 28 de septiembre de 2019 - Obras de generación, Integral.
- [3] Recuperación de las condiciones originales del lecho del Río Cauca, Integral 2019.
- [4] Instrumentación, Integral, 2019.
- [5] Otros [geotecnia], Integral, 2019.
- Equipos en inventario/equipos a reponer/equipos electromecánicos – estado, EPM.
- Justificación técnica de por qué la descarga intermedia actual de la forma como está no sería una solución viable para desembalsar el embalse + simulación desembalse sin di habilitada/simulación desembalse con di habilitada, Integral (?).
- Panel de asesores de EPM, vigésima segunda visita. EPM, Integral. Septiembre de 2019.