

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 n.º 6 del IAP, julio de 2021

Proyecto Hidroeléctrico Ituango,

Colombia



Alessandro Palmieri
Dam Engineering and Safety (Chair)

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

Pavlos Marinos
Engineering Geology and Geotechnical

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

Federico Ciampitti
Hydraulic, Mechanical & Electric Equipment

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

Mario Sartori
Budget, chronogram, and construction progress

Via del Blenda 8, 58100 Grosseto, Italy
sartoriavi46@gmail.com

Contenido

Siglas

RESUMEN EJECUTIVO Y RECOMENDACIONES

1. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO

- 1.1 General
- 1.2 Comparación con febrero de 2021
- 1.3 Opciones para la finalización del proyecto
- 1.4 Perfil de riesgo del Proyecto
- 1.5 Sellado permanente del TD2 y la GAD
- 1.6 Nivel de peligro corriente abajo
- 1.7 Evaluación de seguridad

2. RIESGO RESIDUAL DURANTE LA OPERACIÓN

- 2.1 Control del embalse durante la operación del proyecto
- 2.2 Sedimentación del embalse

3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

- 3.1 Complejo de cavernas: sala de máquinas y pozo de carga
- 3.2 Pozos de la zona sur
- 3.3 Represa
- 3.4 Aliviadero y piscina de inmersión
- 3.5 Estabilidad de las pendientes por encima de la plataforma del pozo de la compuerta
- 3.6 La pendiente más corriente arriba al sur de El Romerito
- 3.7 Inestabilidad de la zona de 0+900 corriente arriba de la represa

4. EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS

- 4.1 Equipos instalados en el complejo de cavernas
- 4.2 Avance del montaje y la instalación
- 4.3 Cronograma crítico: entradas de alimentación
- 4.4 Cronograma crítico: revestimiento de acero en los pozos de presión
- 4.5 Cronograma crítico: turbogenerador, unidad 1

4.6 Otros trabajos electromecánicos

5. FINALIZACIÓN DEL PROYECTO: CRONOGRAMA E IMPLICACIONES DE COSTES

5.1 Revisión de hitos

5.2 Avance de la recuperación de obras subterráneas

5.3 General en el cronograma del proyecto

5.4 Cronograma crítico: unidades 1 y 2, y sus canales

5.5 Cronograma crítico: sellado permanente del TD2 y la GAD

5.6 Logro de la operación comercial

5.7 Implicaciones de costes del cronograma de finalización

ANEXO A: LISTADO DE DOCUMENTOS PUESTOS A DISPOSICIÓN DEL IAP

Siglas utilizadas

ADT	Túnel de desvío auxiliar Actualización Proyecto-Tema Informativo
API	(6 de julio de 2021)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAP	Inversión de capital
CFD	Dinámica computacional de fluidos
C&I	Control e instrumentación (cables)
COD	Fecha de inicio de la operación (unidades de turbina)
DRM	Masa rocosa perturbada
EBIA	Junta de Asesores Independientes de EPM
EPM	Empresas Públicas de Medellín
EPP	Plan de Preparación para Emergencias
FEM	Análisis de elementos finitos
GIS	Aparellaje aislado por gas
HPP	Central hidroeléctrica
HV	Alto voltaje
IAO	Informe de avance de las obras de estabilización (28 de junio de 2021)
IAP	Panel Asesor Independiente de BID Invest
IDG	Galería de descarga intermedia
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional Método
LOB	de línea de presupuesto
LV	Baja tensión
MAF	Flujo medio anual
MAS	Producción media anual
msnm	de sedimentos Metros sobre el nivel del mar
MLO	Salida de nivel medio
MOL	Nivel operativo mínimo
ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales Técnica de Evaluación
PERT	y Revisión de Proyectos
PF	Probabilidad de falla
PFMA	Análisis de modos de falla potencial
PH	Sala de máquinas
RLM	Matriz de nivel de respuesta
SRF	Factor de reducción de resistencia (utilizado en el análisis
TD2	de estabilidad de pendientes) Túnel de desviación 2 (derecho)
TLN	Time Line Now (herramienta de línea de tiempo)

RESUMEN EJECUTIVO Y RECOMENDACIONES

Evaluación general de seguridad

A pesar de los eventos sin precedentes que impactaron el Proyecto, los trabajos implementados permiten expresar una evaluación satisfactoria de la seguridad de las obras tanto de superficie como subterráneas.

El sellado del TD2, y de la GAD, presenta un riesgo moderado hasta la finalización de las obras. Se ha implementado un Plan de Preparación para Emergencias dedicado para alertar a los trabajadores y las comunidades corriente abajo durante la ejecución de los trabajos de sellado.

Las obras subacuáticas, necesarias para activar las entradas de alimentación, presentan desafíos de seguridad por su propia naturaleza.

Evaluación técnica

La instrumentación y el monitoreo continúan mostrando comportamientos satisfactorios de la represa. Se han observado algunas erosiones menores en la pendiente de la piscina de inmersión; todavía no hay nada que temer, pero podrían representar los primeros signos de "fatiga estructural". Los trabajos de estabilización de pendientes en el estribo derecho de la represa están casi terminados, y el monitoreo indica un rendimiento adecuado.

No se prevén nuevas zonas erosionadas importantes en el lado norte del complejo de la sala de máquinas (unidades 1 a 4).

La evaluación relativa a la zona sur, unidades 5 a 8, sigue siendo difícil debido a los extensos y complejos trabajos de tratamiento del macizo rocoso perturbado que afectan a los pozos de presión. También se está revisando el diseño final de las obras permanentes.

Continúan las actividades para el sellado permanente del TD2 y de la GAD. Existe un Plan de Preparación para Emergencias (EPP) específico, que es adecuado para el propósito.

La posibilidad de reducir el nivel del embalse por debajo de 390 msnm se contemplará en el Plan de Preparación para Emergencias (EPP) del Proyecto, y este último debe contar con dos elementos:

- un sistema de respuesta de descarga a corto plazo (4 unidades en funcionamiento), y
- el alcance de los daños potenciales en caso de una operación prolongada de las unidades por debajo de la MLO (390).

Con base en los estudios realizados hasta la fecha, el IAP cree que se puede definir una línea de base adecuada para monitorear la sedimentación del embalse durante la vida del Proyecto.

Evaluación del cronograma

Durante la visita, el IAP se enteró de que, a la fecha, aún no existe una definición sobre si el consorcio de construcción, el consorcio de supervisión y la empresa asesora continuarán trabajando después del 31 de diciembre de 2021. La situación está fuera del control de EPM, lo que la convierte en el

asunto más crucial para la gestión del cronograma y para la operación comercial de la unidad 1 para julio de 2022.

Se han cumplido dos hitos, correspondientes al Contrato de préstamo entre EPM y BID Invest:

- Instalación de grúa aérea de 300 toneladas para la caverna de generación norte, y
- Finalización de la red de 62 micropilotes para el taponamiento final del TD2.

El 25 de julio, mientras se preparaba este Informe, el IAP se enteró de que se había instalado la cámara en espiral de la unidad 1 y que la de la unidad 2 estaba en curso.

A falta de una PERT, o un análisis equivalente, el IAP tuvo que realizar una laboriosa comparación de las actividades incluidas en el cronograma de EPM (*Programa de Ejecución de Obras_PBE*) del 31 de diciembre de 2020, con la información contenida en las presentaciones recibidas durante la visita.

La aplicación del método Time Line Now, fijando la fecha para el 30 de junio de 2021, permite marcar los principales retrasos con referencia a:

- Canales de agua hacia las unidades 1 y 2, incluidas las propias unidades: retrasos evaluados de entre 3 y 6 meses, y
- Sellado permanente del TD2 y la GAD: retrasos evaluados de entre 2 y 5 meses.

Cabe señalar que esto no significa necesariamente que las COD estén sujetas a los mismos retrasos, porque:

- La planificación detallada de EPM puede contener elementos que el IAP no puede deducir sin diagramas tipo PERT.
- EPM está implementando medidas de aceleración para recuperar los retrasos.
- La instalación exitosa de la caja espiral en U1 el 25 de julio es un ejemplo de ello.

En general, el IAP observa que, en comparación con febrero de 2021, las postergaciones permitidas del cronograma del proyecto se ha reducido y los retrasos debidos a las obras civiles adicionales solo pueden compensarse acelerando las instalaciones mecánicas y eléctricas.

En la vista IAP, las subacuáticas para la activación de las entradas de alimentación son la actividad más desafiante para el inicio de la operación de las unidades 1 y 2.

Dadas las considerables incertidumbres asociadas con la finalización de los trabajos de rehabilitación en la zona sur del complejo de la sala de máquinas, y del macizo rocoso perturbado en particular, todavía es prematuro hacer algún comentario significativo sobre el logro de las COD para las unidades 5 a 8.

Durante la misión de julio de 2021, se informó al IAP que la Dirección de EPM estaba a punto de decidir un aumento de presupuesto para la finalización de las obras. El IAP entiende que el aumento presupuestario está en línea con la estimación contenida en el 5.º Informe del IAP.

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) se formó en 2018 para asesorar a BID Invest en asuntos técnicos de importancia primordial para la seguridad y la sostenibilidad del Proyecto.

En 2021, se solicitó al IAP que ampliara su función de asesoramiento para certificar que la construcción está avanzando en todos los aspectos materiales (a) para alcanzar la fecha de operación comercial antes del plazo máximo de la COD, y (b) cumpliendo con las normas de construcción internacionalmente aceptables. El IAP aceptó actuar en consecuencia, reconociendo las limitaciones impuestas por las restricciones de viaje que requieren que se realicen visitas remotas al Proyecto.

Debido a la pandemia de Covid-19, las misiones posteriores del IAP (cuarta en mayo de 2020 y quinta en febrero de 2021) tuvieron que organizarse virtualmente. Ese también ha sido el caso de la sexta misión, en julio de 2021, que es el objeto del presente informe.

Un cuarto miembro, el Sr. Mario Sartori, se unió al IAP para asesorar sobre el presupuesto, el cronograma y el progreso de la construcción. Los cuatro miembros del IAP asistieron a la misión de julio de 2021. A pesar de las dificultades, gracias a una excelente organización por parte de EPM y la facilitación por parte de BID Invest, la misión virtual le permitió al IAP apreciar los avances realizados y obtener una actualización sobre los principales problemas técnicos del Proyecto.

La misión consistió en tres videoconferencias, los días 6, 7 y 8 de julio. Los dos primeros días se dedicaron a presentaciones y debates. El último día, el IAP entregó un resumen de sus observaciones preliminares, que se desarrollan y presentan en este informe.

El IAP desea reconocer la contribución altamente profesional de todas las partes interesadas a las conversaciones y los intercambios de puntos de vista sobre los complejos temas técnicos relacionados con el Proyecto Hidroeléctrico Ituango.

1.2 Comparación con febrero de 2021

Durante su misión virtual de julio de 2021, el IAP observó los siguientes aspectos clave.

- El rendimiento de la represa sigue estando en línea con las expectativas de diseño, y la correspondencia entre el rendimiento previsto y el medido es excelente.
- El aliviadero está operando a tiempo completo, lo que supera las previsiones de diseño, y continuará así hasta que se establezca la operación de la turbina. El monitoreo de las pendientes de la piscina de inmersión comienza a mostrar signos localizados y muy menores de tensión incipiente.
- Complejo de cavernas de la sala de máquinas, zona norte: la mayoría de las áreas subterráneas han sido inspeccionadas y las medidas de reparación han progresado a un nivel que permite una evaluación confiable de las obras restantes.
- El monitoreo de las aberturas subterráneas continúa indicando un rendimiento satisfactorio.

- Los trabajos subacuáticos para la activación de las entradas de alimentación aún no han comenzado y deben acelerarse.
- Complejo de cavernas de la sala de máquinas, zona sur: se ha investigado y delineado el "macizo rocoso perturbado" que afecta a los pozos de presión 5, 6, 7 y 8; se espera que las medidas de tratamiento sean extensas. Se está revisando el diseño de las obras permanentes.
- La GAD se ha asegurado temporalmente con la instalación de compuertas que pueden soportar la presión completa del embalse. Las actividades se concentran en el TD2, adoptando una metodología bien estudiada. El flujo a través del TD2 se monitorea de cerca durante las operaciones de sellado. Existe un Plan de Preparación para Emergencias específico.
- El taller para el montaje de la tubería forzada se ha completado, todas las placas de acero están en el sitio y la producción está en curso.

1.3 Opciones para la finalización del proyecto

Son dignos de destacar los siguientes elementos:

- Las COD de las unidades 1 a 4 se mantienen sustancialmente sin cambios; las COD de las unidades 5 a 8 se cambiaron a febrero de 2025, principalmente como consecuencia de las importantes obras de rehabilitación previstas en el macizo rocoso perturbado de la zona sur.
- La operación de las unidades de turbina por debajo de la altura del embalse 390 se incluye en el Plan de Preparación para Emergencias del Proyecto.
- Los estudios batimétricos iniciales permiten definir una geometría del embalse confiable como línea de base para futuras evaluaciones de sedimentación.

La siguiente tabla muestra el avance de la evaluación del IAP de las "Opciones para la finalización del proyecto" que se presentaron desde la participación del IAP en el proyecto.

Opciones	Agosto de 2018	Marzo de 2019	Octubre de 2019	Mayo de 2020	Febrero de 2021	Julio de 2021
Rehabilitación completa	Opción preferible; confirmación final después de la evaluación de los daños en el complejo de la sala de máquinas	Opción preferible confirmada	Confirmado sustancialmente	Confirmado		
Revisar los resultados del proyecto	No previsto en esta etapa	Salida de alimentación sin modificar. Cronograma de la segunda etapa fuente de alimentación (unidades 5-8) para ser evaluadas.	Salida de alimentación sin modificar. Secuencia para poner en operación la unidad será independiente de las dos fuentes de energía originales.	Salida de alimentación sin modificar. Secuencia de puesta en marcha de las unidades: U1 (20-dic), U2 (abril de 2021). Otras unidades por definidas.	Secuencia de puesta en marcha de la unidades: unidad 1 (jul-22), U2 (oct-22), U3 (ene-23), U4 (sep-23), U5 (ago-24), U6 (oct-24), U7 (dic-24), U8 (feb-25)	Secuencia de puesta en marcha de las unidades: U1 (jul-22), U2 (oct-22), U3 (mar-23), U4 (sep-23), U5, U6, U7, U8 (dic-25)
Revisar los propósitos del proyecto	No es realista.					

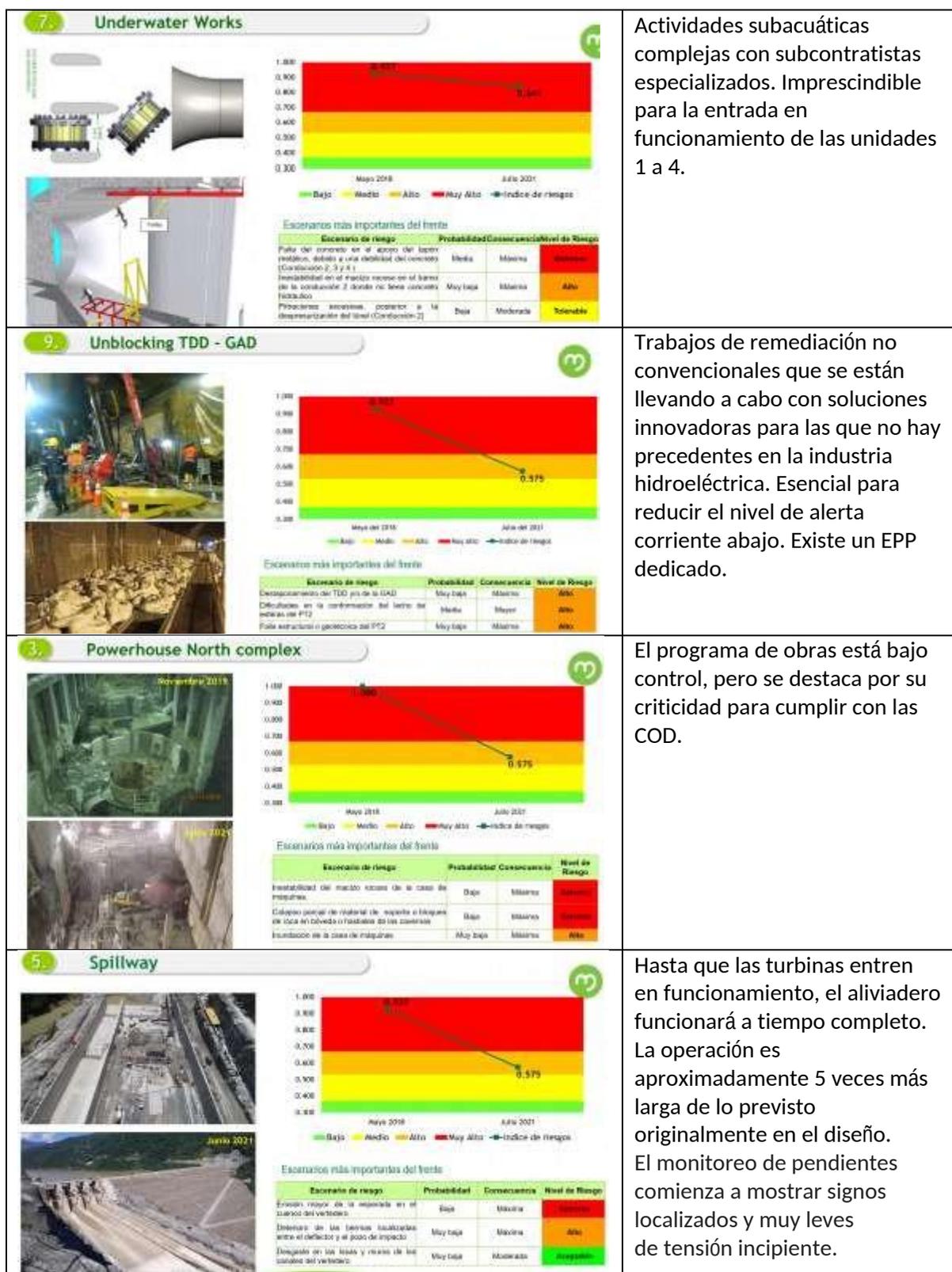
Opciones	Agosto de 2018	Marzo de 2019	Octubre de 2019	Mayo de 2020	Febrero de 2021	Julio de 2021
Reingeniería del proyecto	Adición de salida de nivel medio (MLO) esencial		Decisión futura sobre la MLO que será respaldado por un análisis de modos de fallo potenciales.	El taller de PFMA se llevó a cabo. Se desarrollará aún más para lograr una decisión informada sobre el riesgo en la MLO adicional.	Operación de las turbinas a altitudes inferiores a 390 msnm es esencial para la seguridad de la represa en condiciones de emergencia. Se debe considerar debidamente la adición de una MLO durante la vida del proyecto.	Operación de turbinas a elevaciones inferiores a 390 msnm, en condiciones de emergencia. Se debe considerar debidamente la adición de una MLO durante la vida del Proyecto.
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 rentable.	Se deben iniciar estudios batimétricos para evaluar las tendencias de sedimentación.	La gestión del embalse a largo plazo conserva su importancia.	El IAP desea revisar los resultados de los estudios batimétricos realizados hasta la fecha.	La línea de base para los estudios batimétricos periódicos puede y debe definirse.	

1.4 Perfil de riesgo del Proyecto

EPM opera un sistema integral de gestión de riesgos, que cubre todos los elementos del riesgo (seguridad, coste, tiempo, personas, reputación, medioambiente, sociedad). Es apropiado para el IAP concentrarse en aquellos elementos que son de naturaleza técnica y están directamente relacionados con la seguridad del Proyecto y de la población corriente abajo.

Teniendo esto en cuenta, el IAP señala la importancia en esta etapa del Proyecto de cuatro áreas de riesgo técnico ilustradas en la figura 1.

Riesgos técnicos	Relevancia
<p>Complejo de la sala de máquinas sur</p> 	<p>Actualmente, es el riesgo técnico más destacado para la finalización del Proyecto. <u>El riesgo aún no se ha cuantificado</u> porque el diseño detallado de las intervenciones necesarias está en curso.</p>



Actividades subacuáticas complejas con subcontratistas especializados. Imprescindible para la entrada en funcionamiento de las unidades 1 a 4.

Trabajos de remediación no convencionales que se están llevando a cabo con soluciones innovadoras para las que no hay precedentes en la industria hidroeléctrica. Esencial para reducir el nivel de alerta corriente abajo. Existe un EPP dedicado.

El programa de obras está bajo control, pero se destaca por su criticidad para cumplir con las COD.

Hasta que las turbinas entren en funcionamiento, el aliviadero funcionará a tiempo completo. La operación es aproximadamente 5 veces más larga de lo previsto originalmente en el diseño. El monitoreo de pendientes comienza a mostrar signos localizados y muy leves de tensión incipiente.

Figura 1: Riesgos técnicos destacados

Los riesgos del proyecto durante la operación se analizan en el capítulo 2.

1.5 Sellado permanente del TD2 y la GAD

La GAD y el TD2 se han visto afectados por los colapsos de abril de 2018 que causaron la pérdida de control en los niveles del embalse. Actualmente, la galería auxiliar de desvío (GAD) está cerrada, y se están realizando trabajos para tapar el túnel de desvío derecho (TD2). Proporcionar un sellado permanente al TD2 y la GAD es esencial para devolver la seguridad corriente abajo al tiempo previo a la contingencia. A continuación, se presenta la evaluación técnica.

GAD

Se han instalado compuertas corredizas con dos volantes en la GAD, según el diseño original; se ha colocado un tapón de hormigón en la parte superior de la estructura de la compuerta para evitar cualquier movimiento de las compuertas. Con dicha instalación, el túnel está técnicamente tapado y se ha restablecido el control hidráulico completo en la GAD.

Se han construido dos sistemas de derivación para controlar los niveles piezométricos: uno alrededor de las compuertas, actualmente en funcionamiento, y el otro, casi terminado, para ser utilizado en el momento de taponar la GAD, para drenar hacia la galería de descarga intermedia (situada por encima de la GAD).

La instalación de la compuerta permitió reducir el nivel de alerta de rojo a naranja, con un alivio significativo para la población corriente abajo.

El siguiente paso es realizar un tapón de hormigón permanente, de 22 m de largo, corriente abajo de las compuertas, según lo previsto en el diseño original. Dado que la GAD está cerrada actualmente, el tapón no está en la ruta crítica y hay razones técnicas sólidas para no apresurarse a instalar el tapón permanente. Tanto la presión de descarga como la del agua se controlan continuamente a lo largo de la GAD; los resultados muestran valores estables para ambos parámetros.

TD2

El TD2 está obstruido en gran medida por los escombros. El hueco resultante permite una descarga que se ha estabilizado a unos 8 m³/s y se monitoriza constantemente. También se monitoriza la presión del agua.

El monitoreo continuo es esencial porque el gradiente hidráulico a través de la obstrucción, estimado en 0,55, es lo suficientemente elevado como para iniciar potencialmente la erosión interna. Al mismo tiempo, la turbidez del río contribuye a un sellado progresivo de los escombros, fenómeno que puede asociarse a la tendencia decreciente de las presiones del agua. En resumen, si bien el TD2 aún no puede considerarse técnicamente obstruido, todas las pruebas permiten asignar una baja probabilidad al posible colapso de la obstrucción natural.

El sellado del TD2 tendrá que realizarse con un flujo de agua presente y, por lo tanto, requiere un procedimiento complejo y cuidadosamente planificado. Debido a su naturaleza sin precedentes en proyectos hidroeléctricos, el sellado del TD2 se ha estudiado a fondo, y se está implementando una solución factible que involucra dos pretapones y tapones finales (Figura 2).



Figura 2: Solución para sellar el TD2

El cronograma de implementación de la solución planificada se analiza en el capítulo 5.

Hasta la fecha, se han instalado los 63 micropilotes, 58 de los cuales están totalmente enlechados (figura 3). Los 9 pilotes adicionales tuvieron que instalarse para minimizar los huecos asociados con las desviaciones de los pilotes con respecto a la vertical.

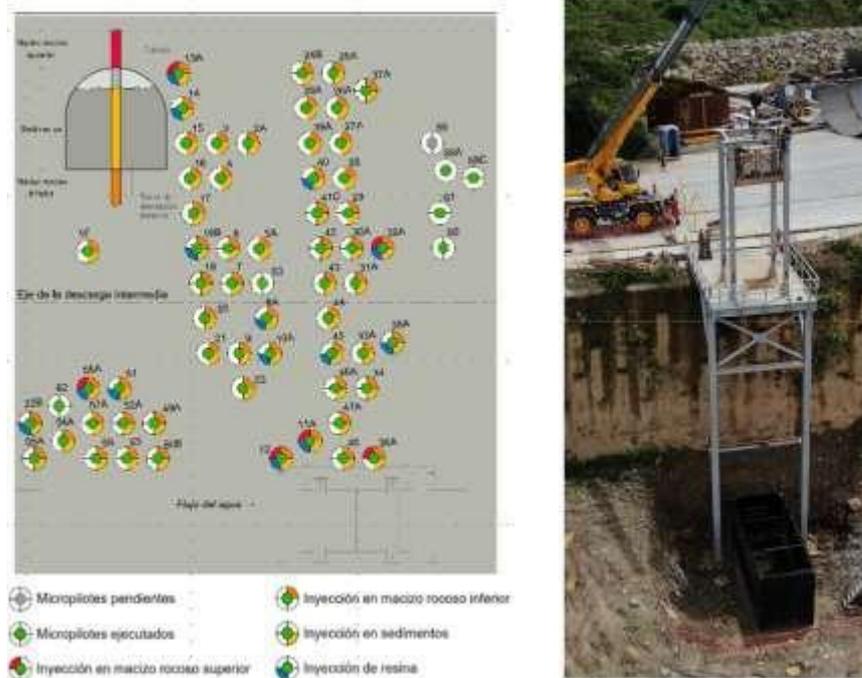


Figura 3: Micropilotes y estructura para probar el lanzamiento de las esferas plásticas

Se ha construido una estructura de acero dedicada (figura 3) para probar el lanzamiento de las esferas plásticas que flotarán para ser atrapadas por la red de pilotes de acero para obstruir la parte superior del TD2,

reduciendo progresivamente los espacios entre la red de micropilotes. Se espera que esto fuerce el flujo residual a través del sistema de derivación y facilite la obstrucción progresiva del canal de agua por medio de grava y arena primero, y de lechada especial después. En ese punto, se realizará el enlechado con mezclas especiales a base de resina para sellar totalmente la barrera temporal. Se espera que esto reduzca aún más el flujo a los valores nominales que permitirán la construcción del tapón permanente en condiciones seguras.

Se cuenta con un Plan de Preparación para Emergencias (EPP) (Figura 4), que se basa en el sistema de monitoreo existente, para informar tres niveles de alerta para la protección de las áreas corriente abajo.



Figura 4: Plan de Preparación para Emergencias contra el destaponamiento del TD2 (extracto)

El EPP es satisfactorio porque:

- se han identificado modos de falla,
- existe un sistema de monitoreo integral,
- se define la cadena de mando y respuesta,
- se establece un protocolo de alerta descendente, y
- se están implementando medidas preventivas de mitigación.

1.6 Nivel de peligro corriente abajo

Actualmente, el nivel de alerta corriente abajo del Proyecto (figura 5) se mantiene en naranja (2), porque el sellado permanente del TD2 está en curso. Bajará a amarillo (1) cuando se complete esa actividad.

Nivel de advertencia	Situación	Caudal que genera advertencia (m³/s)		
		TDD (Medición indirecta a través de velocidad y presión)	GAD (Medición de caudal en descarga)	Qrio – Qvert. (Diferencia de caudales)
0	Condición normal	<10 Caudal nominal actual	<10 Caudal nominal actual	<30 Delta nominal
1	Aumento sensible en el caudal	20 Se duplica la velocidad en el TDD	14 Corresponde a la alerta naranja interna	200 Valor sensible según la medida histórica
2	Generación de alerta interna y notificación a poblaciones aguas abajo	50 Caudal asociado con el gradiente crítico en el TDD	18 Caudal asociado con el gradiente crítico en el TDD	300
3	Activación de desalojo eminente Cuando se triplique el caudal de la alerta interna	150	60	800
4	Activación de desalojo inmediato Cuando se duplique el caudal de desalojo eminente	300	120	1500

Figura 5: Niveles de alerta corriente abajo

1.7 Evaluación de seguridad

Desde mayo de 2020 hasta la fecha, la evaluación de seguridad tuvo que basarse en observaciones indirectas realizadas a distancia. Sobre la base de la evolución de las autorizaciones de viaje relacionadas con la pandemia, el IAP espera que la próxima misión pueda llevarse a cabo en presencia. Eso proporcionaría oportunidades prácticas para llevar a cabo una evaluación de seguridad informada.

Los principales aspectos relacionados con la seguridad del proyecto se pueden resumir de la siguiente manera.

- El nivel de instrumentación y monitoreo del proyecto es de última generación: todas las lecturas son automáticas, están centralizadas en la sala de control y son accesibles de forma remota.
- El rendimiento de la represa está en línea con las expectativas de diseño y la correspondencia entre el rendimiento previsto y el medido es excelente.
- Se definieron las actividades relacionadas con el sellado permanente del TD2 y la GAD, y su implementación está en curso.
- El aliviadero está operando a tiempo completo, lo que supera las previsiones de diseño, y continuará así hasta que sea posible la operación de la turbina. El monitoreo de las pendientes de la piscina de inmersión muestra algunos signos localizados y muy leves de tensión.
- La mayoría de las áreas subterráneas, que se vieron afectadas por el caudal incontrolado del río, han sido inspeccionadas y se han definido los trabajos de reparación necesarios.
- Ya no se espera encontrar grandes áreas colapsadas en la parte norte de la caverna de la sala de máquinas, donde se han asegurado la mayoría de las obras permanentes.
- La parte sur de la caverna y los canales de agua relacionados se ven afectados por una zona extendida de macizo rocoso perturbado, que ha sido investigada y delineada. Las medidas de tratamiento y diseño final de las obras permanentes se encuentran en fase de definición.

Evaluación general de seguridad:

- A pesar de los eventos sin precedentes que impactaron el Proyecto, los trabajos implementados permiten expresar una evaluación satisfactoria de la seguridad de las obras tanto de superficie como subterráneas.
- El sellado del TD2, y de la GAD, presenta un riesgo moderado hasta la finalización de las obras. Se cuenta con un sistema de monitoreo dedicado para alertar a los trabajadores y las comunidades corriente abajo en caso de situaciones de emergencia durante la ejecución de los trabajos de sellado.
- Las obras subacuáticas, necesarias para activar las entradas de alimentación, presentan desafíos de seguridad por su propia naturaleza.

2 RIESGO RESIDUAL DURANTE LA OPERACIÓN

2.1 Control del embalse durante la operación del proyecto

Como resultado de un diálogo constructivo sobre el asunto, EPM está desarrollando un enfoque consciente sobre la posibilidad de operar las unidades para controlar el nivel del embalse en situaciones de emergencia.

En condiciones de emergencia, la descarga a través de las unidades es el único curso de acción para reducir el embalse por debajo de la elevación 405 msnm (umbral del aliviadero). La Figura 6 muestra los tiempos de reducción del nivel del embalse para diferentes caudales fluviales. Los cálculos asumen que las 8 unidades están en función.

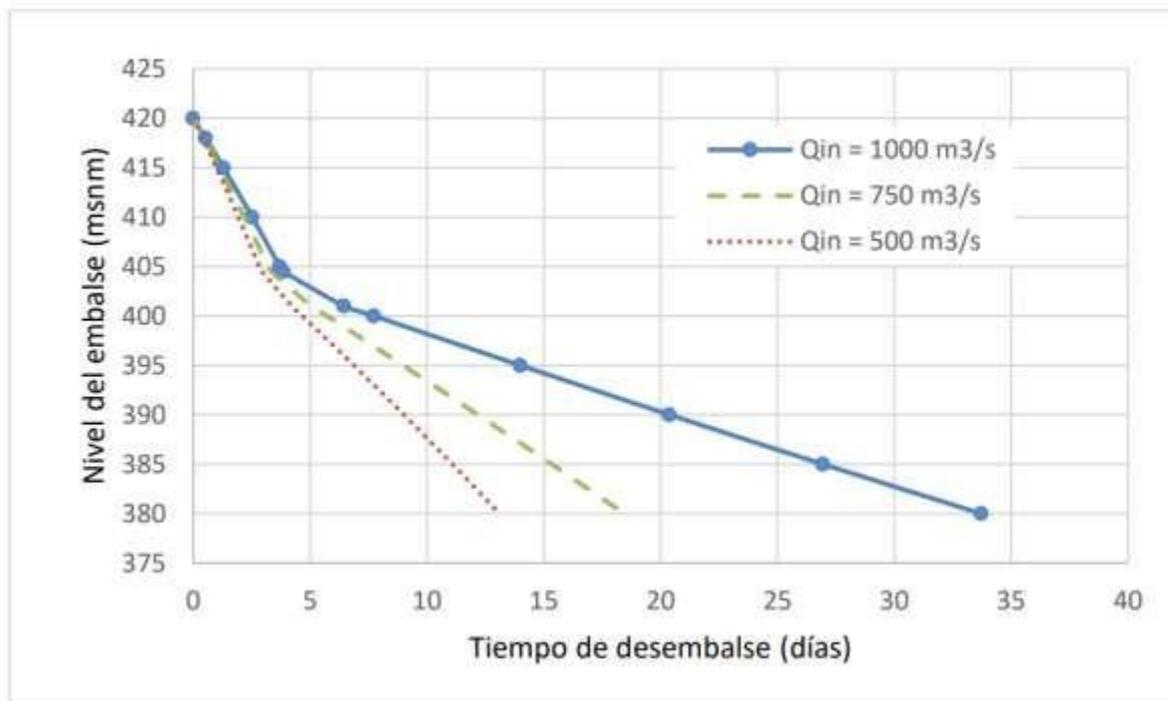


Figura 6: Tiempos de reducción del nivel del embalse (Integral)

Cabe señalar que el plan actual prevé la entrada en funcionamiento de 4 unidades para septiembre de 2023, y todas las 8 unidades para febrero de 2025. Por lo tanto, los datos que se muestran en la figura 6 serán válidos a largo plazo. Hasta el año 2025, los tiempos de reducción serán aproximadamente el doble

de los mostrados, y el control efectivo del embalse difícilmente será posible para caudales fluviales que superen, por ejemplo, los 500 m³/s.

Integral informó que la posibilidad de bajar el embalse por debajo de 390 msnm se contemplará en el Plan de Preparación para Emergencias (EPP) porque no existen dudas sobre las compensaciones entre causar daños temporales al equipo y la falla de la represa. Integral también informó que la planta almacenará cuatro correderas de repuesto que se pueden montar desde abajo, haciendo que las reparaciones de posibles daños sean fáciles de realizar. Esta es una medida de gestión muy apropiada para mitigar los riesgos de interrupción.

El PPE de Ituango debe incorporar dos elementos:

- un sistema de respuesta de descarga a corto plazo (4 unidades en funcionamiento), y
- el alcance de los daños potenciales en caso de una operación prolongada de las unidades por debajo de la MLO (390).

Esto último es importante porque la reducción anormal del nivel del embalse puede estar dictada por la necesidad de verificar el daño a las obras, por ejemplo, después de un fuerte terremoto. En caso de que no se hayan producido daños (que obviamente es el resultado preferido), pueden alegarse costes de reparación innecesarios para las unidades. Por lo tanto, es importante que los daños esperados se contemplen en el EPP, para demostrar que la decisión de declarar una reducción anormal se basó en el debido proceso.

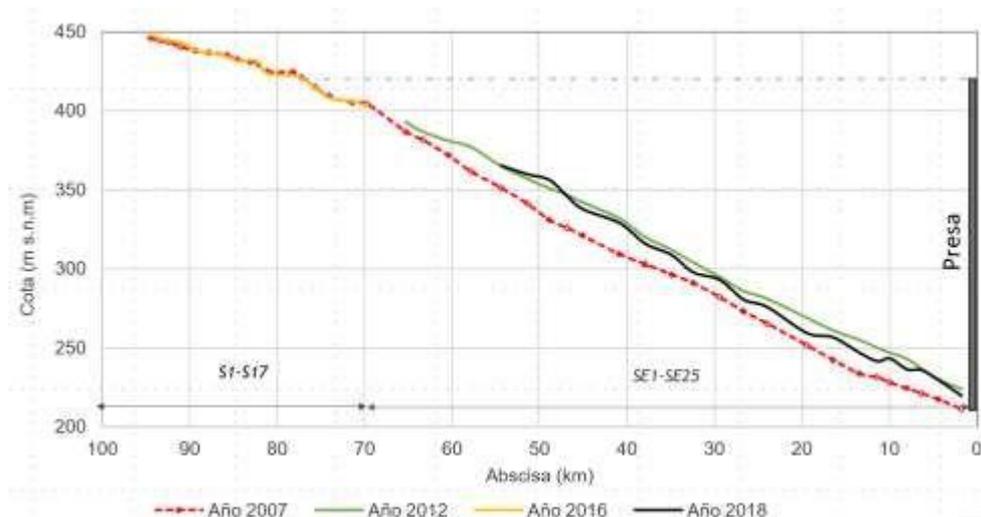
Hasta el momento, el proveedor del equipo no ha proporcionado dicha información ni ha solicitado una tarifa irrazonable para realizar los estudios necesarios. En tales condiciones, el IAP recomienda el siguiente curso de acción:

- revisar el informe del modelo físico existente para verificar los niveles de fenómenos de cavitación incipientes.
- Si es necesario, se realizará un estudio dedicado mediante dinámica de fluidos computacional.
- Si la incertidumbre sigue siendo excesiva, se podría encargar un nuevo modelo físico a un laboratorio independiente.

Como se analizó en varias ocasiones, con base en los principios de gestión de riesgos, se debe considerar la posibilidad de proporcionar capacidad de descarga adicional durante la vida del Proyecto.

2.2 Sedimentación del embalse

La Figura 7 muestra el perfil del Río Cauca aguas arriba de la represa, junto con los depósitos de sedimentos medidos hasta la fecha.



Año	Situación	Metodología
2007	Antes del llenado del embalse	Cartografía 2007, estudio LiDAR 2012, estudio topográfico 2016
2012	Embalse reservado	Estudio batimétrico, agosto de 2018

Figura 7: Perfil longitudinal del Río Cauca

El IAP observa lo siguiente.

- La aparente incongruencia entre el estudio LiDAR (año 2012) y la topografía (2016), ambos ejecutados antes del llenado del embalse, se explica por el hecho de que el estudio LiDAR no penetra completamente en las zonas húmedas.
- La misma explicación se aplica a que el perfil del estudio LiDAR esté por encima del estudio batimétrico de 2018.
- Además, esas diferencias se aplican solo a la elevación cercana al lecho del río y, como tal, cualquier discrepancia tendría una contribución insignificante al volumen del embalse (consulte la Figura 8).

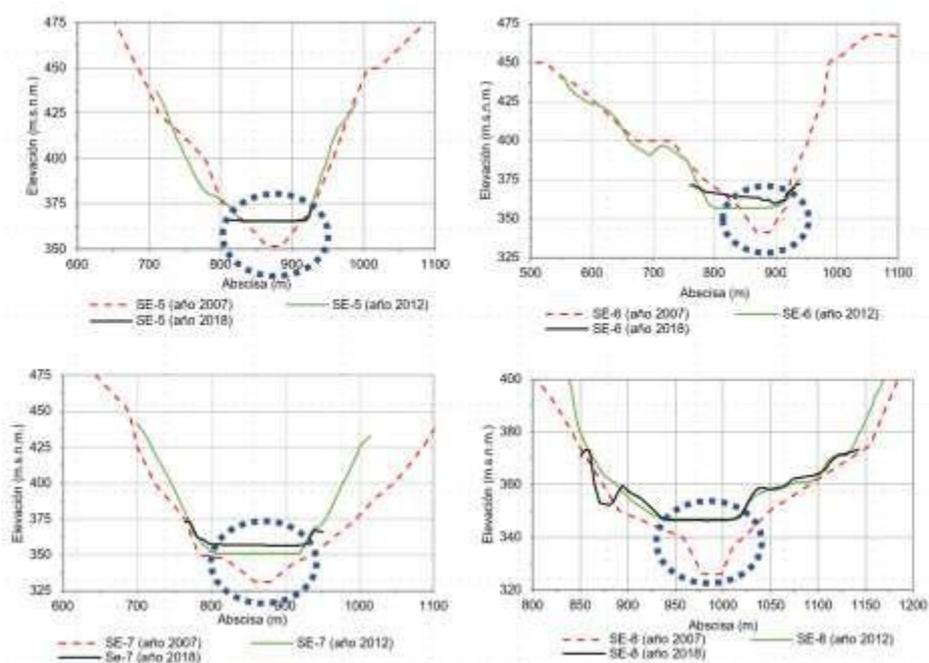


Figura 8: Volumen insignificante del embalse en las partes inferiores del valle del río

En esta etapa inicial del Proyecto, la decisión clave a tomar es sobre la geometría de referencia del embalse, para asociarla a futuros estudios batimétricos. Con base en lo anterior, el IAP considera que la cartografía del año 2007, validada por los estudios topográficos de 2016, representa una línea de base adecuada.

3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

En general, el IAP no observa modificaciones significativas, comportamiento particular o evoluciones inseguras en los trabajos en curso. Esto aún no se puede afirmar para la parte sur del complejo de la sala de máquinas, para la cual el diseño final de los pozos de presión aún está en definición. A continuación, se presentan comentarios sobre los principales aspectos geotécnicos de las diferentes partes del Proyecto.

3.1 Complejo de cavernas: sala de máquinas y pozo de carga

El fortalecimiento del macizo rocoso avanza satisfactoriamente. El llenado masivo de la cavidad con hormigón (Figura 9) está en estado avanzado de implementación en los pozos de carga. El relleno es la medida adecuada para restablecer la continuidad de las obras hidráulicas.

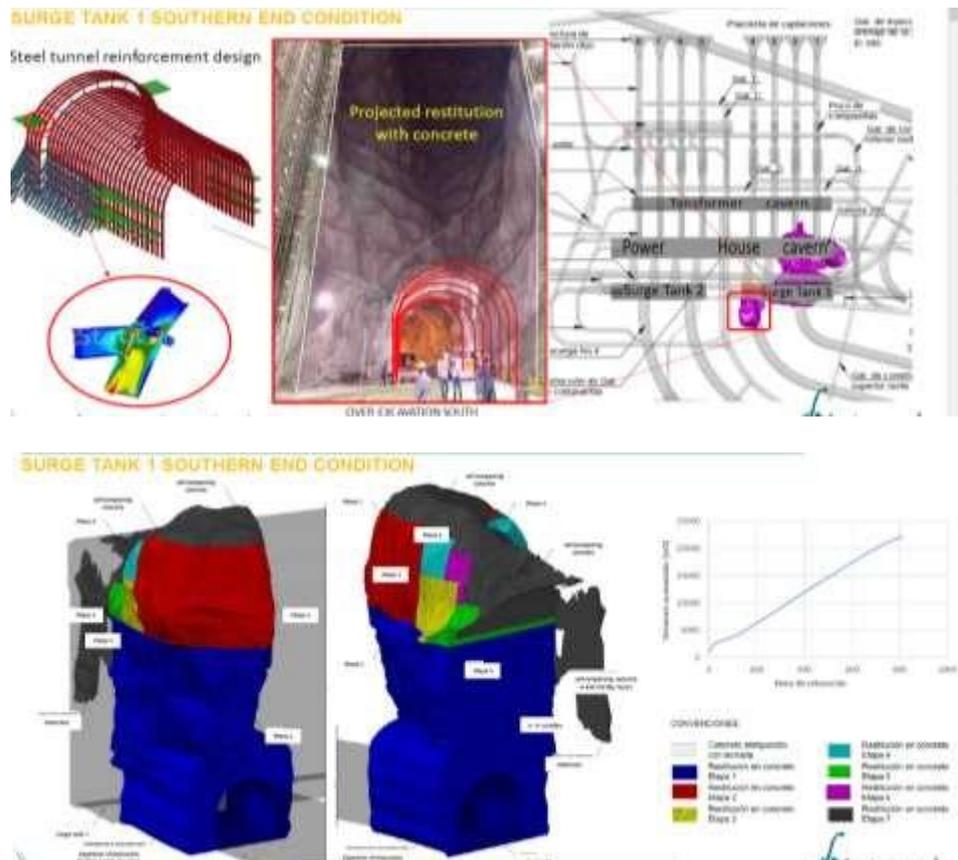


Figura 9: Relleno masivo de cavidades en el tanque de carga 1

Algunos extensómetros no muestran el logro del equilibrio completo (consulte la Figura 10). Una revisión detallada de las tendencias futuras podría sugerir la necesidad de un refuerzo adicional del macizo rocoso.

La interpretación de la medición utiliza tres referencias "Umbrales: 0, 1 y 2"; el IAP no conoce dichos umbrales y quisiera saber sobre ellos.

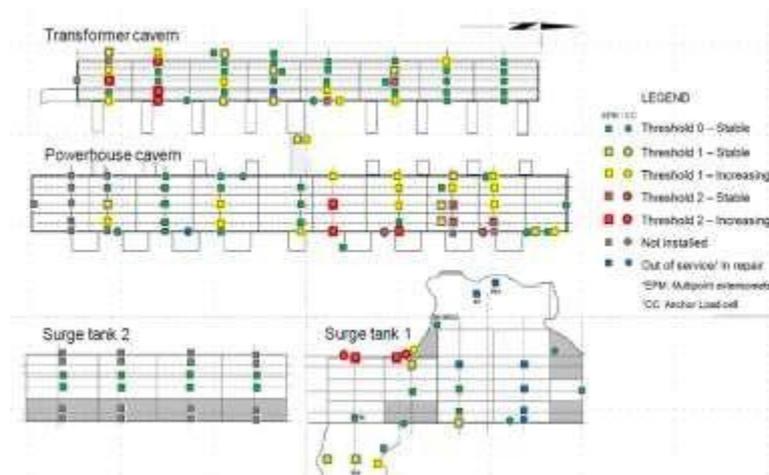


Figura 10: Lecturas del extensómetro

Los piezómetros nunca han medido la presión del agua subterránea, lo que es una buena indicación de la integridad del macizo rocoso. El IAP reitera la recomendación de proporcionar orificios de alivio para aliviar las presiones en caso de que se desarrollen durante la vida del Proyecto.

La ejecución de las obras subterráneas ha sido estudiada mediante un modelo matemático actualizado. Las dimensiones, los límites de las excavaciones modeladas, el enmallado y el escalonamiento parecen adecuados y razonables. El hecho de que las observaciones de seguimiento coincidan con los resultados básicos del modelado numérico genera confianza sobre la credibilidad de los análisis. Se entiende que los análisis se han realizado con materiales elásticos perfectamente plásticos. Dada la importancia de la estructura, especialmente bajo una carga sísmica, sería recomendable comprobar la sensibilidad de los resultados a un comportamiento de reblandecimiento del terreno. En caso de que algunos de los materiales exhiban un comportamiento de reblandecimiento después de la plastificación, la extensión de las zonas plásticas puede ser más amplia, aunque el IAP opina que no es probable que suceda esto. Además, sería interesante comentar sobre la respuesta estructural de los revestimientos bajo las presiones calculadas y localizadas.

3.2 Pozos de la zona sur

Se han realizado extensos trabajos de perforación y enlechado en el macizo rocoso perturbado que afecta los pozos de presión de las unidades 5 a 8. El diseño final de los canales de agua está en definición con todas las opciones abiertas, incluida la reconstrucción parcial de los pozos en la zona Sur.

Los costes asociados se evaluarán después de esto y se incluirán en el presupuesto hasta su finalización. Teniendo en cuenta la situación actual, el IAP ofrece algunas reflexiones y recomendaciones que el Diseñador puede considerar al definir la solución adecuada.

Los hallazgos de las investigaciones realizadas hasta la fecha están en línea con el modelo geomecánico postulado en el 5.º informe del IAP (consulte la Figura 11). Los vacíos parecen ser significativos, aunque algunos

pueden explicarse por una baja recuperación total del núcleo, la cual no está necesariamente asociada con los vacíos. Además, una parte importante del área circundante es solo un macizo rocoso rocoso articulado. Esto es claro si se comparan los consumos de lechada registrados con los previstos. Será necesario tener un buen número de orificios de control inclinados para confirmar que los trabajos de refuerzo y relleno sean aceptables.

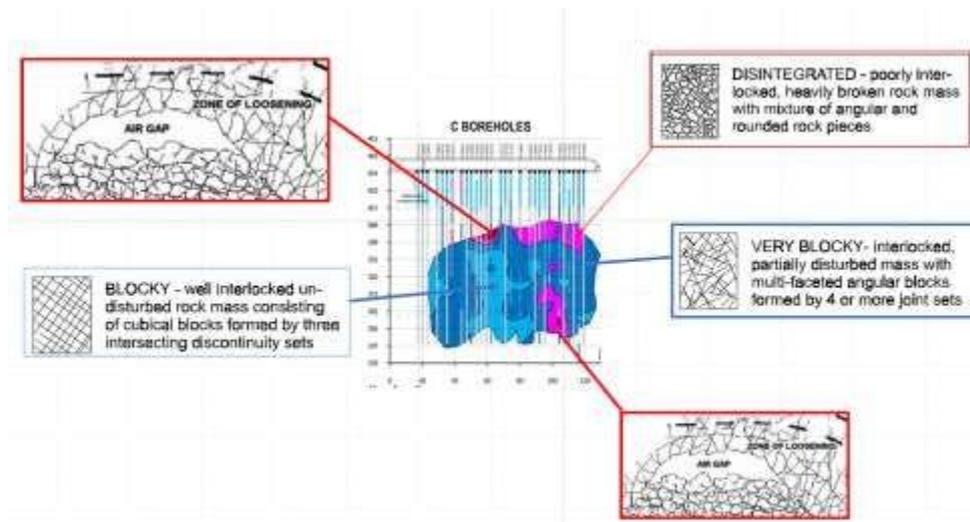


Figura 11: *Modelo conceptual del macizo rocoso perturbado*

Se debe esperar que, a medida que los trabajos de excavación revelen las condiciones reales del macizo rocoso, algunas áreas que muestran inestabilidad o daños excesivos requerirán un refuerzo especial o relleno de hormigón. Las características de dichas áreas tendrán que ser consideradas en el diseño del revestimiento permanente de los pozos.

El diseño del revestimiento dependerá de la rigidez de los pozos, relativa a la del macizo rocoso. Si el módulo de deformación del macizo rocoso no es insignificante en comparación con el del hormigón, se puede transferir una buena cantidad de presión interna al macizo rocoso. El IAP cree que el módulo del macizo rocoso gnésico menos perturbado o incluso bastante articulado es del orden de 10 GPa, lo que permite que parte de la presión interna se transfiera a la roca. Esto supone que las zonas con grandes huecos estén adecuadamente tratadas/rellenadas.

Un diseño cuidadoso, basado en un conocimiento detallado de las zonas más débiles y en un tratamiento adecuado de las mismas, debe evitar posibles modos de falla asociados a tensiones de tracción en el revestimiento que conduzcan a grietas locales. La geología regional y local parece indicar la ausencia de tensiones mínimas bajas in situ, a menos que las mediciones de tensión in situ, que el IAP nunca ha visto, hayan revelado lo contrario.

La hidrofracturación no se considera un modo de falla potencial porque las presiones internas pueden ser más altas que las presiones externas hidrostáticas solo durante el rechazo rápido de la carga (tipo golpe de ariete). En tales casos, se movilizarían los módulos dinámicos de revestimiento y macizo rocoso, que son más elevados que los estáticos. Las tensiones resultantes serían más pequeñas y de corta duración.

3.3 Represa

La instrumentación y el monitoreo continúan indicando un rendimiento satisfactorio de la represa. Los parámetros están en línea con las expectativas de diseño, los diagramas de tiempo no muestran tendencias anormales, los parámetros principales (en particular, los asentamientos y las tasas de filtración) son satisfactorios para el tipo y el tamaño de la represa de Ituango.

A continuación, se presentan los principales parámetros de rendimiento evidenciados por el sistema de instrumentación y monitoreo.

Los asentamientos medidos son muy bajos para una represa de este tipo y altura, también en la parte superior que se levantó en caso de emergencia. Las curvas de las mediciones tienden a estar cercanas entre sí, lo que indica una tendencia hacia el equilibrio. Solo algunas mediciones limitadas, con celdas de alambre vibrante, muestran una pequeña tendencia al aumento y se mantienen bajo estrecha vigilancia. El IAP cree que este es un evento local aleatorio.

Los extensómetros magnéticos indican asentamientos verticales estables de la pared en D (Figura 12). Estos instrumentos han estado mostrando valores por debajo del rango de precisión de los dispositivos (2,5 a 10 mm) desde la finalización de la construcción de la represa.

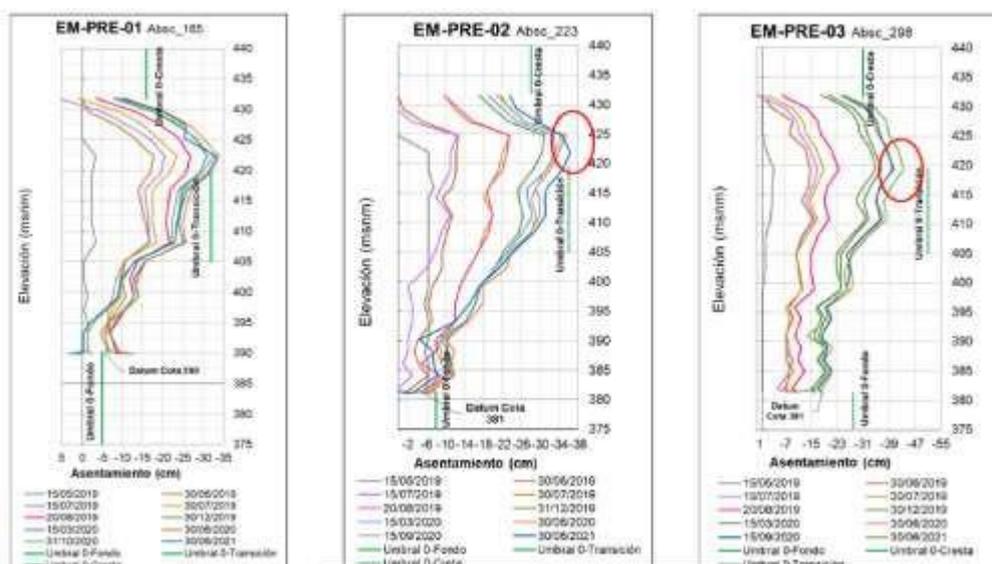


Figura 12: Extensómetros magnéticos, asentamiento vertical en la pared en D

Las celdas de vibraciones de asentamiento y las celdas de presión total confirman el buen rendimiento de la represa.

Existe una buena correspondencia entre las deformaciones calculadas y las medidas. Los desplazamientos en y alrededor de la represa también se miden con I Radar SAR-X. Dos puntos en el lado izquierdo indican pequeños desplazamientos que no son confirmados por las mediciones geodésicas de superficie en ese lado. La observación satelital indica tasas insignificantes de desplazamientos.

Los piezómetros de cimentación indican un buen rendimiento de la cortina de lechada, con bajas elevaciones de la línea piezométrica. Se han observado variaciones en las lecturas de algunos piezómetros en el encadenamiento 400 debido a la inyección de lechada realizada desde la galería 250 MI y hacia la cortina profunda. En la sección de encadenamiento 330 se puede observar una dirección inversa de flujo en asociación con los piezómetros dobles. Se debe hacer una verificación, aunque esto no es motivo de preocupación. Probablemente hay diferentes niveles piezométricos, pero siempre de niveles muy bajos.

Los piezómetros de la represa responden satisfactoriamente a las variaciones de los niveles del embalse. No se observan cambios anormales que puedan significar un bajo rendimiento de la zona de transición corriente abajo del núcleo o del núcleo entero.

En el informe anterior, el IAP había recomendado proceder al análisis de estabilidad del cuerpo de la represa en diferentes condiciones y, en particular, de la carcasa corriente abajo. Esto se presentó y se comparó con los supuestos de diseño. El IAP coincide con los resultados de estabilidad.

La filtración total es del orden de 100 l/seg, lo que se considera normal para este tamaño y tipo de represa y este tipo de masa rocosa enlechada (gnéisica).

Los valores de filtración del embalse son bajos y aceptables. No hay turbidez. En el lado derecho, parte de las filtraciones provienen de los túneles adyacentes. La lechada adicional en el estribo izquierdo no contribuyó mucho a reducir la filtración, pero el nivel de filtración es bajo de todos modos.

El rendimiento del relleno prioritario y de la pared del diafragma es satisfactorio. Las infiltraciones en el lado corriente abajo son muy bajas: actualmente 2,9 l/seg con el embalse en 406,89.

En conclusión, la represa se comporta satisfactoriamente, en términos de asentamientos, desplazamientos, estabilidad, cortina de lechada, filtración y flujo de agua subterránea.

3.4 Aliviadero y piscina de inmersión

Las presiones de los poros, los inclinómetros y el estudio topográfico indican un rendimiento satisfactorio de las pendientes de corte. Algunos prismas de estudio deben observarse más de cerca, dada una ligera tendencia al aumento de los valores. Al IAP le gustaría conocer la definición de los valores de umbral utilizados para interpretar las lecturas de la instrumentación.

Los análisis de estabilidad de pendientes se han realizado con un código de elementos finitos utilizando un factor de reducción de resistencia (SRF). El enmallado parece adecuado; sin embargo, las dimensiones completas del modelo no son obvias. Si lo que se muestra en la Figura 13 representa el modelo de FEM total, es posible que los límites puedan estar afectando los resultados.

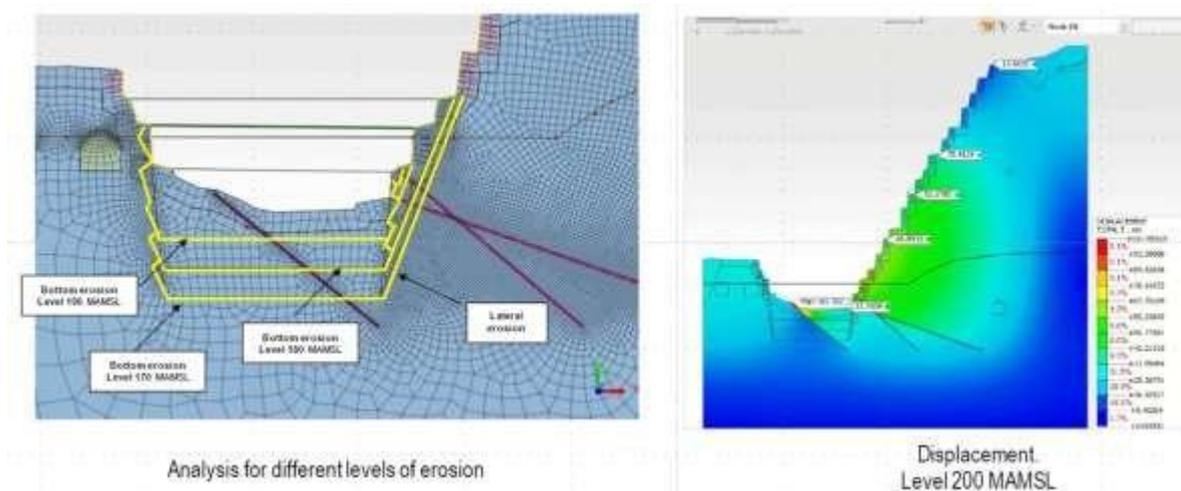


Figura 13: Análisis de estabilidad de pendientes, perfil A-A

No parece haber altas presiones de los poros, que podrían denotar una condición más desfavorable. El IAP asume que las condiciones sísmicas también se verificaron y desea ser informado sobre ellas en la próxima visita.

Aunque el perfil B-B sugiere un caso más favorable en comparación con el perfil A-A, con respecto a la altura de la pendiente, y esto se observa en los desplazamientos resultantes, los valores de SRF para ambos perfiles son idénticos. Los valores de SRF adoptados parecen ser bastante altos, especialmente para el perfil A-A.

El asunto merece aclaración.

También sería útil mostrar los contornos de deformación máxima por cizallamiento en el SRF crítico, que son indicativos de la superficie de falla crítica.

Para la "Condición extrema - Nivel 170 msnm" del perfil B-B, los resultados presentados son idénticos a los del perfil A-A y no coinciden con el resto de resultados del perfil B-B. Es probable que sea un error tipográfico.

Algunos signos menores de erosión incipiente se destacan en dos áreas, según los orificios perforados de monitoreo del TD1. Su extensión es muy pequeña, y el monitoreo revelará si hay novedades en el futuro.

3.5 Estabilidad de las pendientes por encima de la plataforma del pozo de la compuerta

Los trabajos de estabilización están casi terminados y se ha asegurado la estabilidad.

El monitoreo incluye monumentos topográficos, células de carga, inclinómetros y piezómetros.

Todos los valores están dentro de los umbrales de diseño.

El IAP confirma su acuerdo con las medidas de fortalecimiento de la zona sobre y alrededor del sumidero de *El Romerito*. Los datos muestran una inyección de lechada efectiva.

3.6 La pendiente más corriente arriba al sur de El Romerito

El IAP está de acuerdo con las medidas propuestas, diseñadas para evitar la extensión cuesta arriba de los fenómenos de inestabilidad y una mayor erosión por escorrentía superficial (Figura 14).

El IAP reitera la necesidad de monitorear de cerca la pendiente con monitoreo en tierra, además de técnicas remotas.

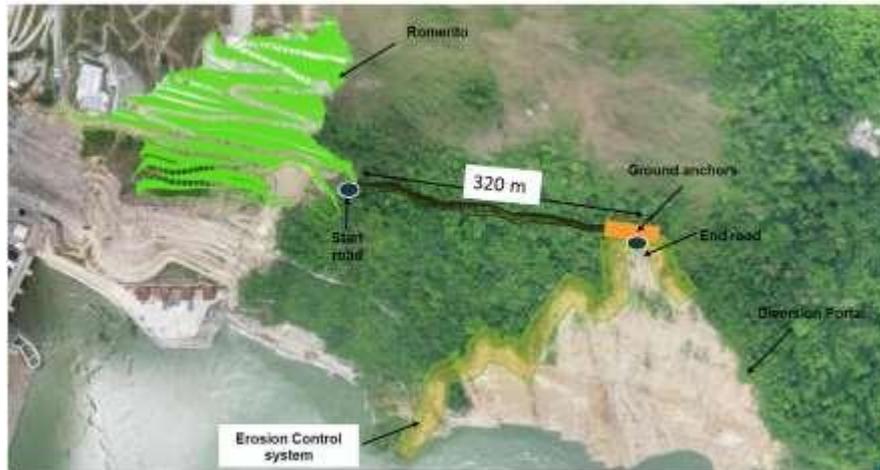


Figura 14: Medidas de protección de la pendiente por encima de los túneles de desvío

3.7 Inestabilidad de la zona de 0+900 corriente arriba de la represa

El área de inestabilidad está claramente definida y, aunque no es de gran tamaño, afecta la ruta principal hacia Ituango y está lo suficientemente cerca de la represa como para generar olas de impacto en caso de que se produzca un colapso rápido. Por lo tanto, el área se mantiene bajo estrecha vigilancia.

Los análisis de estabilidad son satisfactorios. El IAP está de acuerdo con la geometría de la zona inestable y los principios de estabilización de pendientes adoptados, y recomienda la construcción de un drenaje de captura de agua para evitar que la escorrentía superficial ingrese a las pendientes afectadas.

El IAP cree que, debido a la formación local de baja permeabilidad, los niveles de agua subterránea no deben estar demasiado lejos de la superficie del suelo. La monitorización piezométrica debe interpretarse más a fondo. Se recomienda el diseño de un sistema de monitoreo permanente.

4. EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS

4.1 Equipos instalados en el complejo de cavernas

Durante la misión virtual de julio de 2021, el IAP pudo observar, mediante cámaras remotas, las condiciones y las actividades en curso en las siguientes áreas:

- La galería de transformadores se visitó por última vez en septiembre de 2019, junto con las galerías de cables.
- La caverna de la sala de máquinas norte y la parte noreste de la caverna sur (la parte norte fue inspeccionada físicamente en septiembre de 2019, mientras que la parte sur estaba en ese momento llena de escombros).
- Se visitaron los pozos de carga norte y sur en septiembre de 2019.

Una evaluación completa de los daños a la mayoría de los equipos electromecánicos estaba disponible en septiembre de 2019 y se confirmó durante la misión virtual de mayo de 2020. Todos los equipos ya instalados en la zona norte de la sala de máquinas, incluyendo las partes mecánicas incrustadas en hormigón, se consideraron inadecuados para su futura operación. Esa evaluación también se aplicó a los transformadores monofásicos elevadores y a los cables de alta tensión,

los únicos componentes para los que no se descartó en principio una posible recuperación. Sin embargo, un estudio conjunto de EPM y las aseguradoras decidió un reemplazo completo, principalmente a costa de las aseguradoras. Hay que añadir que el fabricante de transformadores (SIEMENS) no habría extendido una garantía para ningún equipo que no se hubiera reemplazado completamente.

Actualmente, 6 transformadores se encuentran en sus posiciones finales; 4 de ellos estaban en funcionamiento en febrero de 2021.



Figura 15: Transformadores monofásicos 5 y 6

Continúa la consolidación de la obra civil en la parte sur de la galería de transformadores y en la galería de cables por encima de ella.



Figura 16: Transformador monofásico 9 y vista desde el lado norte



Figura 17: Obras civiles en curso en la galería de cables antes de la instalación de bandejas portacables

La primera grúa aérea de 300 toneladas se instaló en marzo de 2021; la segunda ya está en el sitio y no se necesita a corto plazo. La instalación de los rieles se completó en el camino de la grúa corriente arriba y está en curso corriente abajo. La Tabla 18 resume el progreso de la instalación.

Instalación de rieles de grúa aérea de 300 ton entre las unidades 1 y 6	
Elemento	% de avance
Placas banda instaladas	100 %
Rieles instalados	77 %

Tabla 18: Avance de la instalación de los rieles de la grúa

Actualmente, EPM utiliza principalmente grúas móviles y una grúa aérea temporal de 25 ton.

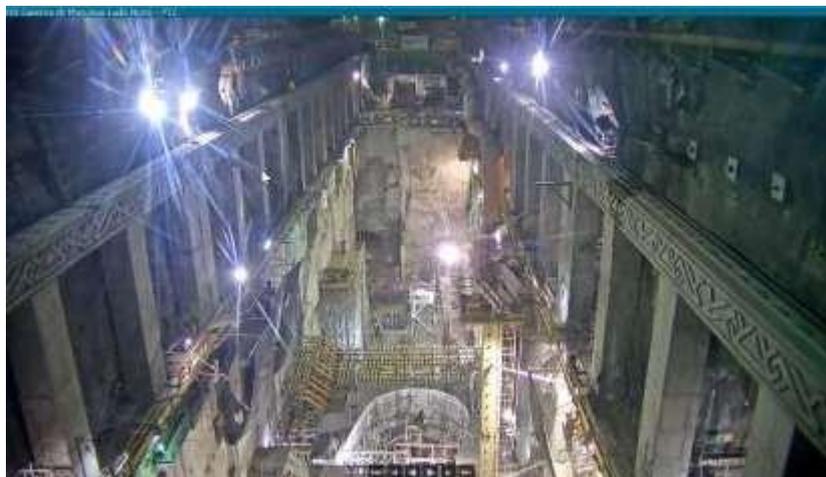


Figura 19: La primera grúa aérea móvil con bandera de EPM justo encima del muelle de carga



Figura 20: Trabajos en grúas aéreas móviles, soportes de rieles y rieles



Figura 21: Rieles de desplazamiento de la grúa aérea completados

La rehabilitación de las unidades 1 y 2 se inició con hormigón de primera fase. La remoción completa del hormigón de las unidades 3 y 4 está en curso.

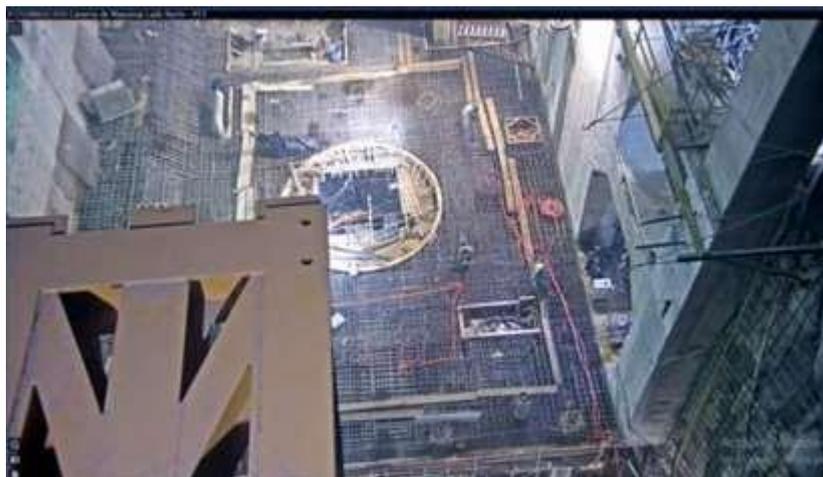


Figura 22: Actividades de construcción e instalación de la unidad 1



Figura 23: Actividades de construcción e instalación de la unidad 2



Figura 24: Demolición de hormigón en las unidades 3 y 4

EPM decidió reemplazar la sala de control norte original de hormigón armado por una estructura de acero, más rápida de construir; la cimentación se puede ver en la imagen 25.



Figura 25: Obras civiles en la cimentación de la sala de control norte

Están en curso las obras civiles necesarias para la instalación de las guías de las compuertas del tubo de aspiración.



Figura 26: Trabajos en curso en las compuertas del tubo de aspiración en el pozo de carga norte

4.2 Avance del montaje y la instalación

El informe n.º 4 del IAP detalla todos los pedidos realizados a mayo de 2020 para restablecer el suministro electromecánico de Ituango, y el informe n.º enumera los contratos firmados restantes. Se informa que todos los demás paquetes menores restantes están firmados/cerca firmarse. La finalización del suministro de los equipos electromecánicos ya no representa un factor crítico para la operación comercial de la unidad 1 en julio de 2022, y la de la unidad 2 en octubre de 2022. Por lo tanto, la atención de EPM se concentra en las actividades de montaje e instalación.

Las entradas de alimentación, el revestimiento de acero a los pozos de presión y el turbogenerador de la unidad 1 están en la ruta crítica y se analizan en detalle en los dos párrafos siguientes.

El suministro y la instalación de los transformadores no están en la ruta crítica. Los otros 19 ya están adquiridos y en camino al sitio.

EPM está instalando actualmente 6 transformadores del suministro original de 25 transformadores monofásicos que son suficientes para las unidades 1 y 2.

Seguimiento de los transformadores	Ejecutado en la unidad 1		Ejecutado en la unidad 2	
Ensamble mecánico de los transformadores	100 %		41 %	
Conductos colectores con aislamiento de gas	19 %		0 %	
Neutro	67 %		0 %	
Instrumentación y control	100 %		73 %	
Pruebas eléctricas especiales	0 %		0 %	
Avance – Transformadores	Programado: 83 %	Ejecutado: 67 %	Programado: 22 %	Ejecutado: 33 %

Tabla 27: Avance de la instalación de los 6 transformadores monofásicos de las unidades 1 y 2

Del mismo modo, se compraron 11 cables monofásicos de alta tensión para reemplazar los dañados, y están de camino al sitio. Su entrega e instalación no están en la ruta crítica.

Se han comprado las compuertas de los tubos de aspiración y se espera que estén en el sitio a tiempo. Las guías ya están disponibles y las obras civiles están en curso como se muestra a continuación.

Compuertas del tubo de aspiración, portal de la almenara 1			
Actividad	Avance acumulado	Cantidad total	% de avance
Hormigón, viga de fundación	100,0 m	100,0 m	100 %
Hormigón, vigas aéreas	307,1 m	700,0 m	44 %
Hormigón, columnas	251,9 m	347,4 m	73 %
Hormigón, losas aéreas	66,0 m	200,0 m	33 %

Figura 28: Avance de las obras civiles para las compuertas del tubo de aspiración en la cámara del pozo norte

4.3 Cronograma crítico: entradas de alimentación

Los trabajos subacuáticos para la activación de las entradas de alimentación, incluida la limpieza de los escombros corriente arriba de los filtros de basura, aún no han comenzado y aún no se han firmado los contratos principales¹.

Las obras a ejecutar son complejas y especializadas (Figuras 29 y 30). La gestión de las condiciones imprevistas es un factor clave en las obras subacuáticas. En la opinión del IAP, esta es la actividad más desafiante para el inicio de la operación de las unidades 1 y 2.



Figura 29: Representación esquemática del pontón para trabajos subacuáticos

¹ El IAP entiende que solo se ha firmado un contrato de 10 millones de dólares hasta el 30 de junio de 2021.

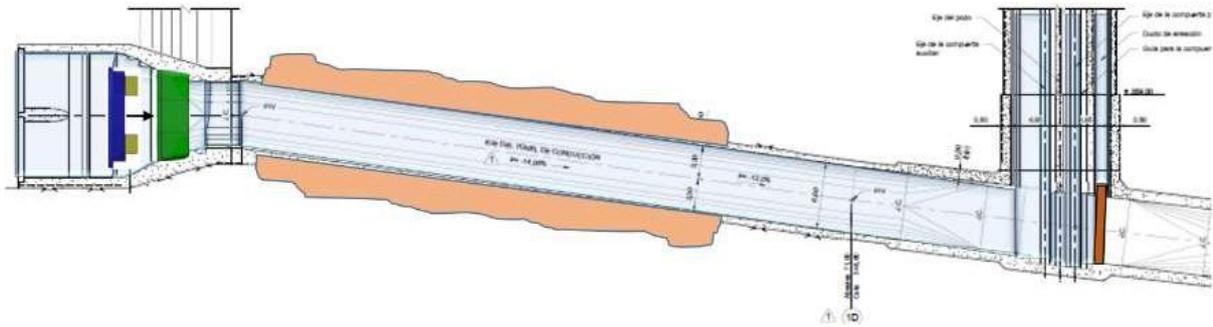


Figura 30: El revestimiento de hormigón sin terminar de 20 m de la entrada de alimentación 2

4.4 Cronograma crítico: revestimiento de acero en los pozos de presión

El diseño original preveía el revestimiento de acero solo en la sección horizontal entre el codo inferior y la caja en espiral. La gran cavidad en la zona de los pozos de presión 1 y 2 obligó a extender el revestimiento de acero a toda la longitud del pozo.

La instalación del revestimiento de acero depende de cuatro factores principales.

- (i) Acceso y disponibilidad de espacio adecuado, equipado con dispositivos de elevación, por encima del codo superior.
- (ii) Colocación de las secciones de acero en el codo inferior para la instalación de la tubería forzada de arriba hacia abajo.
- (iii) Disponibilidad de suficientes secciones de la tubería forzada para mantener una velocidad de instalación adecuada.
- (iv) Metodología de soldadura adecuada para soportar el ritmo de instalación.

Cada factor se examina por separado a continuación. El cronograma asociado se analiza y comenta en la Sección 5.3, en el contexto general de completar las unidades 1 y 2.

(i) Acceso por encima del codo superior

Las actividades en la galería D y en la zona por encima del codo superior están muy avanzadas y se completarán en las próximas semanas (Tabla 31 y Figura 32).

Demolición en la zona de los codos superiores para montaje de equipo de blindaje			
Elemento	Avance acumulado	Cant. total a ejecutar	% de avance
Codo 1 km 0+105,9/118,6	12,7 m	12,7 m	100 %
Codo 2 km 0+105,9/118,6	12,7 m	12,7 m	100 %
Codo 3 km 0+105,9/118,6	12,7 m	12,7 m	100 %
Codo 3 cotas 339,25/329	9,7 m	10,25 m	95 %
Codo 4 km 0+105,9/118,6	12,7 m	12,7 m	100 %
Codo 4 cotas 339,25/329	10,1 millones	10,25 m	99 %

Tabla 31: Avance de las obras civiles de acceso al codo superior



Figura 32: Cimentación del monorriel para la instalación de la tubería forzada 1

FIN QUI

(ii) Colocación de las secciones de acero del codo inferior

Se recomienda una inspección detallada del revestimiento de acero del codo inferior de las unidades 1 y 2 para reemplazar y rehabilitar selectivamente estas partes de los canales de agua. Las actividades correspondientes consumen mucho tiempo y deben llevarse a cabo secuencialmente (Tabla 34 y Figura 35); representan actividades críticas. La Sección 5.3 revisa las implicaciones del cronograma en detalle.

Demolición zona de codos conducción inferior para montaje de equipo de blindaje				
Ítem	Avance acumulado	Total a ejecutar	% avance	Avance semanal
Codo 1 desde pozo de presión 1	14,1 m	14,1 m	100,0%	
Codo 1 desde ramal 1	20,5 m	20,5 m	100,0%	
Codo 2 desde pozo de presión 2	14,1 m	14,1 m	100,0%	
Codo 2 desde ramal 2	20,5 m	20,5 m	100,0%	
Demolición zona de túnel de conducción inferior				
Túnel de conducción 1	2,8 m	2,8 m	100,0%	
Túnel de conducción 2 virolas 1 a 4	12,0 m	12,0 m	100,0%	

Tabla 33: Progreso de las obras civiles para la eliminación del revestimiento de acero existente y el posterior acceso al codo inferior para la instalación de nuevas secciones



Figura 34: Retirada de hormigón alrededor del revestimiento de acero existente del codo inferior de la unidad 1

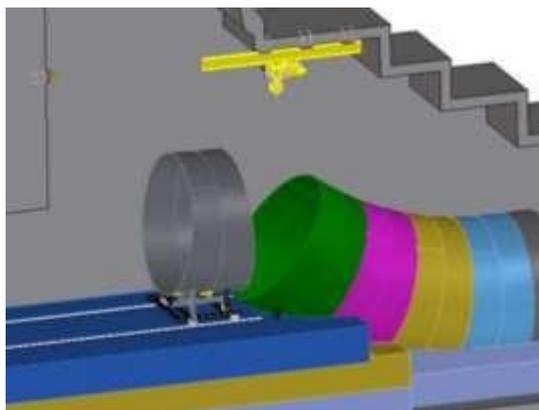


Figura 35: Método para la instalación del codo inferior

(iii) Disponibilidad de suficientes secciones de tubería forzada

A pesar de que se utilizó una parte significativa de la capacidad del taller y la placa de acero en bruto para reemplazar el revestimiento de acero de los codos inferiores, la producción de secciones verticales de la tubería forzada procede satisfactoriamente y no es crítica.



Figura 36: 28 de 49 secciones verticales para las unidades 1 y 2 disponibles en el área de almacenamiento

(iv) Metodología de soldadura para soportar el ritmo de instalación.

Para recuperar el tiempo extra necesario para los codos inferiores, EPM planea utilizar una máquina de soldadura automática, propiedad de ATB, para reducir el tiempo de cada soldadura circunferencial. Esto permitirá realizar la soldadura circunferencial de tres tramos de tubería forzada vertical, ya en el almacén, lo que reducirá el número de monolitos durante la instalación subterránea.

4.5 Cronograma crítico: turbogenerador, unidad 1

Las actividades de construcción e instalación de las unidades 1 y 2 están en curso. Dado que las obras de hormigón tenían que comenzar aproximadamente 20 m por debajo de la parte más baja del tubo de aspiración, se ha revisado la secuencia original para la operación comercial, y la unidad 1 será la primera en entrar en funcionamiento.

Los trabajos de hormigonado están casi terminados en ambos tubos de aspiración de las unidades 1 y 2; las actividades de construcción e instalación de la unidad 2 están en curso en paralelo a las de la unidad 1. En paralelo

a la construcción e instalación de las unidades 1 y 2, EPM está procediendo con la demolición del hormigón de primera y segunda fase en las unidades 3 y 4.

Para acortar el cronograma, EPM está utilizando los muelles de relleno temporal de las unidades 5 y 6 como muelles de carga adicionales para ensamblar las cajas en espiral de las unidades 1 y 2 (Figuras 37 y 38). Cada caja en espiral (250 toneladas) será trasladada a la ubicación permanente por la grúa aérea de 320 toneladas. Dicho preensamblaje no será replicable en el futuro porque el área de las unidades 5 a 8 pronto se verá afectada por las obras civiles.



Figura 37: Cajas en espiral de la unidad 1 y en el fondo de la unidad 2



Figura 38: Progreso de las cajas en espiral de la unidad 1 [casi terminadas] y de la unidad 2 [muy avanzadas]

La Figura 39 muestra la secuencia de la secuencia de 6 fases de las obras electromecánicas y civiles para la finalización de la unidad 1. Comprende las obras civiles para completar las tres plantas restantes a la elevación de 204 msnm (Piso 2 - Turbina), 211,90 msnm (Piso 3 – Generador), y 217 msnm (Piso 4 – Sala de la central).

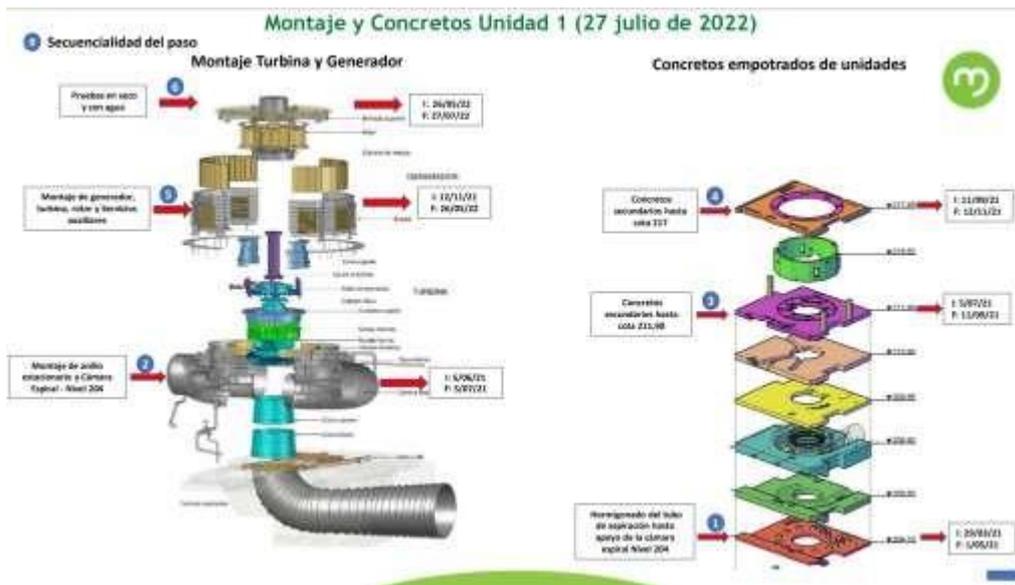


Figura 39: Tiempo hasta la finalización de la unidad 1, obras electromecánicas y civiles

La fase 1 debería haberse completado el 1 de mayo, pero debido al montaje de la caja en espiral, la fase 2 programada para completarse el 5 de julio de 2021 ha generado algunos retrasos.

El 25 de julio, mientras se preparaba este Informe, el IAP se enteró de que se había instalado la cámara en espiral de la unidad 1 (Figura 40) y que la de la unidad 2 estaba en curso.



Figura 40: Caja en espiral de la unidad 1 instalada el 25 de julio

<https://www.elcolombiano.com/antioquia/instalan-equipos-para-llevar-agua-a-las-turbinas-de-hidroituango-OP15292369>

Este es un paso importante para el Proyecto, y el IAP felicita a EPM y a los equipos de trabajo que contribuyeron al éxito.

4.6 Otros trabajos electromecánicos

Patio de maniobras de GIS de 500 kV

Se completó el patio de maniobras de 500 kV. Habrá que reinstalar cables de alta tensión y cables de alimentación y control, procedentes de la sala de máquinas. La galería de cables y sus conexiones con el patio de maniobras de GIS de 500 kV se encuentran en buenas condiciones. Se han completado los trabajos de estabilización de pendientes sobre el área del patio de maniobras.

Compuertas de entrada

Las actividades en las compuertas de entrada y sus sistemas operativos están casi terminadas.

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

Equipos hidromecánicos	Progreso de la instalación y las pruebas	Observaciones
<p>Compuertas de entrada</p> <p>Puertas corredizas de altura, 5,03 x 6,87 m, con ataguías.</p> <p>Operación: servomotores oleodinámicos.</p>	<p>La zona está ahora puede acceder de forma segura y una protección física adicional está instalada por encima del foso y la caja de control de las unidades 1 a 4. Instalación casi completada.</p>	<p>Las puertas se cierran bajo 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>

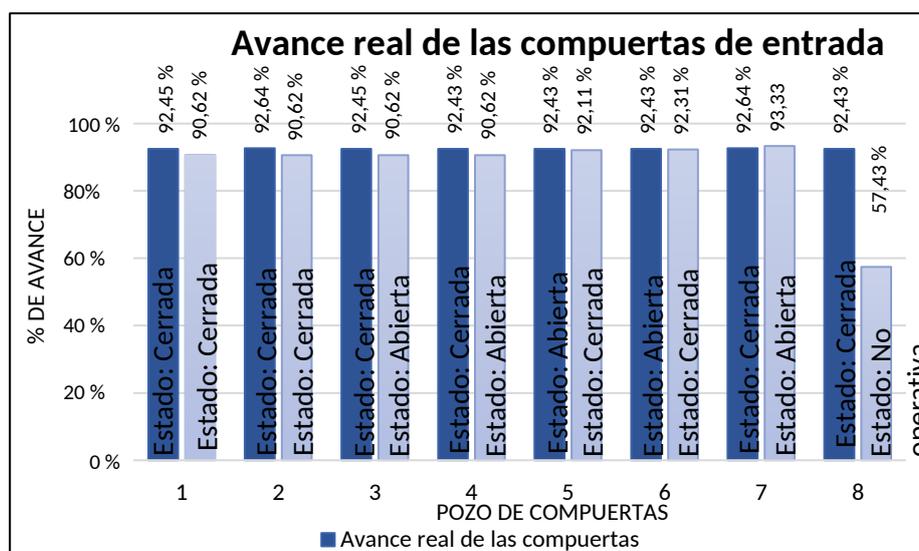


Figura 41: Compuertas de entrada, progreso de la instalación

Puertas de la GAD

Las dos compuertas corredizas verticales de la GAD se bajaron con éxito en febrero de 2020. Se colocó un tapón de hormigón en la parte superior de las compuertas para bloquear cualquier movimiento (con dicha instalación, el túnel está técnicamente tapado) y los sistemas de elevación y las grúas se retiraron y utilizaron en otros lugares. Se instalaron dos derivaciones temporales (Figura 42) para aliviar la presión del embalse en las compuertas y para aumentar aún más la seguridad hasta que se construya el taponamiento permanente de la GAD. Una derivación es directa (actualmente en operación); la otra se enruta a través de la IDG (se operará en el momento de taponar la GAD). Después de conectar correctamente la GAD, se abandonará la cámara de control de la compuerta.



Figura 42: Compuertas de GAD en su posición final con sistema de derivación directa temporal (izquierda) y a través de la IDG (derecha)

Aliviadero y compuertas de la IDG

La siguiente tabla resume la situación de las compuertas del aliviadero y de la IDG. EPM no informó ningún problema en el funcionamiento del equipo.

Equipos hidromecánicos	Progreso de la instalación y las pruebas	Observaciones
<p>Compuertas del aliviadero Cuatro compuertas radiales (dos con solapa para escombros) 15 m x 19,50 m Capacidad de descarga acumulada: 22 600 m³/s (PMF) Funcionamiento: 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. Prueba del generador diésel completada.</p>	<p>En caso de terremoto, los desprendimientos de rocas pueden golpear el edificio de los generadores diésel. Las estadísticas muestran que la confiabilidad de los generadores diésel en caso de eventos excepcionales es menor de lo esperado. Se recomienda la evaluación de riesgos.</p>
<p>Compuertas de la galería de descarga intermedia Dos compuertas radiales + dos compuertas corredizas de emergencia Tamaño: 3 m x 3,90 m (compuertas radiales) Capacidad de ajuste: 750 m³/s con ambas compuertas en funcionamiento para toda la elevación del embalse superior a 350 msnm Funcionamiento: servomotores oleodinámicos, control único y estaciones oleodinámicas para cada compuerta.</p>	<p>Ya en condiciones de funcionamiento; se han completado las pruebas y el control. Instalación de revestimiento de acero debidamente completada.</p>	<p>La autoridad ambiental puede considerar reducir la condición de operación de 450 m³/s.</p>

FINALIZACIÓN DEL PROYECTO: CRONOGRAMA E IMPLICACIONES DE COSTES

5.1 Revisión de hitos

Como parte de sus servicios de asesoramiento, los miembros del IAP deben revisar y certificar el logro de hitos específicos como se establece en el Anexo 6 (*Hitos críticos*) y

el Anexo 8 (*Hitos críticos de RDT*) del Contrato de préstamo entre EPM y BID Invest. La siguiente Tabla 43 revisa el logro de los hitos actualmente relevantes.

Hito	Observaciones	Estado
Instalación de grúa aérea para la caverna de generación norte	Grúa de 300 toneladas en su lugar y operativa Rieles instalados en más del 77 % de la longitud de desplazamiento; adecuados para ensamblar las unidades 1 a 4.	Realizado
Finalización de la red de 62 micropilotes.	Hasta la fecha, se han instalado los 63 micropilotes, 58 de los cuales están totalmente enlechados. Los pilotes son 9 más de lo planeado originalmente para minimizar las brechas asociadas con las desviaciones de los pilotes de la vertical.	Realizado

Tabla 43: Logro de hitos

5.2 Avance de la recuperación de las obras subterráneas

El esquema que se muestra en la figura n.º 44 proporciona una instantánea del progreso de los trabajos de reparación y recuperación en el complejo de cavernas de la sala de máquinas.

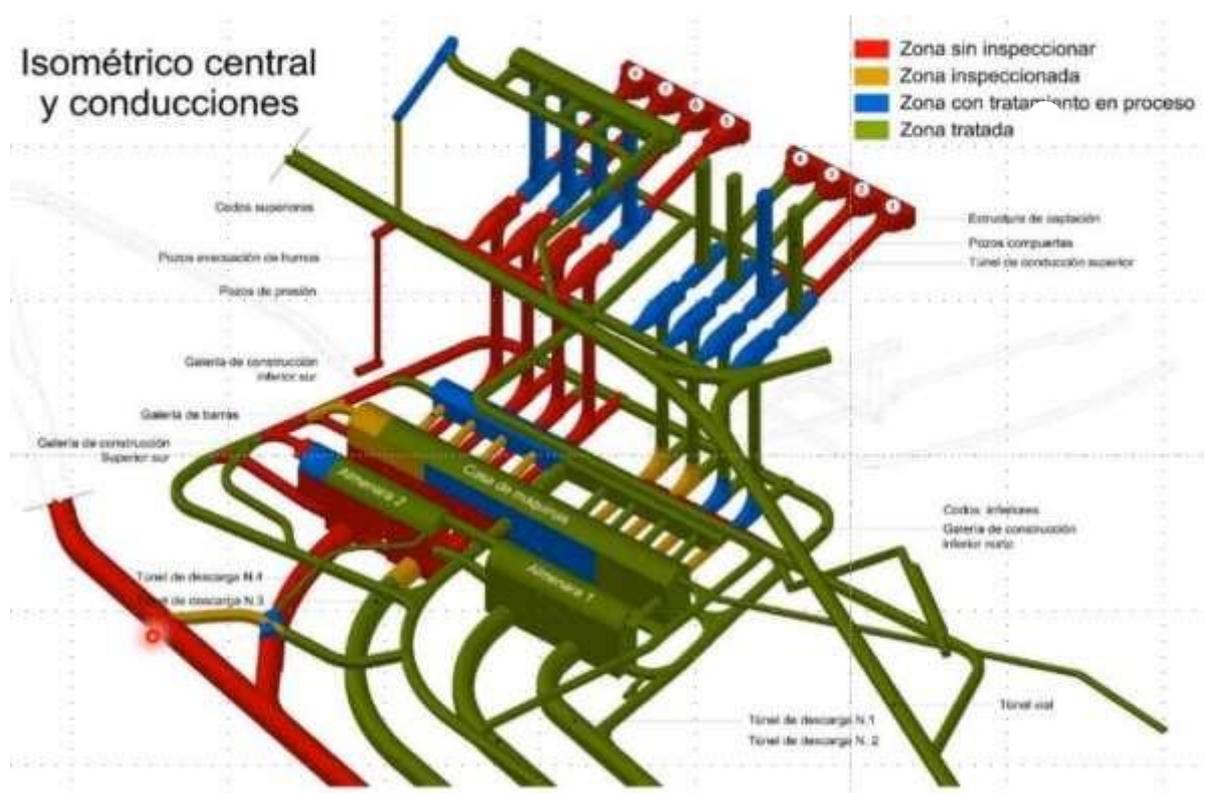


Figura 44: Recuperación de las obras subterráneas, resumen del progreso a junio de 2021

Se puede observar lo siguiente:

- Las entradas 1 y 2 aún requieren trabajos de finalización complejos, que actualmente representan la actividad más desafiante para cumplir con la COD de las unidades 1 a 4. Además, cualquier ajuste o modificación de dicho equipo implicaría un largo tiempo de entrega.

- Los huecos que se encontraron en la zona de tubos de aspiración de las unidades 1 y 2 han sido rellenados de hormigón y están totalmente estabilizados.
- La mayoría de las obras permanentes se han asegurado en la parte norte de la caverna de la sala de máquinas, y ya no se esperan grandes áreas colapsadas en esta ubicación.
- Se ha investigado y delineado la gran zona de macizo rocoso perturbado, en la parte sur de la sala de máquinas. Las medidas de tratamiento están bajo definición.
- El tratamiento de los pozos de presión a las unidades 5 a 8 está en curso, los pozos 7 y 8 probablemente necesitarán ser reconstruidos; el diseño detallado aún no está definido. Dado que los trabajos deberán realizarse después de que las unidades 1 y 2 estén en funcionamiento, se requiere un diseño cuidadoso y una planificación asociada.
- Para garantizar la seguridad durante la operación, EPM planea estabilizar la parte sur alrededor de los pozos antes de que las unidades 1 a 4 comiencen la generación.

5.3 General en el cronograma del proyecto

EPM aplica el método de línea de equilibrio (LOB)²:

- Para controlar la producción, y
- Como ayuda para la gestión de proyectos.

En la LOB, los diagramas de objetivos se representan como "curvas S" (consulte la Figura 45), y los diagramas del programa son el equivalente de los diagramas de Gantt en la PERT.

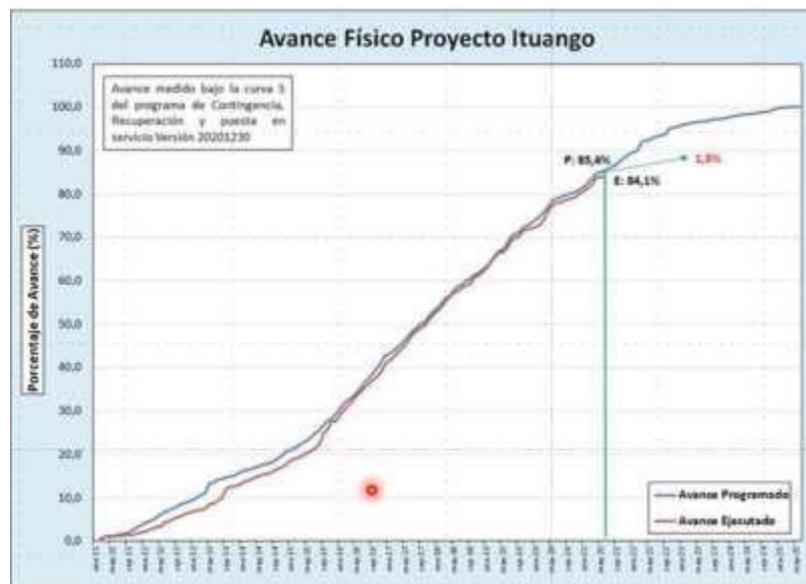


Figura 45: Curva "S" que muestra el progreso consolidado del Proyecto

La LOB es apropiada para la gestión de alto nivel de proyectos complejos. Se centra en el progreso planificado frente al real para las actividades individuales y proporciona una representación visual de las diferencias entre los dos. La identificación de las diferencias le permite a la dirección

² También conocido como "Método por productos finitos"

controlar el progreso de las obras y determinar las prioridades para la reasignación de recursos. La reasignación de recursos es efectiva cuando se abren varios frentes de trabajo que emplean recursos comunes (planta, equipo, materiales, mano de obra). Cuando se realizan pocos trabajos de naturaleza especializada, la reasignación de recursos se vuelve menos efectiva, o no factible en absoluto.

Cuando algunas actividades se marcan en los cuadros del programa de LOB como "a punto de volverse críticas", la planificación de la PERT se vuelve necesaria. De hecho, eso es lo que EPM solicita a sus contratistas cuando algunas actividades se vuelven críticas.

En esta etapa muy avanzada de implementación, cuando se identifican algunas actividades críticas, el método de la PERT es una herramienta esencial para evaluar si el progreso de la construcción avanza hacia el logro oportuno de las fechas de operación comercial.

Para evaluar el progreso real, el IAP utilizó la herramienta Timeline Now (TLN), que es un método para obtener una visión amplia y una evaluación integral de las consecuencias de las actividades incluidas en una ruta crítica. La herramienta TLN se ha utilizado para analizar dos conjuntos de actividades, que el IAP considera críticas en este período de implementación del Proyecto:

- Las unidades 1 y 2, y sus canales.
- Sellado permanente del TD2 y la GAD

La TLN se ha fijado para el 30 de junio de 2021, que es la fecha en la que se proporcionó la mayor parte de la información sobre el progreso del trabajo para la visita de julio de 2021.

En ausencia temporal de una PERT, el IAP tuvo que recurrir a un examen laborioso de las presentaciones de EMP para obtener una comprensión del progreso físico de las actividades críticas. La referencia cruzada entre la información recopilada de las presentaciones y el cronograma de EPM del 31 de diciembre de 2020 permitió evaluar los probables retrasos.

Los dos cronogramas críticos se presentan y comentan en los siguientes párrafos.

5.4 Cronograma crítico: unidades 1 y 2, y sus canales

La Figura 46 muestra las principales actividades que deben completarse para materializar la ruta hidráulica hacia las unidades 1 y 2, desde corriente arriba (las entradas) hasta corriente abajo (las propias unidades 1 y 2).

		Elemento 454: aún no se ha iniciado, retardo indicado de 3 meses.
Canales 1 a 4 (en lo que respecta a las unidades 1 y 2)	3 meses	El mayor retraso está asociado con la instalación del revestimiento de acero en las curvas inferiores (<i>codos inferiores</i>) en la base de los ejes verticales (elemento 589). En la presentación del API, la diapositiva 24 muestra la demolición del codo inferior como completada, mientras que la diapositiva 7 de la misma presentación, enumera la demolición de los codos inferiores de las unidades 1 y 2 (<i>demolición de codos inferiores, unidades de generación 1 y 2</i>) entre los frentes de trabajo en curso (<i>frentes actuales de la obra</i>). Por lo tanto, esta sección de las obras parece estar retrasada, en particular las tuberías forzadas inferiores 1 y 2. La evaluación del IAP de dicho retraso es de 3 meses. Otros elementos relacionados con la rehabilitación de los canales 1 a 4 tienen retrasos (por ejemplo, elementos 516, 517, 545 y 555), pero son menores que los del elemento 589, y considerados menos críticos por las razones dadas en la Sección 4.3.
Unidades 1 y 2	3 meses	El retraso estimado es asociable a los elementos 792 (hormigón del túnel de aspiración 1). El elemento 1347 (montaje de cámara espiral nivel 204 UG1) afecta al hormigón de la segunda fase en la elevación 217 m. El elemento 1348 tiene un retraso de un mes. El IAP considera recuperable el retraso debido al éxito de la instalación de la caja en espiral el 25 de julio.

Tabla 47: Unidades 1 y 2, y sus canales - Evaluación de retrasos actuales

El IAP considera la situación de las obras de entrada como la más crítica en este momento. El retraso solo puede recuperarse con una pronta finalización de los contratos con las empresas especializadas y un calendario de implementación acelerado.

La finalización de demolición e instalación de revestimiento de acero en los codos inferiores del pozo de presión también debe acelerarse para recuperar el retraso actual.

5.5 Cronograma crítico: sellado permanente del TD2 y la GAD

El diagrama de TLN para las actividades relacionadas con el sellado permanente del TD2 y la GAD se muestra en la Figura 48.

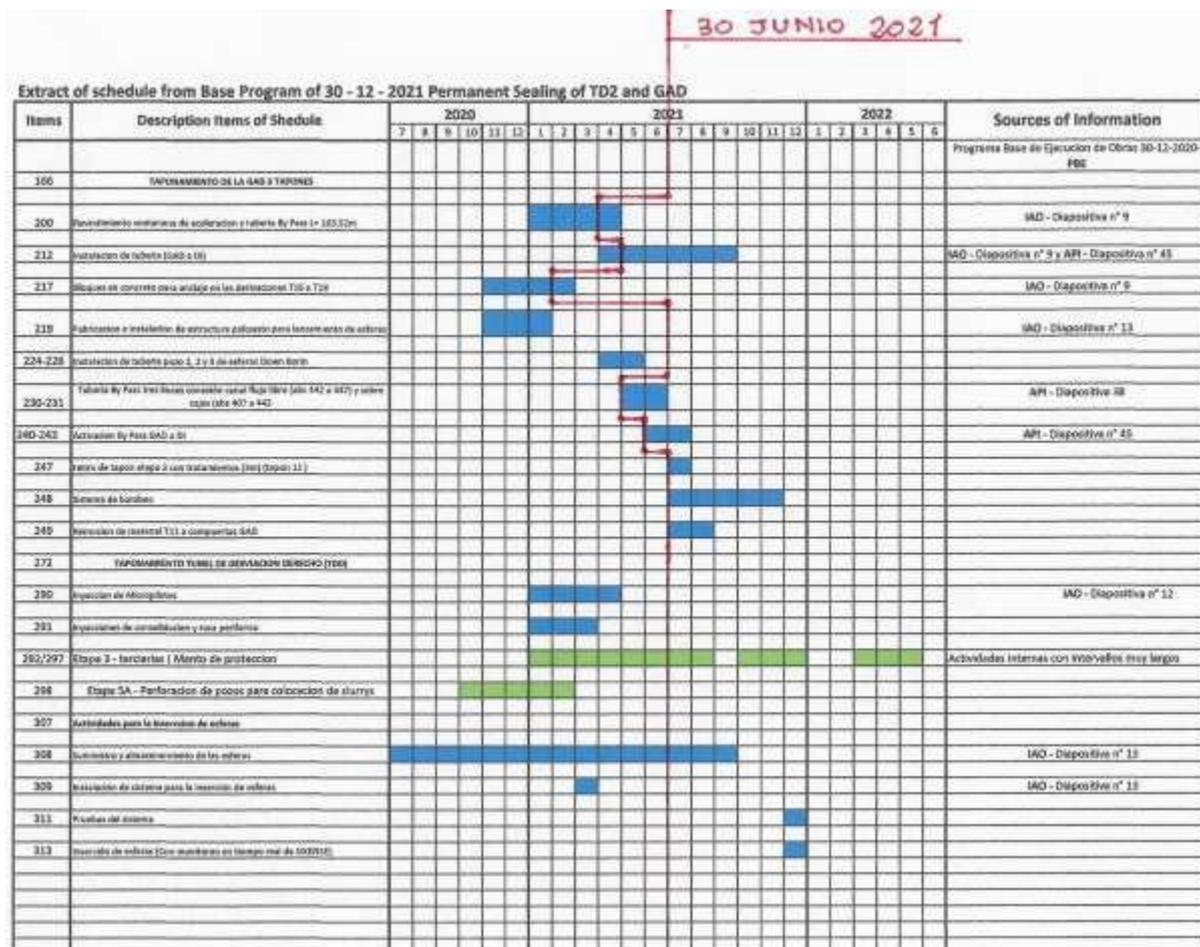


Figura 48: Línea de tiempo del 30 de junio de 2021, sellado permanente del TD2 y la GAD

También en este caso, los elementos de trabajo se han derivado del cronograma de EPM (Programa de Ejecución de Obras_PBE) del 31 de diciembre de 2020, y se han conservado los códigos correspondientes (primera columna). Además del PBE, se han utilizado otras dos fuentes de información:

API: "Actualización Proyecto - Tema Informativo" de fecha 6 de julio de 2021

IAO: "Informe de avance de las obras de estabilización" de fecha 28 de junio de 2021

La TLN en la Figura 48 revela un retraso acumulado de 5 meses para el elemento 217 (Bloques en hormigón para anclaje en las derivaciones T16 a T19). Además, hay evidencia de un ritmo de implementación lento de las actividades 292-297 entre mayo y octubre de 2021, cuyas razones no son evidentes para el IAP.

El IAP considera que, dada la independencia de los elementos de trabajo involucrados de los trabajos de las unidades 1 y 2, hay espacio para la recuperación del retraso evaluado en el contexto de los hitos del Proyecto. Ciertamente, EPM es muy consciente de esto y se le solicita amablemente que revise la evaluación del IAP e informe sobre el progreso logrado a su debido tiempo.

5.6 Logro de la operación comercial

Durante la visita, el IAP se enteró de que, a la fecha, aún no existe una definición sobre si el consorcio de construcción, el consorcio de supervisión y la empresa asesora continuarán

trabajo después del 31 de diciembre de ²⁰²¹. La situación está fuera del control de EPM, lo que lo convierte en el asunto más crucial para la gestión del cronograma y para la operación comercial de la unidad 1 para julio de 2022. Los siguientes comentarios se hacen independientemente de este asunto.

Las fechas de inicio de operación de las unidades 1 a 4 son las que se muestran en la siguiente tabla.

Fechas de inicio de la operación (COD) según el cronograma de diciembre de 2020	
Etapa 1	
Unidad 1	Julio de 2022
Unidad 2	Octubre de 2022
Unidad 3	Enero de 2023
Unidad 4	Septiembre de 2023

En las secciones anteriores, el IAP ha evaluado retrasos del orden de 3 a 6 meses para actividades que son críticas para lograr las COD programadas. Esto no significa necesariamente que las COD estén sujetas a los mismos retrasos, porque:

- La planificación detallada de EPM puede contener elementos que el IAP no puede deducir sin diagramas tipo PERT.
- EPM está implementando medidas de aceleración para recuperar los retrasos.
- La instalación exitosa de la caja en espiral de la U1 el 25 de julio es un ejemplo de ello.

De todos modos, le corresponde al IAP mencionar este asunto y obtener evidencia de EPM de que se están implementando las medidas anteriores. En ese contexto, cabe señalar que, en comparación con febrero de 2021, las postergaciones permitidas del cronograma del Proyecto se han reducido y que los retrasos causados por las obras civiles adicionales solo pueden compensarse acelerando las instalaciones mecánicas y eléctricas.

Debe apreciarse que, en ausencia de diagramas de PERT, la evaluación del IAP tuvo que basarse en la referencia cruzada del cronograma de diciembre de 2020 con la información contenida en las presentaciones de EPM. El IAP no desea repetir este enfoque indirecto y aproximado; por lo tanto, el IAP agradecerá recibir, al menos, diagramas de TLN en el cronograma de trabajos de EPM, que es válido en la fecha de la próxima visita del IAP.

Las fechas correspondientes a la etapa 2, es decir, las unidades 5 a 8, se han revisado como se muestra a continuación.

Fechas de inicio de la operación (COD) según el cronograma de diciembre de 2020	
Etapa 2	
Unidad 5	Agosto de 2024
Unidad 6	Octubre de 2024
Unidad 7	Diciembre de 2024
Unidad 8	Febrero de 2025

Dadas las considerables incertidumbres asociadas con la finalización de los trabajos de rehabilitación en la zona sur del complejo de la sala de máquinas, y del macizo rocoso perturbado en particular, todavía es prematuro hacer algún comentario significativo sobre el logro de las COD.

5.7 Implicaciones de costes del cronograma de finalización

En su 5.º informe de marzo de 2021, el IAP examinó el tema de los costes hasta su finalización con más detalle.

El análisis se limitó a los valores de las *inversiones* (inversiones de capital o CAP), por las siguientes razones:

- La CAP representa más del 80 % del coste total del proyecto.
- Estimar las partidas de costes adicionales (preoperación, IVA, pagos de seguros) requeriría auditar la contabilidad del Proyecto, lo cual está más allá del alcance del IAP.
- Las estimaciones de la CAP se pueden refinar aún más, en caso de que sea necesario, utilizando la lista de cantidades de las obras con precios.

Debido a las fluctuaciones del tipo de cambio USD/COP, se hizo uso únicamente de valores en COP, sin convertir las cifras a USD.

Los costes acumulados se derivaron como se muestra en la Figura 49, utilizando los costes anuales más actualizados, entre los tres *Presupuestos* de los años 2019, 2020 y 2021.



Figura 49: Costes de inversión anuales y acumulados

La curva naranja ("escalada"), con un coste de inversión acumulado de unos 16 billones de COP, se consideró una evaluación realista de los costes de inversión hasta la finalización del Proyecto.

Durante la misión de julio de 2021, se informó al IAP que la Dirección de EPM estaba a punto de decidir un aumento de presupuesto para la finalización de las obras. El tiempo para la decisión se basa en la comprensión avanzada de las condiciones subterráneas y de los trabajos correctivos asociados. El IAP entiende que el aumento presupuestario está en línea con la estimación en la Figura 49 anterior.

ANEXO A: LISTADO DE DOCUMENTOS PUESTOS A DISPOSICIÓN DEL IAP

5 de julio de 2021

1. Informe de seguimiento Obras 28-06-2021. EPM
2. 202107_BID_DAM
3. 202107_BID_SPILLWAY PLUNGE POOL
4. 202107_BID_CAVERNS
- 7.1. 202107_BID_Ob_Sup_Romerito_Des_km0 900
- 7.2. 02107_BID_Diversion Portal
8. 202107_BID_South Conductions System
9. UNDERTWATER WORKS PRESENTATION (BID 2)
- 11.1. PHI-AVANCE MONTAJE_ATB_GE_JULIO_2021_VO
- 11.3. Ituango - Presentación cronograma en barras 20201230 - Junio 2021 BID
- 11.5. Actualización riesgos técnicos BID_07072021
- 11.6. Estado medida preventiva Jul2021
- 11.7. Información Batimétrica Julio 2021_BID

Updates during the virtual mission Bathymetric

Survey July2021_BID

Estado medida preventiva Jul2021_Inglés

ITUANGO - Avance del costo a mayo de 2021

ITUANGO - Julio 6 de_2021 (002)_ACC_SDU

Premisas y entradas en operación programa 20201230 Actualización

Proyecto Hidroeléctrico Ituango_Tema Informativo

Ituango - Presentación cronograma en barras 20201230 y CS - junio 30 BID 1 Unidad 1 -

Desglose de actividades PHI

PR00688-Phase1-ROVInspection Ituango (update)

S curves received on June 25, 2021

ITUANGO-COSTO PRESUPUESTO 2021

ITUANGO-Avance del costo a marzo de 2021

Ituango - Avance curva S, explicación desfases y planes de recuperación **Documentation received on May 5, 2021 partially as a reply to IAP Report N.5 01**

Underground_Numerical_Model

02 _ZonaSur_Condicion Previa_2004 02

Additional pics_Southern caverns 02

Afectación Sur

03 Lechadas - Almenaras-2

03 Mezclas aglutinamiento

04 BID MD infiltraciones_ octubre 2020

05 Premisas cronograma versión 20201230

05 Programa Base Estabilización 20201230 06

Contingencia Destaponamiento TDD

08 Resolución CREG 061-2007

08 Resolución CREG 158-2020

08 Resolución CREG 194-2020

09 Conexión modificada oct7de2020 09

Garantía 1M davivienda 6 oct 2021

09 Garantía 6M Bancolombia 13 oct 2021

09 Garantía 17M BNP 1 abril 2022

09 Garantía 59M colpatria 21 dic 2021

09 Garantía 110M citi 22 abril 2022

10 Evolución inversiones 2016 – 2021

11 Situación turbinas GE

12 Ituango Blindaje proceso logística montaje_V1