

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 5, marzo de 2021**  
**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

# Contenido

## Siglas

### RESUMEN EJECUTIVO Y RECOMENDACIONES

#### 1. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO

- 1.1 General
- 1.2 Comparación con mayo de 2020
- 1.3 Opciones para la finalización del proyecto
- 1.4 Registro de riesgos del proyecto y plan de preparación para emergencias
- 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 Funcionamiento de las unidades en condiciones de emergencia
- 2.3 Sedimentación del embalse

#### 3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

- 3.1 Pozos de presión 1 a 4 (lado Norte)
- 3.2 Pozos de presión 5 a 8 (lado sur)
- 3.3 Complejo de cavernas: sala de máquinas y pozo de carga
- 3.4 Galería de descarga intermedia (IDG)
- 3.5 Represa
- 3.6 Piscina del aliviadero
- 3.7 Estabilidad de la pendiente del estribo derecho
- 3.8 La pendiente más corriente arriba al sur de *Romerito*
- 3.9 Otras características de estabilidad de pendientes

#### 4. EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS

- 4.1 Equipos instalados en el complejo de cavernas
- 4.2 Resumen de progreso de adquisición
- 4.3 Patio de maniobras de GIS de 500 kV
- 4.4 Compuertas de entrada de alimentación
- 4.5 Revestimiento de acero de los pozos verticales
- 4.6 Compuertas de la GAD
- 4.7 Aliviadero y compuertas de la IDG

#### 5. FINALIZACIÓN DEL PROYECTO: CRONOGRAMA E IMPLICACIONES DE COSTES

- 5.1 Avance de la recuperación de obras subterráneas
- 5.2 Logro de la operación comercial
- 5.3 Implicaciones de costes del cronograma de finalización

## ANEXO A: LISTADO DE DOCUMENTOS PUESTOS A DISPOSICIÓN DEL IAP

## ANEXO B: “PRESUPUESTOS” DE LOS AÑOS 2021, 2020 Y 2019

### Siglas utilizadas

ADT	Túnel de desvío auxiliar
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAP	Capital de trabajo
CFD	Cálculo de la dinámica de los fluidos
C&I	Control e instrumentación (cables)
COD	Fecha de inicio de la operación (unidades de turbina)
DRM	Masa rocosa perturbada
EPM	Empresas Públicas de Medellín
EPP	Plan de preparación para emergencias
FEM	Análisis de elementos finitos
GIS	Interruptores aislados por gas
HPP	Central hidroeléctrica
HV	Alta tensión
IAP	Panel Asesor Independiente de BID Invest
IDG	Galería de descarga intermedia
BID	Banco Interamericano de Desarrollo (BID)
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
LV	Baja tensión
MAF	Flujo medio anual
MAS	Producción media anual de sedimentos
MLO	Salida de nivel medio
MOL	Nivel operativo mínimo
ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
PH	Sala de máquinas
PF	Probabilidad de falla
PFMA	Análisis de modos de fallo potenciales
RLM	Matriz de nivel de respuesta
TD2	Túnel de desvío 2 (derecho)
EBIA	Junta de Asesores Independientes de EPM
msnm	Metros sobre el nivel del mar

## RESUMEN EJECUTIVO Y RECOMENDACIONES

La instrumentación y el monitoreo continúan mostrando comportamientos satisfactorios de la represa y del aliviadero. Los trabajos de estabilización de taludes están en curso, y el monitoreo muestra un rendimiento adecuado.

Los extensos trabajos de reparación ejecutados hasta la fecha permiten emitir una evaluación positiva sobre la seguridad de las obras subterráneas en el lado norte del complejo de la sala de máquinas (unidades 1 a 4).

La evaluación relativa a la parte sur, unidades 5 a 8, sigue entrañando desafíos debido a los extensos y complejos trabajos de tratamiento del macizo rocoso perturbado que afectan a los pozos de presión, y la extensión de los canales de agua aún no inspeccionados (pozos de presión, tuberías forzadas, sala de máquinas sur, parte inferior del pozo de carga sur, túnel de fuga 4). El IAP está de acuerdo con los trabajos de tratamiento diseñados, que requerirán una estrecha supervisión.

El sellado permanente del TD2 y, en segundo lugar, del GAD se ha diseñado con precisión y está en curso. El IAP está de acuerdo con el diseño y la secuencia de las actividades. El proceso presentará 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. El IAP recomendó integrar el sistema de monitoreo en un plan de preparación para emergencias específico.

La galería de descarga intermedia se utilizará como la parte aguas abajo del canal de agua que garantizará una liberación respetuosa con el medio ambiente, incluso en condiciones extraordinarias (turbina fuera de funcionamiento y depósito por debajo del nivel del aliviadero). Se ha definido el diseño de los canales de agua, y se están adquiriendo los componentes de revestimiento de acero necesarios.

A continuación, se muestran las fechas de inicio de operación de las unidades 1 a 4, en comparación con las expectativas de marzo de 2020.

<b>Fechas de inicio de la operación (COD) - comparación</b>			
	COD en marzo de 2020 Calendario	COD en diciembre Calendario de 2020	Retraso acumulado (meses)
Unidad 1	Diciembre de 2021	Julio de 2022	7
Unidad 2	Abril de 2022	Octubre de 2022	6
Unidad 3	Julio de 2022	Enero de 2023	6
Unidad 4	Octubre de 2022	Septiembre de 2023	11

Los retrasos acumulados son significativos y pueden atribuirse, principalmente, al impacto de la pandemia de COVID-19 y a las excavaciones adicionales inesperadas de roca dañada en el área de los tubos de aspiración.

Actualmente, la COD de la unidad 1 está programada para julio de 2022, es decir, dentro de unos 18 meses. El IAP considera que dicho período es realista para la realización del hormigón de primera y segunda etapa, el montaje, la puesta en marcha y las pruebas de la unidad 1.

Todavía quedan por delante otros trabajos importantes (por ejemplo, trabajos submarinos en las tomas, tratamiento de las curvas horizontales de los túneles de fuga 1 y 2). Al mismo tiempo, la disponibilidad de todo el equipo necesario in situ es un factor a favor para alcanzar la COD. Se puede hacer una evaluación similar para llegar a la COD de la unidad 3 y, con cautela, de la unidad 4.

Respecto a las otras cuatro unidades, en la parte sur de la sala de máquinas, el último programa de obras (30 de diciembre de 2020) presenta las siguientes COD.

Unidad	Fecha de inicio de la operación (COD)
5	Agosto de 2024
6	Octubre de 2024
7	Diciembre de 2024
8	Febrero de 2025

Habrà que supervisar de cerca los progresos de las obras a fin de respetar el cronograma, pues deben hacerse trabajos de tratamiento extensos y complejos, y aún no se ha inspeccionado una parte importante de los canales de agua.

El IAP estima que, actualmente, un coste de inversión acumulado (*inversión total*)<sup>1</sup> de unos 16 billones de COP supone una evaluación razonable para finalizar el Proyecto. La estimación debe actualizarse con regularidad, a medida que avanzan las obras, para asegurar que se disponga de los recursos adecuados para cumplir con las COD. La estimación actual de los costos adicionales atribuibles a las consecuencias del incidente de mayo de 2018 asciende aproximadamente a 3,9 billones de COP.

El IAP cree que, dado el cronograma actual para la finalización del Proyecto y la creciente importancia de garantizar los recursos adecuados para ese fin, se hace necesaria una revisión más detallada del costo y el cronograma en el futuro cercano. Para ello, probablemente se requeriría una interacción más frecuente con los controladores de costes de EPM.

Por último, ante todo, el IAP destaca un tema relacionado con el funcionamiento seguro del Proyecto. Es de vital importancia que las turbinas puedan funcionar, durante un tiempo limitado, para bajar el nivel del depósito en condiciones de emergencia, por ejemplo, después de un fuerte terremoto. Ello implica usar las unidades por debajo de los 390 MOL, y el EPP del Proyecto debe contemplar dicha operación de emergencia. En caso de que los expertos del proveedor de turbinas no ofrezcan información sobre las consecuencias esperadas al usar las unidades fuera de los límites de diseño, el EPM debe buscar asesoramiento independiente de expertos especializados.

Podrían dejarse de usar turbinas en condiciones de emergencia si resultara factible añadir una salida de nivel medio y se hiciera durante la vida del Proyecto.

---

<sup>1</sup> Los costes de inversión suponen aproximadamente el 80 % de los costes totales del Proyecto. Las partidas de costes restantes incluyen: *Gastos preoperativos, operación y comercialización. Gastos financieros, IVA, activos indemnizados.*

## **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. El IAP visitó Ituango tres veces, en agosto de 2018, marzo de 2019 y septiembre de 2019 y emitió los informes respectivos.

Debido a la pandemia de COVID-19, la cuarta misión (mayo de 2020) y la quinta (febrero de 2021) del IAP tuvieron que organizarse virtualmente. Los tres miembros del IAP asistieron a la misión de febrero 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 23, 24 y 25 de febrero. 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 mayo de 2020**

Durante su misión virtual de febrero de 2021, el IAP ha observado 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 no muestra ningún signo de desgaste inaceptable.
- Complejo de cavernas de la sala de máquinas, zona norte: todas las áreas subterráneas, que se vieron afectadas por el caudal incontrolado del río, han sido inspeccionadas, y los trabajos de reparación están en curso.
- Por los vacíos inesperados que se localizaron en la parte más baja de la sala de máquinas, se necesitaron obras adicionales de excavación y relleno.
- El monitoreo de las aberturas subterráneas continúa indicando un rendimiento satisfactorio.
- Las obras de hormigonado y la instalación de equipos de las unidades 1 a 4 están avanzando, y está previsto el inicio de la puesta en marcha de la primera unidad (unidad 1) para julio de 2022.
- Se ha asegurado el suministro y entrega al sitio de equipos electromecánicos para la instalación y puesta en marcha de las unidades 1 a 4, y su adquisición ya no es un problema para el proyecto.
- 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 están definiendo las medidas de tratamiento.
- 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 un diseño bien estudiado.

El flujo a través del TD2 se monitorea de cerca durante las operaciones de sellado. El IAP recomendó integrar el sistema de monitoreo en un plan de preparación para emergencias específico.

- El taller para el montaje de la tubería forzada se ha completado, la producción de prueba está en curso, y supone un logro importante tener in situ todas las placas de acero.

### 1.3 Opciones para la finalización del proyecto

La siguiente tabla muestra la progresión 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
Rehabilitación completa	Opción preferible; confirmación final después de la evaluación de los daños en la sala de máquinas	Opción preferible confirmada.	Confirmado sustancialmente	Confirmado	Confirmado
Revisar los objetivos 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 bifásica.	Salida de alimentación sin modificar. Secuencia de puesta en marcha de la unidad: U1 (diciembre de 2020), U2 (abril de 2021). Otras unidades aún por definir.	Secuencia de puesta en marcha de la unidad: U1 (julio de 2022), U2 (octubre de 2022), U3 (enero de 2023), U4 (septiembre de 2023), U5 (agosto de 2024), U6 (octubre de 2024), U7 (diciembre de 2024), U8 (febrero de 2025)
Revisar los objetivos del proyecto	No es realista.				
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.	Taller de PFMA realizado. Se desarrollará aún más para lograr una decisión informada sobre el riesgo en la MLO adicional.	Hacer funcionar las turbinas a alturas 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.
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, dejará 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.	

### 1.4 Registro de riesgos del proyecto y plan de preparación para emergencias

En la figura 1, se muestra la matriz general de riesgos del Proyecto según lo evaluado en febrero de 2021. La evaluación agrega todos los elementos de riesgo (costo, tiempo, personas, reputación, medio ambiente, aspecto social).

## 2. General Risk Matrix

February 2021



Figura 1: Matriz general de riesgos del Proyecto en febrero de 2021

Si bien se reconoce la importancia de todos los elementos de riesgo, el IAP debería concentrarse en los elementos técnicos. Estos se recogen en el cuadro siguiente.

Desglose de riesgos técnicos		
<b>R1:</b> Dificultades para estabilizar las obras subterráneas	<b>R8:</b> Deslizamientos que afectan al desarrollo del proyecto	<b>R22:</b> Dificultades asociadas al trabajo de descarga intermedia y su puesta en funcionamiento
<b>R6:</b> Fallo previo del tapón en uno de los túneles del sistema de desvío (GAD, TD2)	<b>R11:</b> Fallo del aliviadero	<b>R23:</b> Estado del macizo rocoso que hace inviable el proyecto
<b>R7:</b> Falla de la represa	<b>R21:</b> Dificultades asociadas a la estabilidad de las cavidades entre los pozos 1 y 2	<b>R25:</b> Dificultades asociadas a las obras de recuperación de las tomas superiores

La matriz relativa únicamente a los riesgos técnicos se muestra en la figura 2.

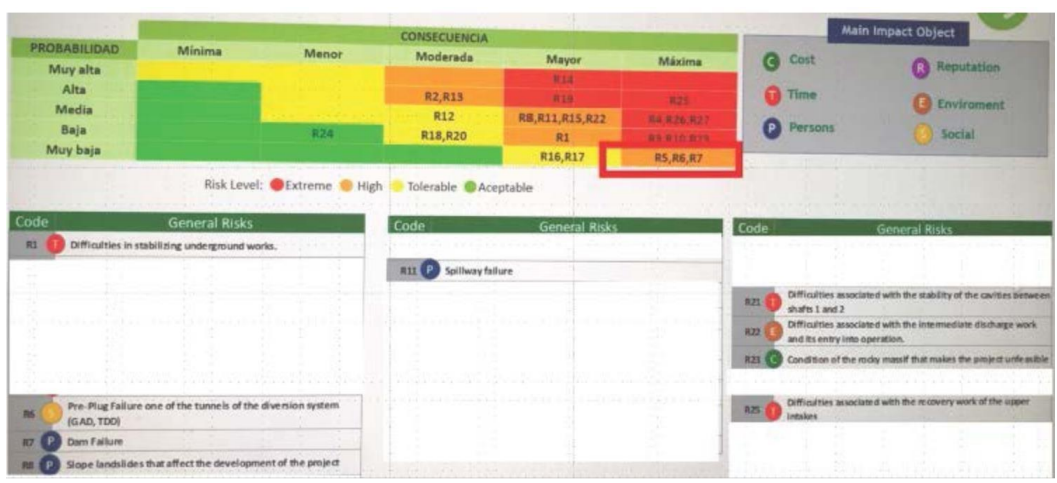


Figura 2: Matriz de riesgos técnicos del Proyecto en febrero de 2021



El IAP está de acuerdo, en principio, con la evaluación de riesgos de los diferentes sucesos, excepto en el caso de R5 (sellado de GAD y TD2). La probabilidad de que ocurre no puede ser la misma que la de "Fallo de la represa" (R7). Hasta lograr un sellado satisfactorio, la probabilidad de que ocurra R5 debe considerarse "baja".

Las actividades asociadas con R5 se analizan en el siguiente párrafo.

### **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 GAD está bajo control, y se están haciendo obras para controlar el TD2. Sellar de forma permanente el túnel de desvío derecho (TD2) y el túnel de desvío adicional (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: uno alrededor de las compuertas, y el otro 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 las compuertas son las que controlan la GAD, 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 túnel izquierdo (TD1), que va en paralelo al TD2, ya se había taponado antes de que el derrumbe bloqueara el TD2 en 2018. Para asegurar la estabilidad del talud del lado derecho del valle, que se asoció con los derrumbes de 2018, se han hecho remodelaciones de taludes y se han aplicado refuerzos de forma extensa.

La descarga del TD2 está bajo supervisión constante y se ha estabilizado en aproximadamente 8 m<sup>3</sup>/s. Ello indica que no hay fugas del TD1 paralelo, que está a la presión del depósito corriente arriba del tapón. Es un buen indicio de la calidad del macizo rocoso que separa los dos túneles.

La presión del agua también se monitoriza en el TD2, y los resultados muestran una clara tendencia a la disminución, que puede atribuirse a un sellado progresivo de los escombros a causa de la turbidez transportada con el caudal del río.

Por tanto, si bien el TD2 aún no puede considerarse "técnicamente taponado", todas las pruebas permiten afirmar que es poco probable que se derrumbe la obstrucción natural.

El sellado del TD2 debe 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 (figura 3).

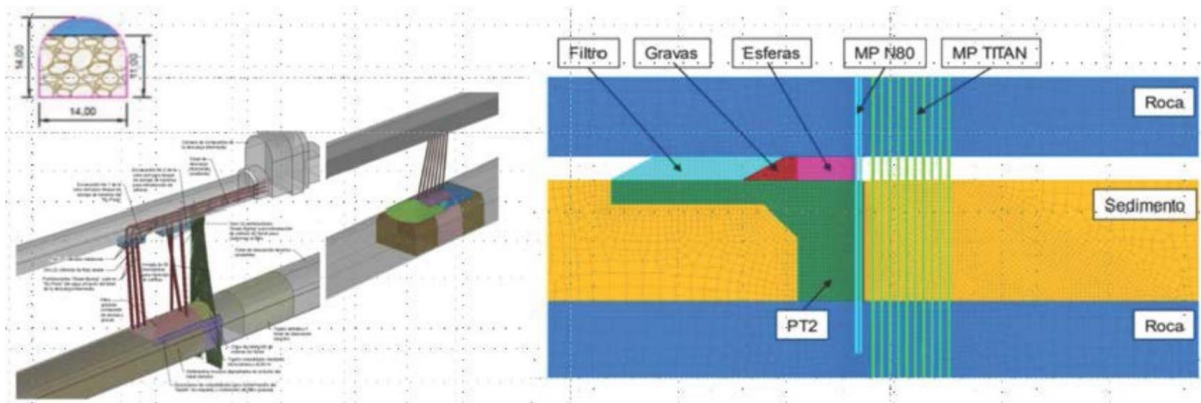


Figura 3: Solución para sellar el TD2

A la fecha, se han instalado 56 micropilotes, y hay 6 más en marcha para cerrar los huecos de la red empleada, cuya finalización se espera para abril de 2021. Después, se harán flotar esferas de plástico especiales (de diferentes diámetros) para que queden atrapadas por la red de pilotes. 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.

El IAP considera factible la solución diseñada y sugiere considerar el uso de espumas húmedas en el proceso. El flujo a través de TD2 se monitorea de cerca durante las obras de sellado, en términos de altura y velocidad, con tres niveles de alerta para proteger las áreas corriente abajo. El IAP entiende que existe un plan de preparación para emergencias (EPP) específico para el sellado del TD2. El EPP debe incluir una matriz de nivel de respuesta (RLM), que es una práctica estándar para gestionar la seguridad de las represas. La fig. 4 muestra una RLM típica para una represa.

NIVEL DE RESPUESTA	TIPO DE EVENTO					
	AVENIDA	SUeltas de EMERGENCIA	SISMO	FILTRACION / EROSIÓN INTERNA	LECTURA DE INSTRUMENTACIÓN ANORMAL /FALLO COMPUERTA	SABOTAJE / ACCIDENTE
ALERTA INTERNA (Situación manejada internamente)	El nivel del embalse crece hacia el nivel de avenida. Vertido se aproxima a la capacidad del cauce	Alerta de inminente vertido	Sismo menor que Design Basis Earthquake (DBE). T= 475 años	Filtraciones excesivas		Cualquier incidente de amenaza de ataque.
NIVEL I (Puede provocar una avenida aguas abajo. Notificar).	El nivel del embalse se aproxima al nivel de avenida, pero bajo el nivel de coronación.	El vertido excede de la capacidad del cauce.	Sismo mayor que Design Basis Earthquake (DBE). T= 475 años	Incremento excesivo de las filtraciones. Filtraciones con arrastres de finos.		Ataque que amenace la integridad de la presa o aliviadero.
NIVEL II (Prepararse para evacuar)	Las predicciones indican que el nivel superará la corona	Liberación controlada que puede inundar áreas habitadas	Inestabilidad de la presa consecuencia del sismo	Filtraciones ocasiona un flujo no controlado		Como anterior
NIVEL III (Evacuación)	Sobrevuerto inminente	Como anterior	Integridad de la presa comprometida con el sismo	Formación de brecha en la presa		Como anterior

Figura 4: Matriz de nivel de respuesta de muestra para represas

Los niveles de alerta, asociados con el sistema de supervisión, deben consolidarse en una RLM específica.

## 1.6 Evaluación de seguridad

La última vez que el IAP pudo visitar el Proyecto en presencia fue en septiembre de 2019. En la misión virtual de febrero de 2021, tal y como había sucedido en mayo de 2020, el personal del proyecto proporcionó una descripción completa de los trabajos en curso. La disponibilidad de cámaras de vídeo en tiempo real, instaladas en ubicaciones clave, ayudó significativamente a evaluar las condiciones de las obras.

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.
- Un movimiento del talud está en curso, en un área alejada de las obras, y no representa una amenaza para el embalse; la zona es monitoreada para definir las intervenciones necesarias.
- 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 no muestra ningún signo de desgaste inaceptable.

- 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. La gran cavidad entre los pozos de presión 1 y 2 se ha rellenado con éxito.
- El área derrumbada entre la caverna de PH y el pozo de carga norte se encuentra en una etapa avanzada de rehabilitación.
- La parte sur de la caverna y los canales de agua relacionados se ven afectados por una gran zona de macizo rocoso perturbado, que ha sido investigada y delineada. Las medidas de tratamiento están bajo 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.

## **2. RIESGO RESIDUAL DURANTE LA OPERACIÓN**

### **2.1 Control del embalse durante la operación del proyecto**

En la configuración actual (marzo 2021) de Ituango, los flujos entrantes solo pueden descargarse a través del aliviadero superficial, lo que conlleva mantener el embalse lleno todo el tiempo. Al activar el funcionamiento de la turbina, se podrán controlar los niveles del yacimiento con una notable reducción del perfil de riesgo del Proyecto; por este motivo, es un asunto prioritario en la actualidad. La ausencia de una salida de bajo nivel hace que las turbinas también sean el único medio de controlar el nivel del depósito durante el funcionamiento.

No se contempla agregar un MLO a Ituango, como parte de la finalización del Proyecto, porque la presencia del embalse dificultaría mucho su construcción. Además, dadas las inestabilidades que han afectado al macizo rocoso, sería imprudente acometer la operación antes de haber valorado, mediante un seguimiento a largo plazo, la estabilidad global del entorno del macizo rocoso. Al mismo tiempo, no se debe renunciar a la posibilidad de añadir un MLO, pues reforzaría notablemente la seguridad del Proyecto, por ejemplo, después de un fuerte terremoto. En consideración de las dificultades involucradas, la construcción debería planificarse cuidadosamente y, si se confirma que es esencial, construirse durante la vida del Proyecto.

### **2.2 Funcionamiento de las unidades en condiciones de emergencia**

La carga operativa del embalse de Ituango, tal como se define en su diseño, está nominalmente limitado a un rango de 30 m: entre 420 y 390 msnm (figura 5).



Figura 5: Niveles operativos máximos normales y mínimos.

Con respecto a la carga hidráulica de las unidades, es importante registrar que las condiciones de funcionamiento de las unidades se han modificado debido a cambios en el sistema de túneles de fuga y los perfiles de vaguadas. El nivel máximo de diseño en el pozo de carga (almenara) para garantizar la carga mínima neta de diseño fue de 218,8 msnm antes del suceso de mayo de 2018. Los niveles de diseño revisados, según lo comunicado recientemente a GE por EPM, son bastante más altos, como se muestra en la figura 6.

Caso de Operación	Niveles esperados en la almenara
Operando 4 Unidades	222,7
Operando 3 Unidades	222,39
Operando 2 Unidades	222,17
Operando 1 Unidad	222,04

Fig. 6: *Niveles de diseño revisados en el pozo de carga*

EPM informó que, para restablecer los niveles de diseño, el dragado de la vaguada no afectaría significativamente a la generación inicial con las unidades 1 y 2, por lo que no está previsto antes de la puesta en marcha de dichas unidades. Esto se debe a que, al funcionar con el nivel del depósito por encima de la altura mínima, se respetará la altura mínima garantizada. El IAP desea comprender mejor si los niveles modificados en el pozo de carga, que se ilustran en la figura 6, se deben a los niveles de vaguada o a ciertas modificaciones en la geometría de los canales corriente abajo de las turbinas asociadas con las obras de rehabilitación.

El funcionamiento de las turbinas por debajo de la cota 390 msnm puede causar tres tipos de impactos en el equipo:

- formación de vórtices por encima de las tomas,
- cavitación,
- vibraciones.

Los diferentes impactos se analizan a continuación.

## Formación de vórtices

Si la inmersión es demasiado baja, las tomas pueden verse afectadas por vórtices. Los vórtices provocan numerosos perjuicios en el rendimiento hidráulico:

- Retención de aire, que afecta a la maquinaria hidráulica y provoca picos de presión.
- Retención de remolinos, con aumento de las pérdidas de carga.
- Aumento de la cavitación y vibraciones.
- Arrastre de material flotante.

La inmersión mínima puede estimarse mediante fórmulas empíricas y definirse mejor en modelos hidráulicos.

Al aplicar las fórmulas empíricas disponibles<sup>2</sup>, se han obtenido los siguientes resultados:

- Los vórtices deberían prevenirse si las turbinas funcionaran por debajo del nivel mínimo de 373 msnm.
- Las vibraciones deben controlarse a menos de 373 msnm.
- No se recomienda descender por debajo de 370, a menos que sea en condiciones de emergencia extremas.

## Cavitación y vibraciones

Tales fenómenos pueden ocurrir cuando la turbina funciona fuera de los valores de carga y descarga (H-Q) para los que ha sido diseñada. La fig. 7 muestra el "gráfico de colinas" de las turbinas de Ituango junto con el intervalo de funcionamiento garantizado y los límites de cavitación.

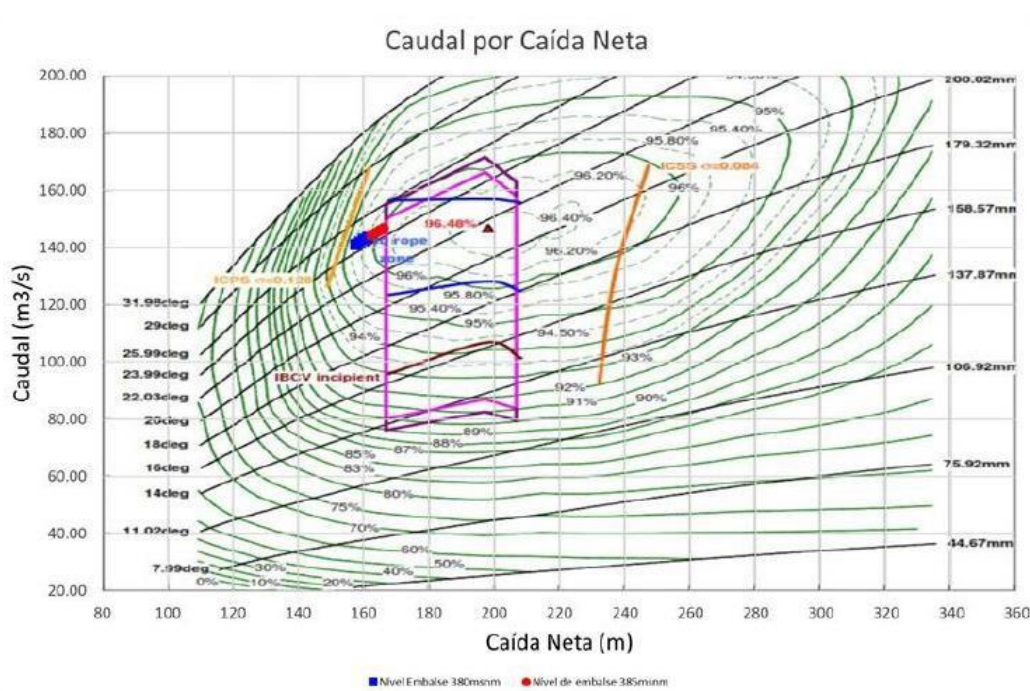


Figura 7: Gráfico de colinas de las turbinas con intervalo de funcionamiento garantizado y límites de cavitación

<sup>2</sup> Domfeh, M.K., et al. (2020) "Free surface vortices at hydropower intakes: A state-of-the-art review" Scientific African, Volume 8, July 2020

Tanto la cavitación como las vibraciones aumentan gradualmente y pueden provocar efectos dañinos si la unidad funciona durante un largo período fuera de los límites de diseño, o si lo hace en un área H-Q demasiado alejada de los límites.

La extensión del intervalo de operación para una elevación de 385 y 380 se muestra respectivamente en rojo y azul. La línea naranja de la izquierda muestra el límite de cavitación incipiente para la parte superior de la presurización del corredor.

En caso de que las unidades necesiten usarse fuera de los límites de diseño, en condiciones de emergencia, se deben monitorizar las vibraciones como requisito obvio que se especificará en el plan de preparación para emergencias del Proyecto .

La obligación contractual solicitada por EPM a GE no incluía ningún intervalo de funcionamiento sujeto a un número limitado de horas de funcionamiento por año (en consecuencia, se aplica el límite de 50 horas según la norma IEC 60609). Sin embargo, la práctica habitual del sector exige establecer un área de funcionamiento más para que el funcionamiento no supere las 400-1000 horas por año.

En su respuesta a las preguntas formuladas por el IAP, GE informó que la pulsación aumenta suavemente al reducir la carga neta; el fabricante debería haber hecho un cálculo documental de las vibraciones esperadas. Ambos valores deben comprobarse mejor in situ en el prototipo. Hay suficientes pruebas para solicitar una opinión especializada más apropiada, no vinculante desde el punto de vista contractual, a expertos de GE en diseño y pruebas de modelos.

### Recomendaciones del IAP

La capacidad de reducir el nivel del embalse por debajo de 390 msnm puede convertirse en una medida crítica para ampliar las opciones de gestión del embalse, en la actualidad sumamente limitadas, y en consecuencia para aumentar la seguridad del Proyecto en funcionamiento.

En condiciones de emergencia, el operador debe tomar decisiones de acuerdo con el plan de preparación para emergencias, y no debe haber dudas sobre la comparación entre soportar un daño temporal del equipo y que falle la represa.

Los daños esperados deben estar previstos en el EPP. Las respuestas preliminares de los proveedores de equipos fueron insatisfactorias porque se centraron en los límites de funcionamiento de las turbinas garantizados contractualmente. Si bien se trata de una posición legítima del proveedor, no considera el espíritu de la pregunta, que se refiere a las condiciones de funcionamiento de emergencia, no a las habituales. Si el proveedor del equipo no presta asistencia, EPM debe acudir a un consultor especializado para recibir asesoramiento independiente.

## **2.3 Sedimentación del embalse**



El IAP señaló que, en una etapa avanzada de la vida del proyecto, podría ser valioso lavar los sedimentos en la zona de las entradas a fin de prolongar la vida del proyecto. A tal efecto, podrá reconsiderarse la necesidad de abrir la entrada de la IDG a 260 m, durante la vida del Proyecto. La planificación debe basarse en estudios batimétricos. Por el presente documento, se renueva la solicitud del IAP de revisar los levantamientos batimétricos realizados hasta la fecha, a ser posible durante la próxima visita.

### 3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

#### 3.1 Pozos de presión 1 a 4 (lado Norte)

No hay ningún aspecto geotécnico significativo que informar, excepto que se han completado satisfactoriamente las obras civiles para la rehabilitación de los pozos 1 y 2, que se vieron afectados por la gran cavidad. Actualmente, la atención se centra en el montaje e instalación del revestimiento de acero en los pozos de presión, comenzando con 1 y 2. Se ha firmado un contrato de obras subacuáticas, y las actividades están a punto de comenzar en correspondencia con las entradas. Para ello, se necesitará usar mamparos metálicos, eliminar escombros frente a las entradas, y reparar o reemplazar los basureros (ver figura 8), finalizar el revestimiento de hormigón de 20 m a la entrada 2, y retirar el tapón de hormigón a las entradas 3 y 4.

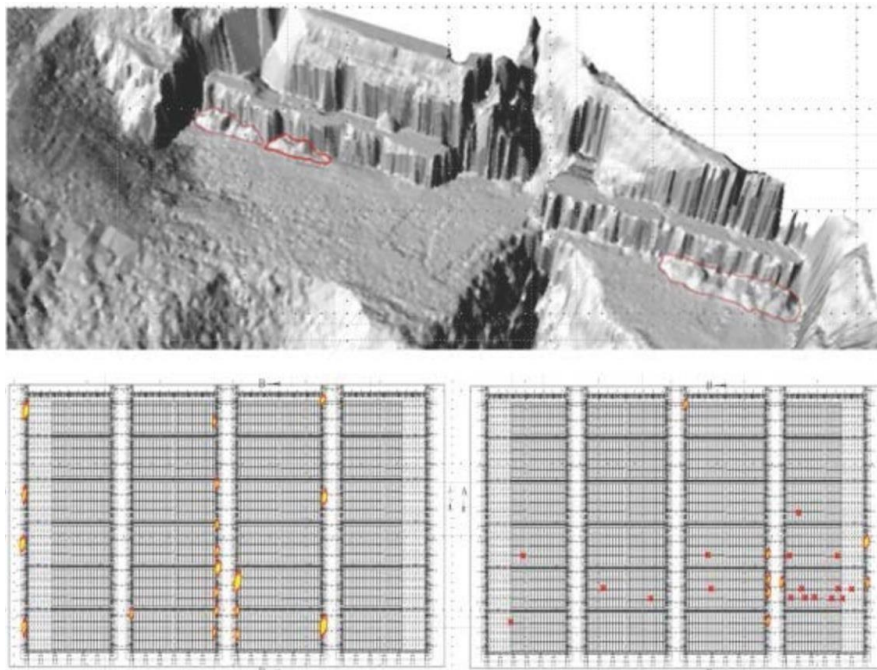


Figura 8: Trabajos de reparación en las entradas 1 a 4

#### 3.2 Pozos de presión 5 a 8 (lado sur)

La zona de los pozos de presión 5 a 8 se ha visto afectada por importantes movimientos que han incidido en gran parte del macizo rocoso. El volumen de dicho "macizo rocoso perturbado" (DRM) se estima actualmente en alrededor de 1 millón de  $m^3$ . Las extensas campañas de perforación y inyección de lechada han delineado la forma del DRM, que se muestra en la figura 9.



## DELIMITATION

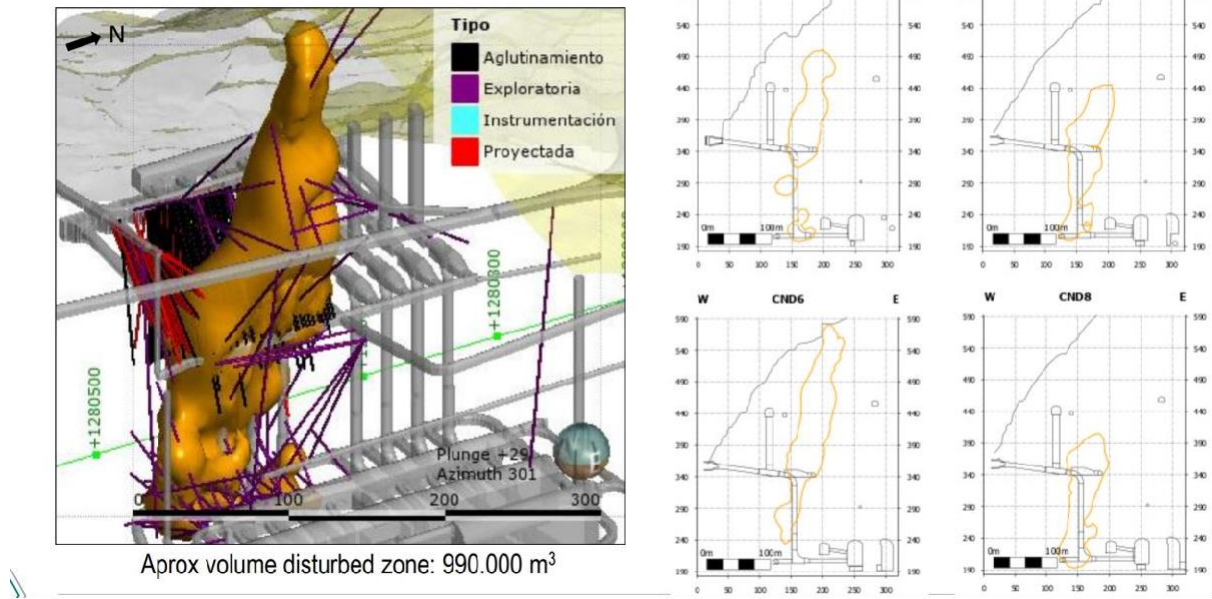


Figura 9: Delineación del "macizo rocoso perturbado"

La clave para evaluar el tratamiento del DRM requiere comprender el estado del macizo rocoso dentro de la zona; para eso, a su vez, se necesita analizar cuál fue el mecanismo de la falla.

La prueba superficial de los movimientos a gran escala es el deslizamiento de *El Romerito*, que se corresponde con la protuberancia superior del DRM. La figura 10 muestra el área de deslizamiento y la naturaleza progresiva de los movimientos. Asimismo, ilustra las dos principales características estructurales de la zona, las fallas de *Mellizo* y *Tocayo*. Las inspecciones subterráneas han revelado movimientos del orden de unos pocos centímetros asociados a la falla de *Mellizo*.

Se utilizaron los pozos 7 y 8, por un periodo de 7 días (del 12 al 19 de mayo) al inicio de la descarga de emergencia de mayo de 2018. Esos pozos aún no se habían revestido. Desde el comienzo de la descarga, se escucharon ruidos intensos en las profundidades, lo que indicaba claramente que se estaban produciendo derrumbes significativos a lo largo de los canales de agua. El 19 de mayo se interrumpió bruscamente el flujo, y el 26 de mayo se cerraron las compuertas de los pozos 7 y 8.

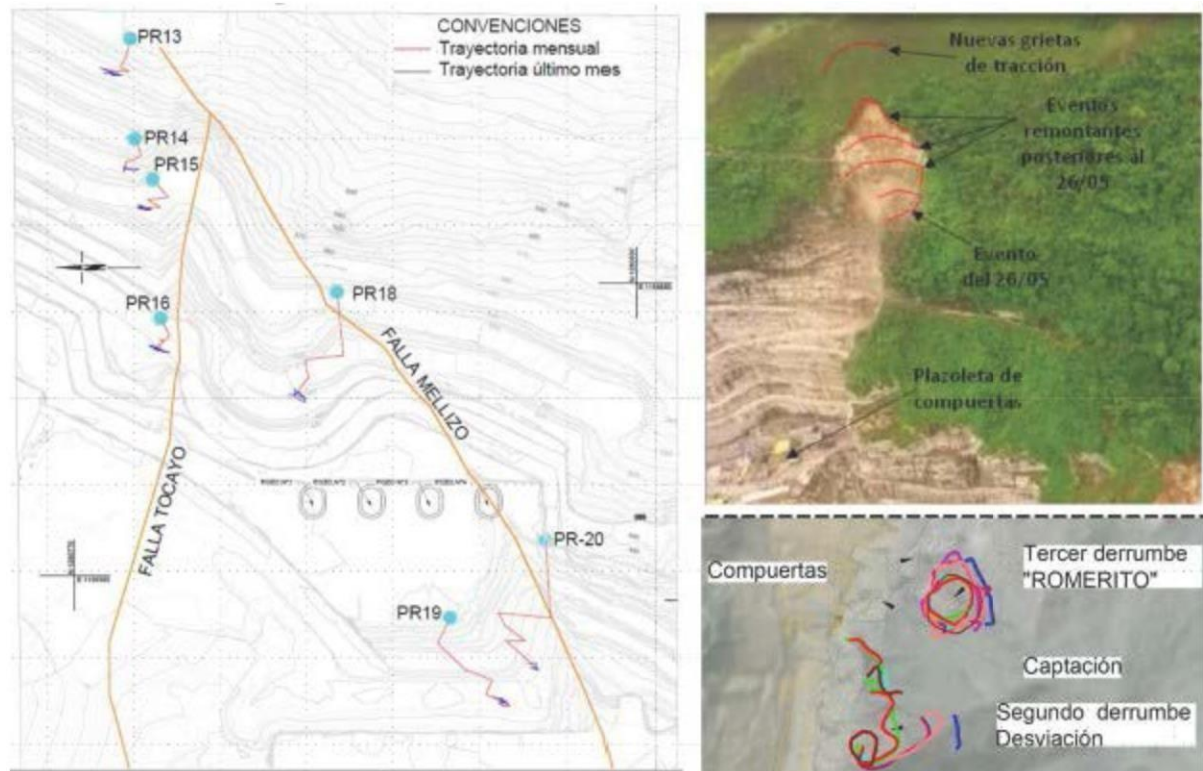


Figura 10: Deslizamiento de El Romerito, ubicado por encima de la protuberancia superior del DRM

Se espera que las intensas acciones dinámicas observadas en ese periodo relativamente corto tensionaran el macizo rocoso y provocaran una progresiva propagación de la perturbación hacia la superficie. Esto dejó vacíos en la parte inferior del DRM y en su parte superior cerca del derrumbe de *El Romerito*. Es probable que el resto del DRM haya experimentado dislocaciones de extensión máxima a lo largo de la falla de Mellizo y de extensión progresivamente reducida lejos de las porciones superior e inferior.

La presencia de vacíos se ha verificado con el extenso programa de perforación y lechada ejecutado en la zona del DRM. Se espera que dichos vacíos sean de una escala mucho menor que los encontrados en los pozos de presión 1 y 2. La figura 11 muestra imágenes de pozos en los que se pueden ver claramente los vacíos.

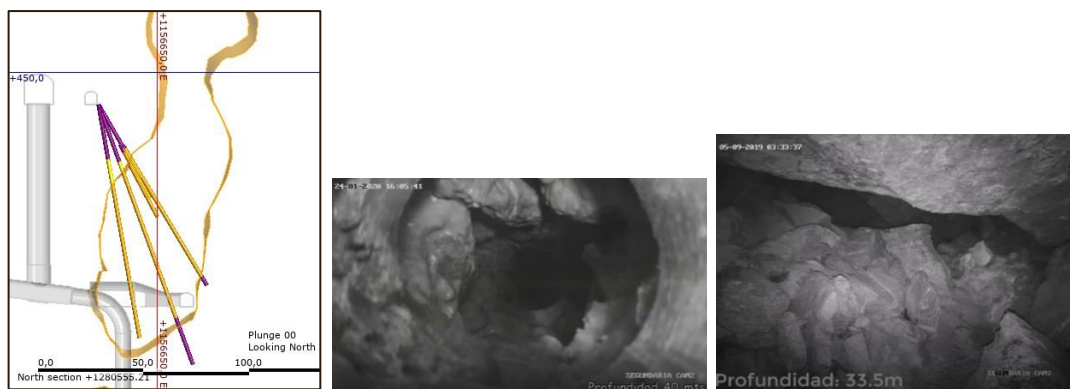


Figura 11: Vacíos dentro de pozos en el área del pozo 5

La lechada ha identificado zonas de diferentes niveles de consumo de lechada<sup>3</sup> (figura 12). Las absorciones superiores a 5 m<sup>3</sup>/m solo pueden asociarse con vacíos grandes, mientras que las absorciones de hasta 0,5 m<sup>3</sup>/m pueden indicar un macizo rocoso articulado de perturbación insignificante o menor.

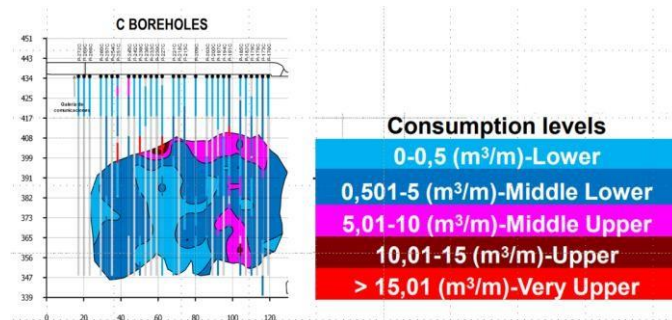


Figura 12: Absorciones de lechada en los pozos de investigación

Parece plausible que el mecanismo de falla, ciertamente asociado con las fuerzas dinámicas durante la descarga incontrolada de agua, pueda describirse como movimiento progresivo de la perturbación del macizo rocoso hacia arriba por efecto de la gravedad, hasta que los efectos alcanzaron el área de *El Romerito* y provocaron el deslizamiento de tierra.

El mecanismo de falla postulado tiene implicaciones en la naturaleza del DRM. Se espera que existan grandes vacíos en las partes superior e inferior del DRM. No se espera que tales vacíos se extiendan al resto del DRM, que debería presentar varios grados de perturbación, desde desintegrados en las proximidades de los vacíos, hasta bloqueados y muy bloqueados, con discontinuidades de aberturas variables: más abiertas en las proximidades de los bordes, más cerca en la parte interior y más vasta del volumen. La figura 13 ilustra un modelo conceptual del DRM basado en las consideraciones anteriores.

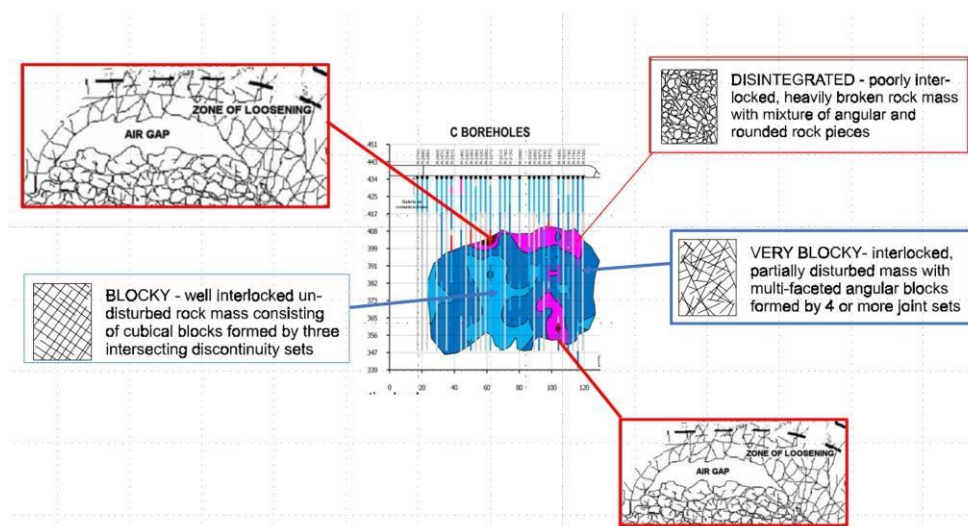


Figura 13: Modelo conceptual del macizo rocoso perturbado

<sup>3</sup> Cuando las absorciones de lechada se convierten en entradas de cemento, se obtienen cifras anormalmente altas. El IAP considera que las cifras dadas en m<sup>3</sup>/m deben revisarse. Sin embargo, los valores dados son útiles en términos relativos para identificar zonas donde se deben concentrar las medidas de lechada de consolidación.

El IAP está de acuerdo en que la inyección de lechada es la solución adecuada para tratar el DRM, con diferentes tecnologías:

- a) Lechada de compactación para rellenar vacíos grandes.
- b) Lechada de consolidación para zonas desintegradas a zonas con forma de bloques muy definida.
- c) Lechada de permeación para zonas con forma de bloques a zonas con forma de bloques muy definida.

Las técnicas a) y b) deben ser apropiadas para las "perturbaciones de contorno", es decir, grandes vacíos y rocas desintegradas. La técnica c) es apropiada para el núcleo del DRM .

La lechada de permeación debe realizarse de forma radial, desde el interior de los conductos del pozo mientras se rehabilitan. Dadas las inevitables incertidumbres asociadas con el volumen del DRM, el IAP recomienda adoptar patrones de inyección de lechada sistemáticos.

Para verificar la efectividad de la lechada, se planifica una serie de investigaciones geofísicas (figura 15). El IAP coincide en señalar que también se utilizarán sondeos inclinados. Se recogerá el núcleo de perforación y se realizarán pruebas de presión de agua.

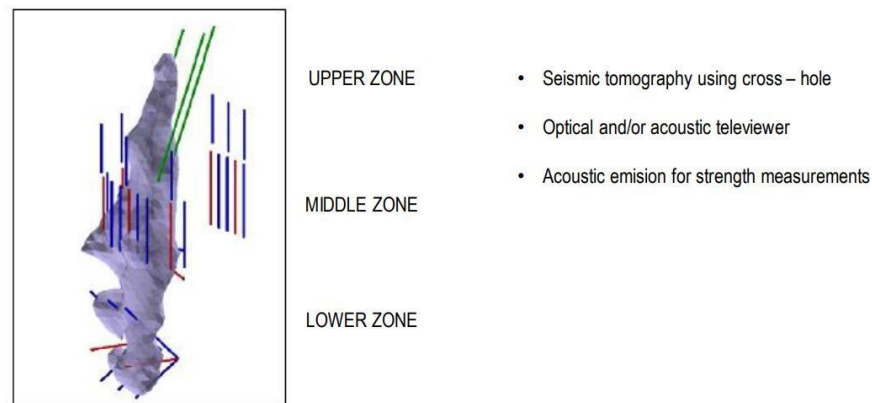


Fig. 15: Investigaciones geofísicas planificadas para evaluar la calidad de los trabajos de lechada

### 3.3 Complejo de cavernas: sala de máquinas y pozo de carga

La figura 16 muestra los avances en la recuperación y estabilización de las obras subterráneas, en comparación con la situación en abril de 2020.



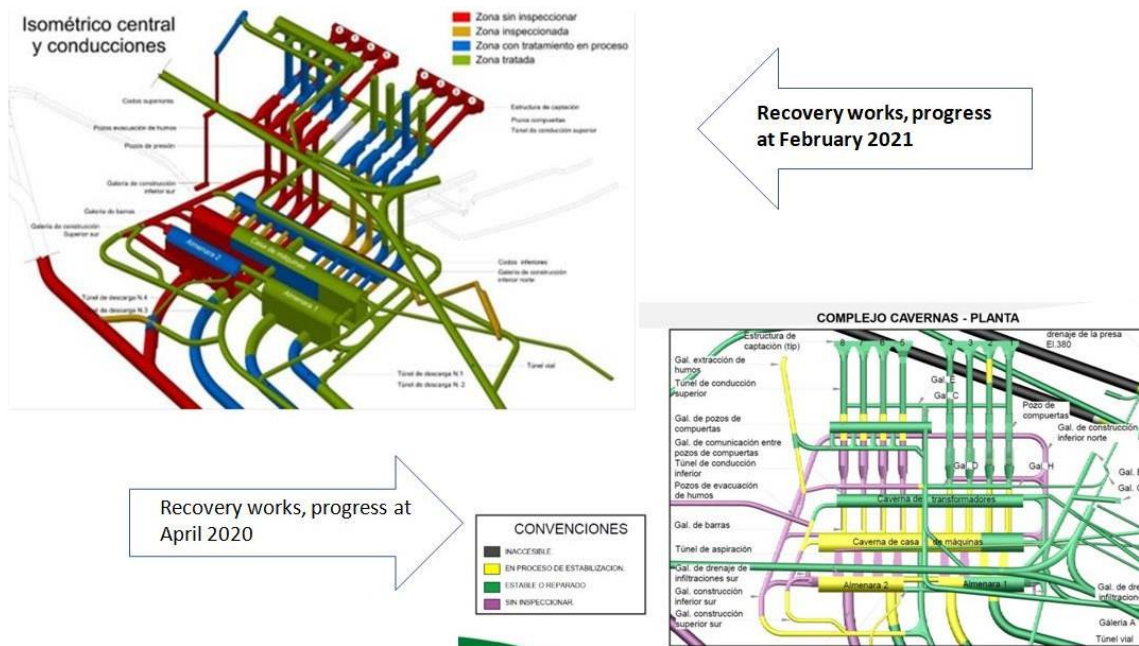


Figura 16: Recuperación y estabilización de la obra

La figura 17 muestra dos imágenes significativas de las actividades en curso.

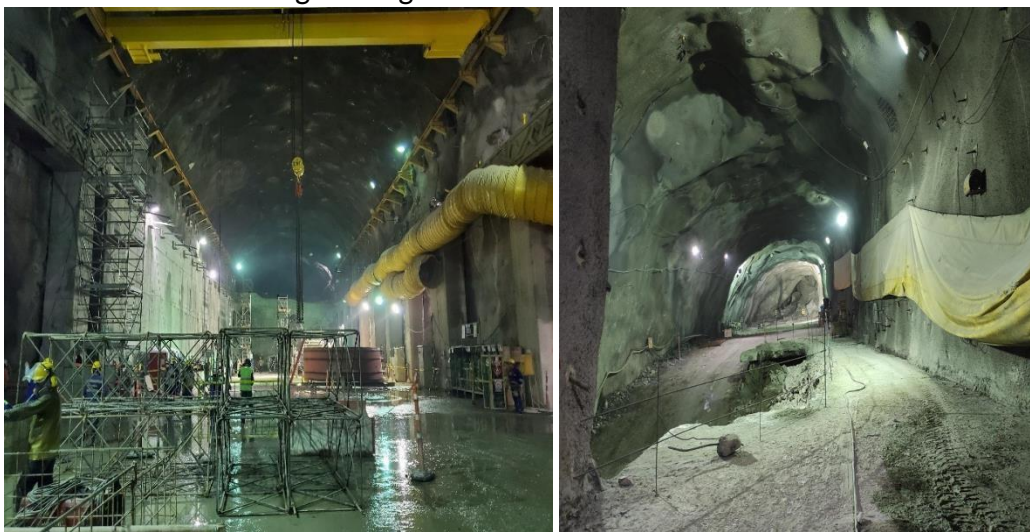


Figura 17: Sala de máquinas, nivel del generador (izquierda) y pozo de carga norte relleno (derecha)

El pilar entre el tanque de carga 1 y la caverna de energía, donde se produjo un gran derrumbe, se ha reconstruido, y los trabajos de tratamiento finales están en curso.

En la supervisión, se están obteniendo resultados que indican equilibrio. Pocos movimientos localizados se debieron a la influencia temporal de las obras de rehabilitación, y pronto se recuperó el equilibrio. Están en observación ciertas desviaciones leves en algunos instrumentos.

Las infiltraciones de agua siguen siendo notablemente bajas, a pesar de la proximidad del embalse, lo que indica una masa rocosa muy apretada lejos de las cavidades observadas. Es tranquilizador para la estabilidad a largo plazo del complejo subterráneo. El IAP reitera su recomendación

de perforar orificios para aliviar la presión en varios lugares alrededor de las aberturas permanentes, a fin de equilibrar rápidamente los aumentos de presión de agua durante la operación. Debido a la estanqueidad del macizo rocoso, solo se espera que los flujos de filtración menores alcancen el equilibrio.

Las observaciones hasta la fecha permiten confirmar que no se ha producido un fallo progresivo debido a la redistribución del estrés. Solo se produjeron varias fallas gravitacionales, estructuralmente controladas, pocas de ellas de gran tamaño. Estas estabildades locales se están tratando satisfactoriamente, y los huecos se rellenan completamente con hormigón. Mellizo y Tocayo, las dos fallas presentes en la zona de cavernas, no están activas y, por consiguiente, no se espera que afecten a la estabilidad de las obras subterráneas tras la aplicación de las medidas de refuerzo.

Hace poco, se ha hecho un análisis por elementos finitos de las aberturas subterráneas, y ha dado resultados satisfactorios en condiciones estáticas (figura 18).

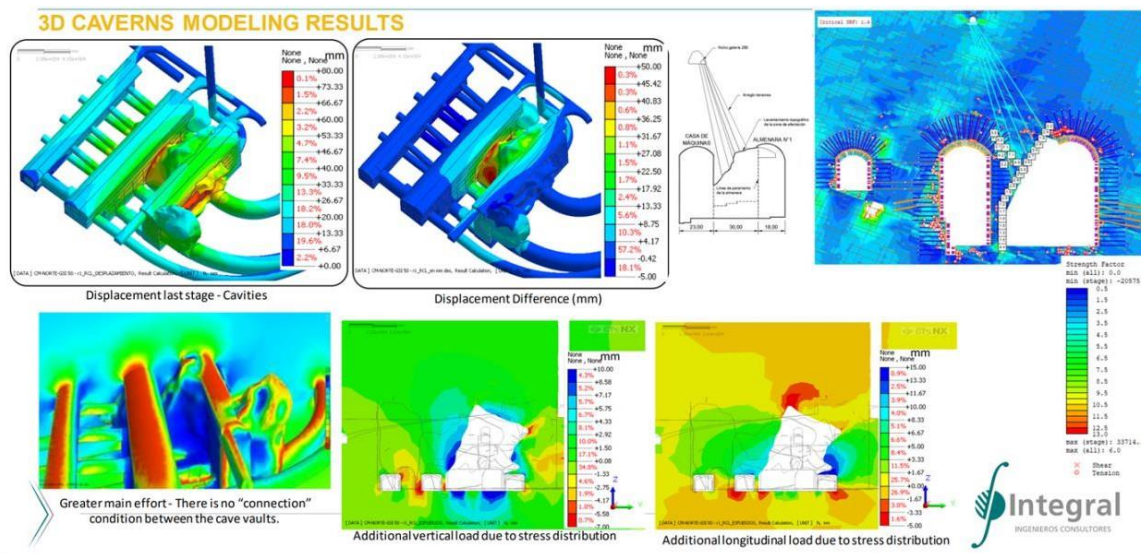


Figura 18: Obras subterráneas. Evaluación de estabilidad

También se investigó el comportamiento sísmico para estudiar las deformaciones cortantes en el macizo rocoso. De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 19, las deformaciones cortantes aumentan en la zona del DRM, pero no se extienden a lo largo del talud superficial, las fallas y las principales excavaciones subterráneas. Esto permite concluir que el complejo subterráneo es estable bajo acciones sísmicas.

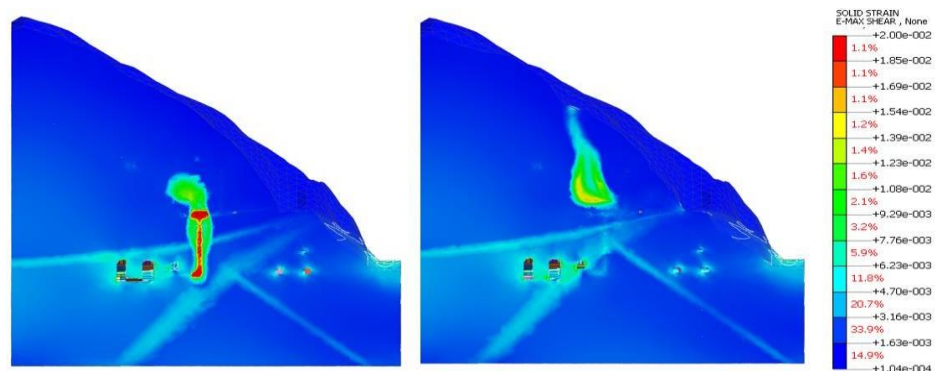


Figura 19: Deformaciones cortantes en el macizo rocoso en condiciones sísmicas

Una vez finalizadas las obras de reconstrucción, los espacios subterráneos estarán delimitados por roca sólida y rellenos de hormigón a gran escala. En las reuniones, se analizó la respuesta dinámica diferencial de tales estructuras bajo carga sísmica. El IAP observó que, por lo general, las cavernas subterráneas no presentan tales problemas porque todos los elementos tienden a moverse juntos. Solo las estructuras aisladas, como las columnas, pueden verse afectadas. Dicho esto, dada la naturaleza permanente y el tamaño de las cavernas, a EPM quizá le convenga consultar a la Junta de Asesores sobre la oportunidad de hacer un análisis de deformaciones inducidas bajo acciones sísmicas.

### 3.4 Galería de descarga intermedia (IDG)

No hay aspectos geotécnicos significativos de los que informar. El alcance del IDG es garantizar las liberaciones en flujo cuando:

- el embalse está por debajo del nivel del aliviadero, Y
- la generación deja de funcionar.

Las dificultades para abrir la entrada de la IDG, a una presión de agua de más de 140 m, han llevado a la decisión de desconectar el agua de las elevaciones más altas, a lo largo de los canales de agua de la entrada de alimentación.

Se estudiaron varias alternativas, de las cuales se seleccionó la que conecta los pozos de presión 3 y 4 con el IDG (figura 20).

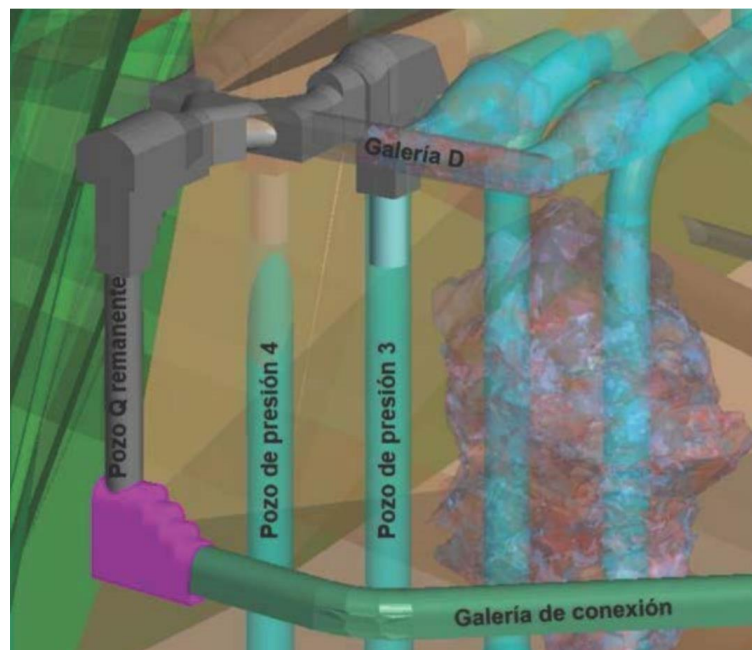


Figura 20: Solución con el IDG adoptada de los pozos 3 y 4

La solución se estudió con el software CFD (Computational Fluid Dynamic) para examinar el comportamiento hidráulico de las bifurcaciones y las uniones del sistema. Después de estudiar varias configuraciones, en diferentes condiciones de funcionamiento, se eligió una bifurcación



con un diámetro de 5,4 m. Se desarrollarán manuales de operación, y se harán bloqueos electrónicos (o mecánicos) para evitar un mal funcionamiento.

### 3.5 Represa

Los asentamientos registrados siguen siendo muy pequeños y más bajos en comparación con otras represas de este tipo y altura. Los desplazamientos del lado corriente abajo de la represa se supervisan con el radar interferométrico SAR-X. Tras finalizar la construcción de la presa, las tasas de estos desplazamientos tienden a disminuir con el tiempo y nunca fueron altas.

No hay desplazamientos registrables del control satelital de julio a diciembre de 2020. Los extensómetros magnéticos muestran asentamientos verticales estables. Estos instrumentos mostraron variaciones por debajo del rango de precisión de los dispositivos (2,5 a 10 mm) desde el fin de la construcción de la represa.

Las celdas de asentamiento y las celdas de presión total confirman el buen rendimiento de la represa. Las deformaciones calculadas y medidas continúan indicando una buena correspondencia.

Los piezómetros de cimentación indican un buen rendimiento de la cortina de lechada, con bajas elevaciones de la línea piezométrica. Las variaciones en las lecturas de algunos piezómetros en el encadenamiento 400 se han atribuido a la inyección de lechada realizada desde la galería 250 MI y hacia la cortina profunda. En la sección del cap. 330, dos piezómetros muestran niveles que implicarían un flujo en la dirección corriente arriba (figura 21). Dado que no puede ser real, se debe realizar una verificación.

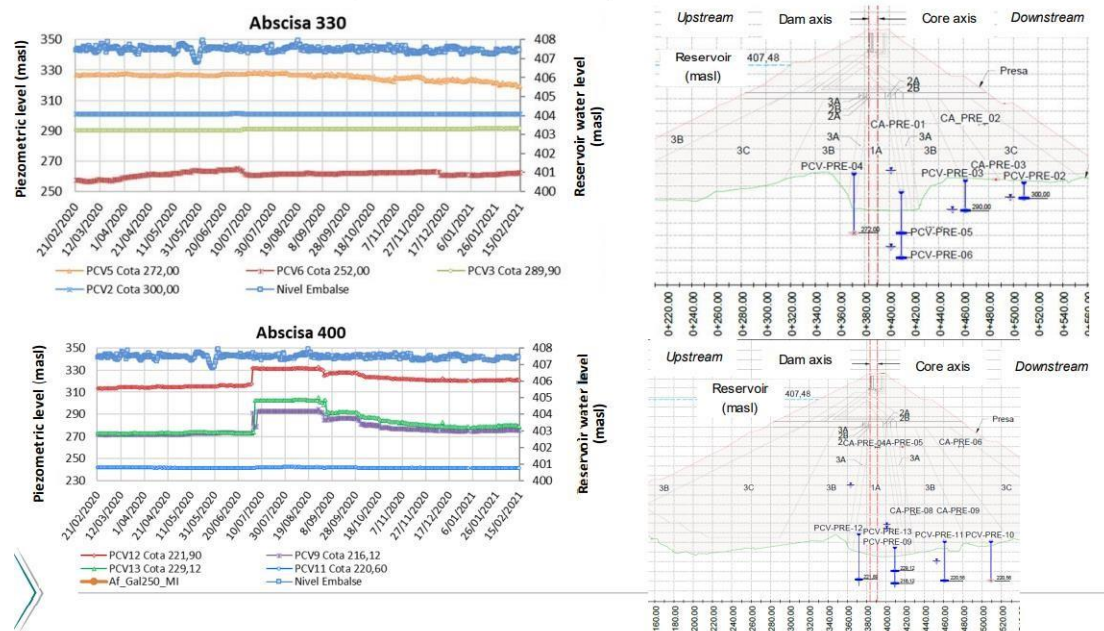


Figura 21: Piezómetros de cimentación

Los piezómetros en el cuerpo de la represa muestran un buen comportamiento en relación con el nivel del embalse (figura 22). No se observaron cambios anormales que pudieran estar asociados con deficiencias de la zona de transición al lado del núcleo o la integridad del núcleo



entero. Una anomalía hallada en las lecturas de uno de los piezómetros volvió a la normalidad (figura 22). Las lecturas piezométricas también indican un buen rendimiento del relleno prioritario (figura 23).

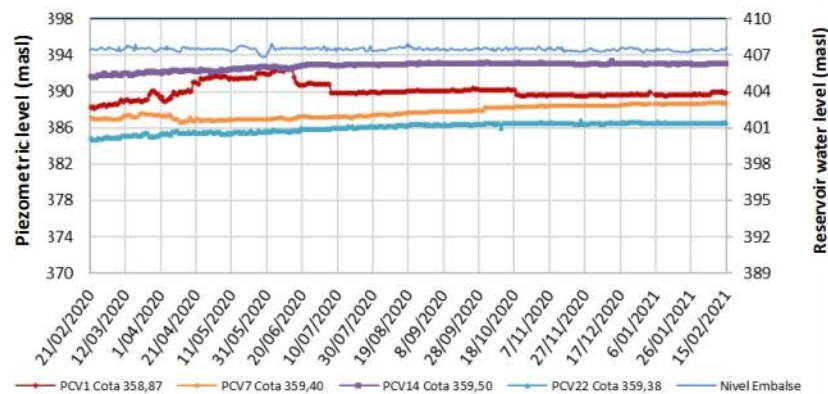


Figura 22: Piezómetros corriente abajo del núcleo impermeable

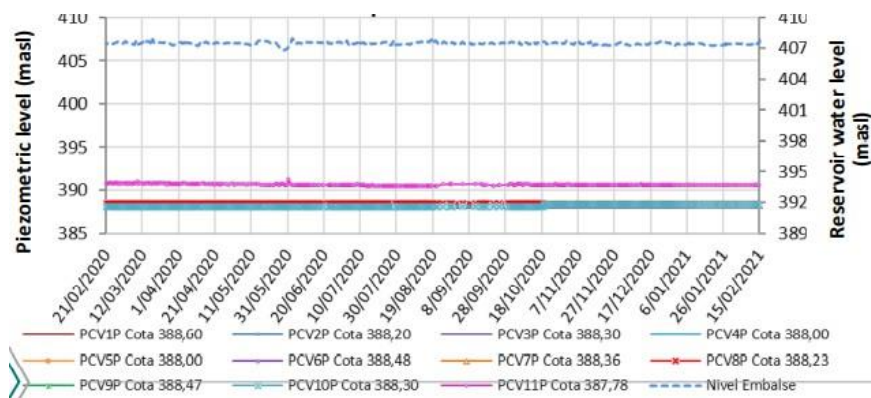


Figura 23: Lecturas piezométricas corriente abajo del llenado prioritario

Como se muestra en la figura 24, las tasas de filtración a través del cuerpo de la represa son muy bajas. Filtración reducida de 40 a 2,9 l/s tras la construcción de la pared del diafragma. Otra prueba de la eficacia del diafragma. El 23 de febrero se registró una tasa de 2,9 l/seg, con nivel de embalse a 407, 31 msnm.

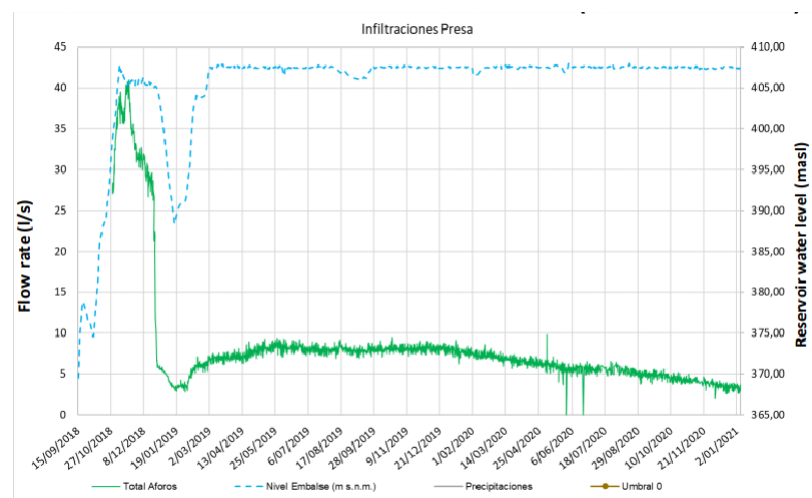


Figura 24: Tasas de filtración y niveles de embalse

En el estribo izquierdo, donde se hizo una inyección de lechada adicional, la filtración general es de aproximadamente 45 l/seg. En ausencia de turbidez, el IAP considera aceptable el caudal registrado. En el estribo derecho, la filtración total subió gradualmente a 100 l/s desde octubre de 2020, que es más alta de lo que se informó anteriormente (figura 25). El diseñador debe evaluar la situación para determinar si se requiere una inyección de lechada más. La evaluación debe considerar la distribución espacial de las ubicaciones de filtración, es decir, localizadas o distribuidas.

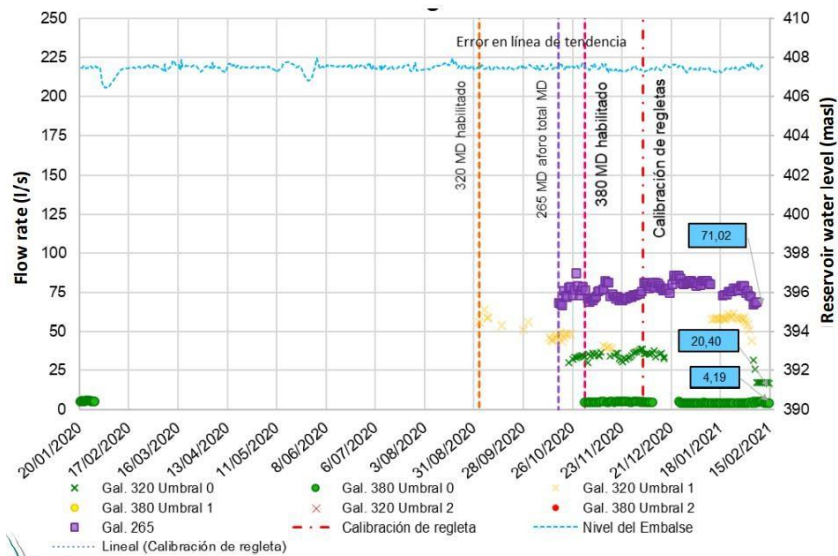


Figura 25: Caudales de filtración en el estribo derecho

### 3.6 Piscina del aliviadero

El sistema de monitorización sigue mostrando un rendimiento satisfactorio del talud. La geometría de la piscina de inmersión está diseñada para funcionar durante la vida del proyecto, y no hay evidencia de que haya condiciones anormales. A partir de los datos existentes, el macizo rocoso en la piscina es sólido con pocas discontinuidades principales. El IAP está de acuerdo con el programa de monitoreo de las pendientes y alrededores de la piscina de inmersión, que debe ser permanente. Los desplazamientos desde los inclinómetros están por debajo de los previstos. La forma de los movimientos, que se muestra en algunos de los gráficos del inclinómetro, no se puede atribuir al desplazamiento del suelo porque los movimientos no deben comenzar desde la parte inferior de la tubería del inclinómetro. Es probable que sean imputables a razones exógenas (figura 26).

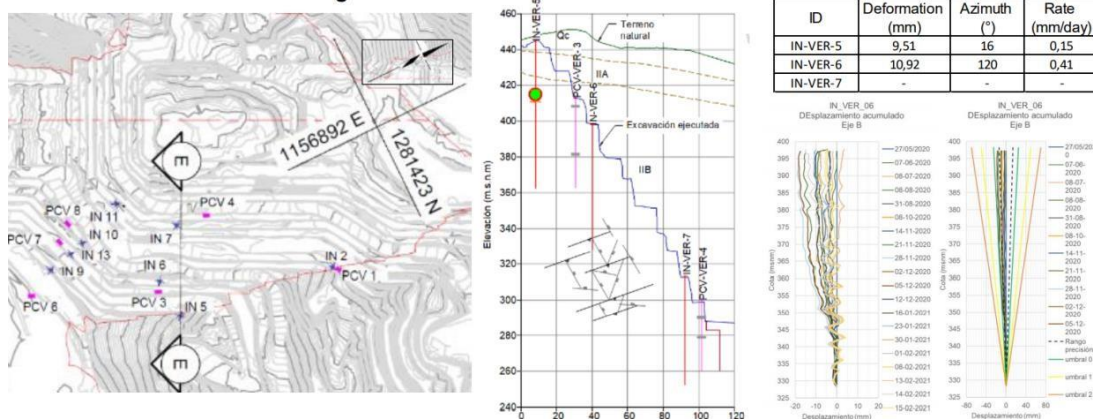


Figura 26: Inclinómetros de piscina de inmersión, sección E

Se han hecho análisis de erosión y estabilidad para evaluar los efectos que la erosión progresiva de la piscina podría tener en las pendientes (figura 27).

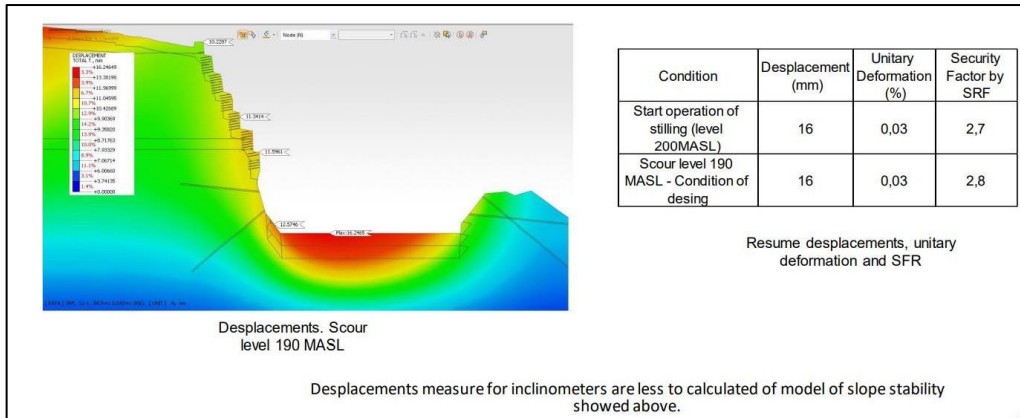


Figura 27: Estabilidad de pendientes, sección B-B

Los orificios perforados en las proximidades del borde de la piscina de inmersión no indican un fregado excesivo. Sus núcleos muestran un macizo rocoso de buena calidad (figura 28).

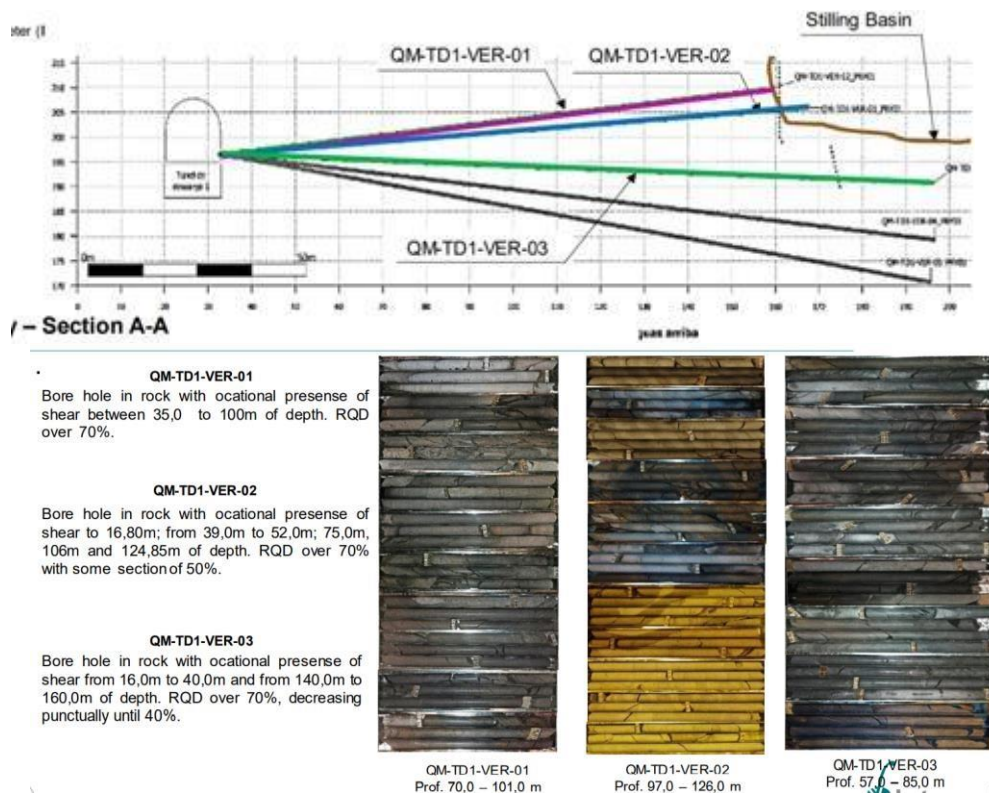


Figura 28: Calidad del macizo rocoso en el área de la piscina de inmersión

### 3.7 Estabilidad de la pendiente del estribo derecho

Esta es la pendiente sobre la plataforma de las entradas, incluyendo el área de derrumbe de *Romerito*. Los trabajos de excavación y estabilización de la parte alta de la pendiente, hasta la cota de 570, están casi terminados (figura 29). La instrumentación continúa mostrando un rendimiento general satisfactorio de la pendiente (figura 30).



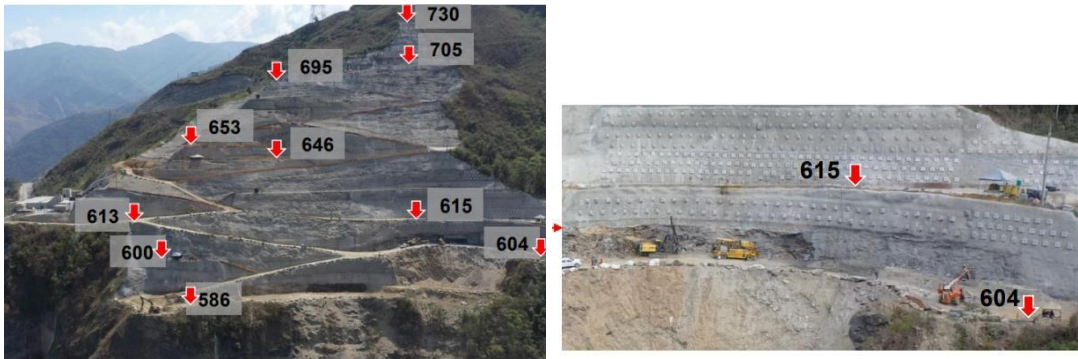
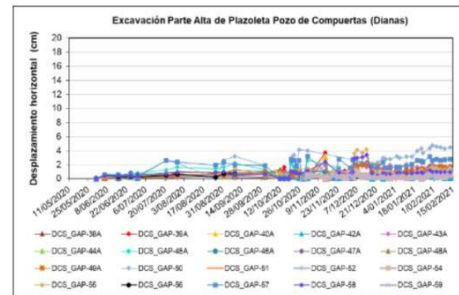
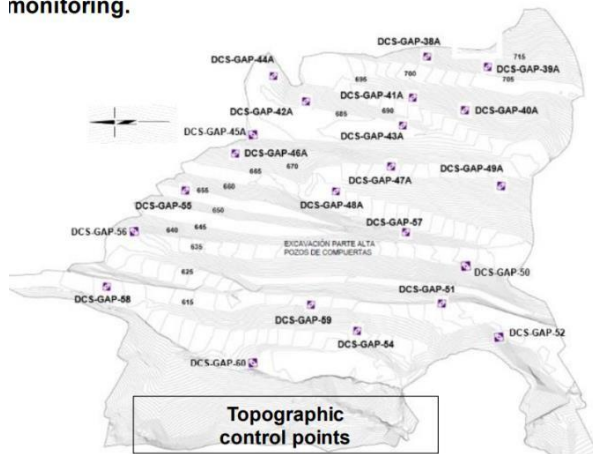


Figura 29: La parte alta de la pendiente sobre la plataforma de la entrada

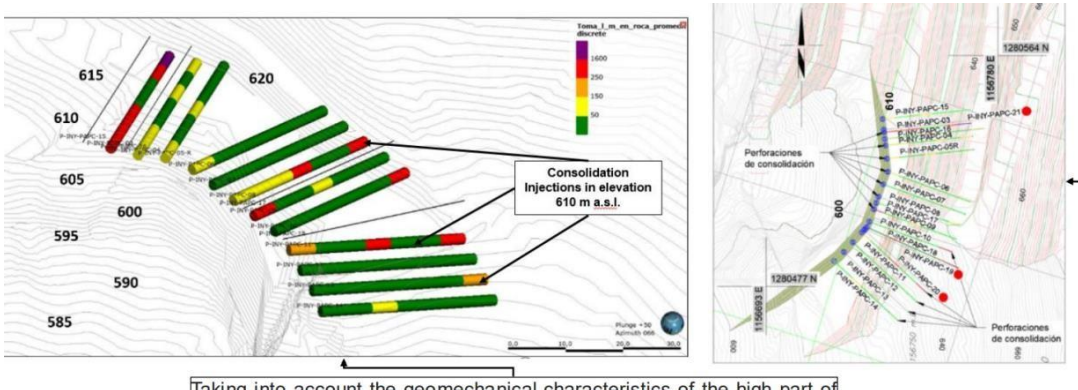
monitoring.



- The displacement readings are within the precision range of the instrument, with a stability trend since December 21, 2020.
- The fisurometers installed in this sector don't show an increase for the month of February.

Figura 30: Pendiente por encima de las entradas. Monitorización topográfica

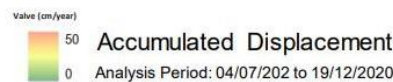
A partir de la información disponible, la zona de falla de Romerito no muestra ninguna evolución regresiva de los acontecimientos pasados. Además de los anclajes, se contempla la inyección de lechada de consolidación para reforzar el borde de la cavidad que se caracteriza por un macizo rocoso débil con zonas cortantes (figura 31). El IAP considera que el anclaje puede ofrecer fuerzas estabilizadoras efectivas, y la inyección de lechada ofrecerá una mayor seguridad. Se deben ofrecer medidas de drenaje para limitar el acceso de las aguas superficiales, desde las pendientes superiores, al borde de la cavidad.



Taking into account the geomechanical characteristics of the high part of the gate shaft platform towards the elevation 610 m.a.s.l. The consolidation injections are proposed by the method of successive thickening with type A to F grouts to increase the properties in this sector.

Figura 31: Lechada de consolidación del borde de Romerito

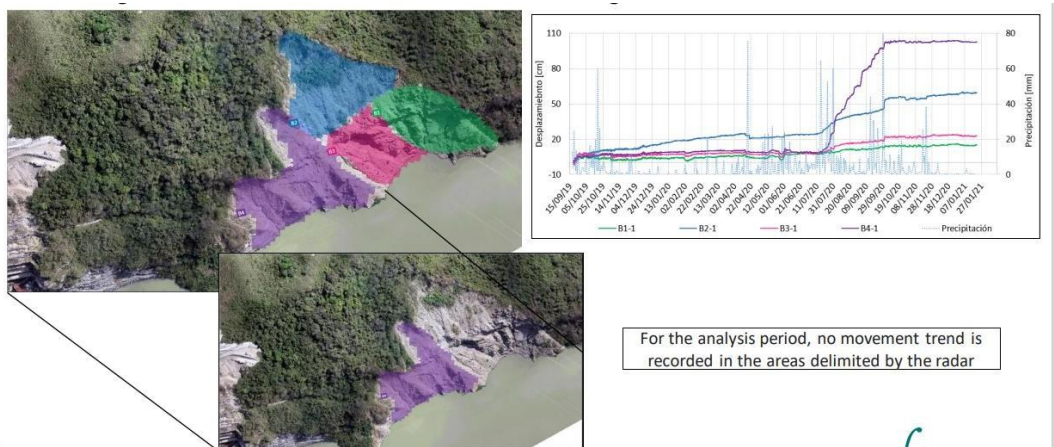
El examen satelital del área mostró algunos desplazamientos acumulados en la parte inferior corriente arriba de las pendientes (figura 32). La morfología de esta ubicación no es favorable al desplazamiento. Se recomienda instalar monumentos de superficie para seguir la evolución de los movimientos.



**Figura 32:** Examen satelital, de julio a diciembre de 2020.  
Los puntos rojos representan el desplazamiento acumulado de hasta 4 cm.

### 3.8 La pendiente más corriente arriba al sur de Romerito

Esta pendiente está situada sobre las obras de desviación perturbadas por el deslizamiento de tierra en mayo de 2018. La pendiente muestra un desprendimiento de material de la superficie desde la parte superior, por el lado izquierdo visto desde el embalse. Estos desprendimientos, que corresponden a una regresión de los límites de la zona perturbada, se han detectado mediante monitorización por radar (figura 33).

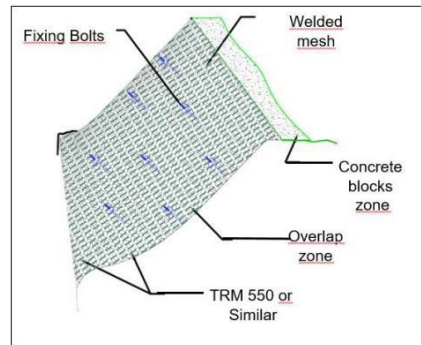
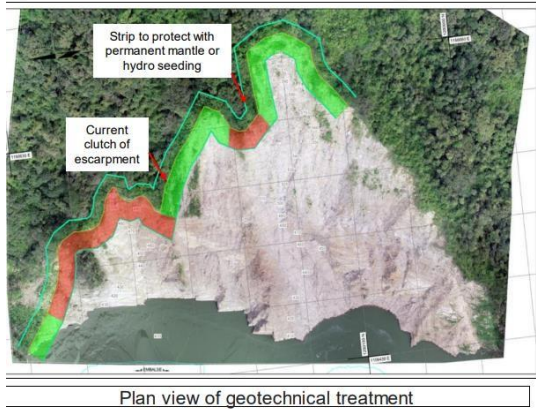


**Figura 33:** La pendiente del lado derecho corriente arriba. Monitorización por radar.

Para que no progresen estos desprendimientos, se prevé una cinta de red soldada anclada e hidrosiembra, para proteger la corona de la pendiente perturbada (figura 34). El IAP encuentra las medidas adecuadas, con la adición de una zanja de drenaje a lo largo del límite superior de la pendiente erosionada.



### Geotechnical Treatment Measures.



The geotechnical support for this zone is compound by fixing bolts, welded mesh and a permanent mantle before the hydro seeding.

Figura 34: La pendiente del lado derecho corriente arriba. Medidas de tratamiento

La monitorización por radar reciente muestra que toda la masa perturbada se encuentra estable. Sin embargo, la presencia de secciones cóncavas y el examen satelital, que indica varios "puntos rojos" posiblemente asociados con desplazamientos (figura 35), indican que la erosión aún podría progresar dentro de la pendiente perturbada. Esto podría darse a causa de una tormenta y poner en riesgo toda la pendiente al socavarla. El IAP recomienda que monitorizar la superficie con una interpretación permanente de las mediciones.



Figura 35: La pendiente del lado derecho corriente arriba. Examen satelital. Los puntos rojos se corresponden con desplazamientos.

### 3.9 Otras características de estabilidad de pendientes

La investigación in situ está en curso entre el km 900 y 1+300 de la carretera de desvío en el lado izquierdo del embalse. Los lechos del esquisto gneísico se sumergen en la pendiente en sus partes altas, lo cual es favorable. Al mismo tiempo, la morfología del área indica un potencial de falla de la pendiente rotacional. Los tres inclinómetros, aunque relativamente cercanos entre sí, muestran grandes diferencias en la profundidad de la superficie de deslizamiento: 12 - 24,5 - 45,5 m respectivamente. Se informa que los pocos piezómetros no han encontrado agua subterránea (figura 36).

El IAP cree que se debe instalar instrumentación adicional y hacer un análisis de estabilidad paramétrica usando propiedades razonables del suelo. Se deben mapear los signos superficiales de roturas/grietas por tensión.

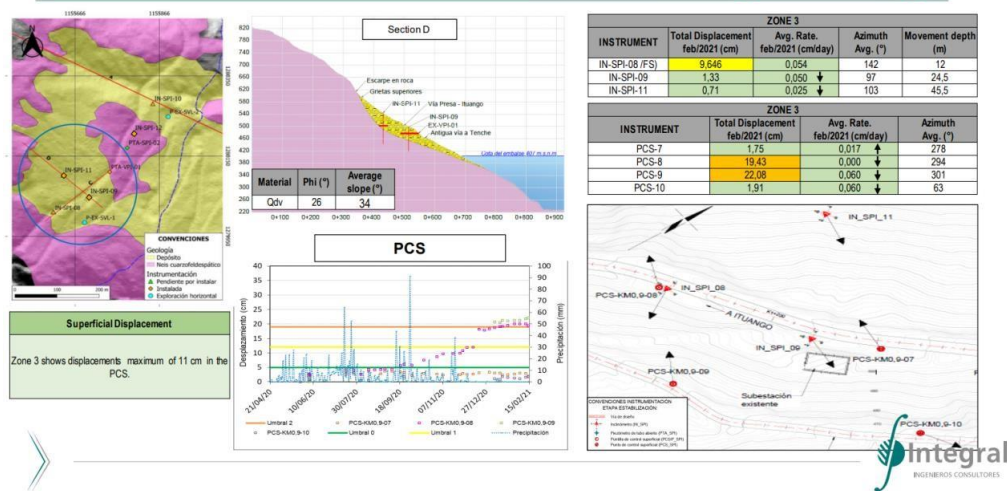


Figura 36: Lado izquierdo del embalse. Área de estabilidad cuestionable, 0+900 – 1+300

El IAP está de acuerdo con las medidas de refuerzo en curso, que cuentan con el anclaje de la pendiente sobre la carretera inferior, que conserva la superior (figura 37). Se debe prever una zanja de drenaje para interceptar y drenar el agua superficial de las áreas inestables.



Figura 37: Obras en curso para refuerzo de las pendientes

#### 4. EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS

##### 4.1 Equipos instalados en el complejo de cavernas

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

- Galería de transformadores (esta y las galerías de cables recibieron numerosas visitas en septiembre de 2019).

- 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).
- Pozo de carga norte (el mismo pozo de carga norte y el pozo de carga sur recibieron visitas en septiembre de 2019).

Una evaluación completa de los daños a la mayoría de los equipos electromecánicos ya 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. Esta 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 si no se hubiera reemplazado completamente.

Dicha decisión dio sus frutos, porque los "Presupuestos" para 2021 (anexo B) muestran la cantidad significativa recibida por los seguros (alrededor de 1000 millones de COP).

En el momento de la visita virtual de mayo de 2020, los transformadores todavía estaban en su lugar. Ahora todos ellos se han eliminado, y los primeros 4 ya están colocados en su posición final.



Figura 38: Dos transformadores monofásicos 3 y 4

EPM está instalando actualmente 6 transformadores del suministro original de 25 transformadores monofásicos que son suficientes para las dos primeras unidades.

Los otros 19 ya se han adquirido; 7 de ellos se encuentran actualmente en el puerto en Colombia, mientras que 6 se esperan para julio de 2021 y los 6 restantes para septiembre de 2021. El suministro y la instalación de los transformadores no están en la ruta crítica.

Se compraron los 11 cables monofásicos de alta tensión dañados; 5 ya están in situ, y los restantes llegarán en el segundo o tercer trimestre de 2021. Su entrega e instalación no están en la ruta crítica.





Figura 39: Obras civiles en curso en la galería de cables antes de la instalación de bandejas portacables y cables



Figura 40: Instalación continua de soportes de rieles de grúas aéreas

Las nuevas grúas aéreas de 2 x 300 toneladas ya están in situ, y la instalación de los soportes ferroviarios está en curso. La grúa se instalará a finales de marzo de 2021, principalmente, para respetar el compromiso con los financiadores, y no porque se encuentren actualmente en la ruta crítica. De hecho, mientras tanto, EPM está utilizando grúas móviles y una sobrecarga temporal de 25 ton.

A finales de 2019, las partes más bajas de las unidades 1 a 4, y, finalmente, los hormigones correspondientes de primera y segunda fase se consideraron inadecuados para cualquier acción correctiva. Por lo tanto, la rehabilitación de las unidades 1 a 4 comenzó desde la primera fase de hormigón.

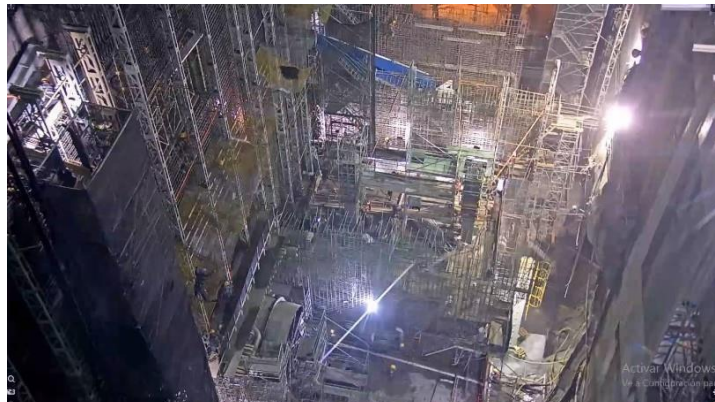


Figura 41: Actividades de construcción e instalación de la unidad 1

Las actividades de construcción e instalación de la unidad 1 están en curso, aunque el concreto de obra civil tuvo que comenzar aproximadamente 20 m por debajo de la parte más baja del tubo de aspiración para la cavidad que se evidenció después de retirar el concreto de primera fase. Como resultado de la evaluación negativa de la unidad 3 y 4, EPM decidió volver a la secuencia original para la operación comercial, procediendo de 1 a 4. La unidad 1 será la primera en entrar en funcionamiento.

Las actividades de construcción e instalación de la unidad 2 están en curso, en paralelo a las de la unidad 1, con cierto retraso.



Figura 42: Actividades de construcción e instalación de la unidad 2

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



Figura 43: Demolición de hormigones de las unidades 3 y 4



Figura 44: Muelle de carga y túnel de acceso visto desde la sala de máquinas sur



Para ejecutar actividades en paralelo, EPM emplea los muelles de las unidades 5 y 6, temporalmente rellenos, como muelles de carga adicionales.



*Figura 45: Muelle de carga y muelles de las unidades 5 y 6 empleados como muelles de carga adicionales*

EPM decidió sustituir la estructura original de hormigón armado de la sala de control por una estructura de acero más rápida de construir (figura 46).



*Figura 46: Obras civiles en la zona de la sala de control norte*

La figura 47 resume el alcance del suministro del contrato de GE que tiene por objeto reintegrar los equipos electromecánicos perdidos con la contingencia.

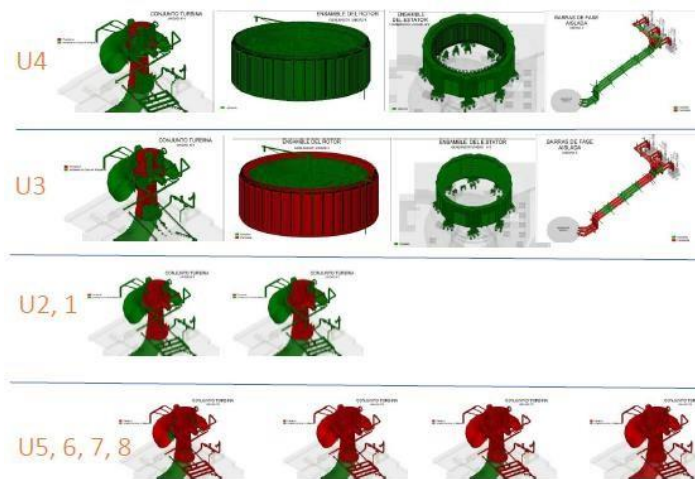


Figura 47: Alcance del suministro del contrato de GE

La mayoría de los equipos electromecánicos de las unidades 5 a 8 están presentes en el almacén de EPM, y se espera que los tubos de aspiración se entreguen a tiempo. Por este motivo, es posible afirmar que, a partir de febrero de 2021, se ha asegurado el suministro y entrega al sitio de equipos electromecánicos para la instalación y puesta en marcha de las unidades 1 a 4, y que ya no suponen un problema para el proyecto.

Las siguientes dos imágenes muestran el progreso en los tubos de aspiración de las unidades 1 y 2, la única instalación electromecánica en curso.

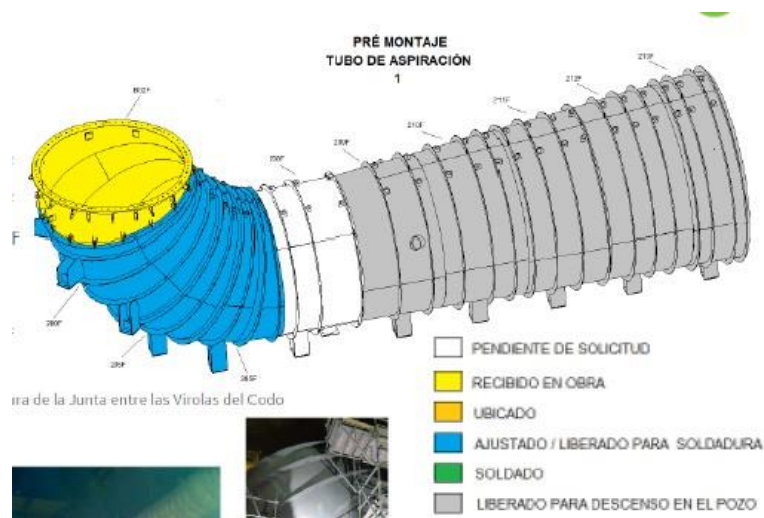


Figura 48: Tubo de aspiración de la unidad 1 (la parte gris ya está en su sitio)

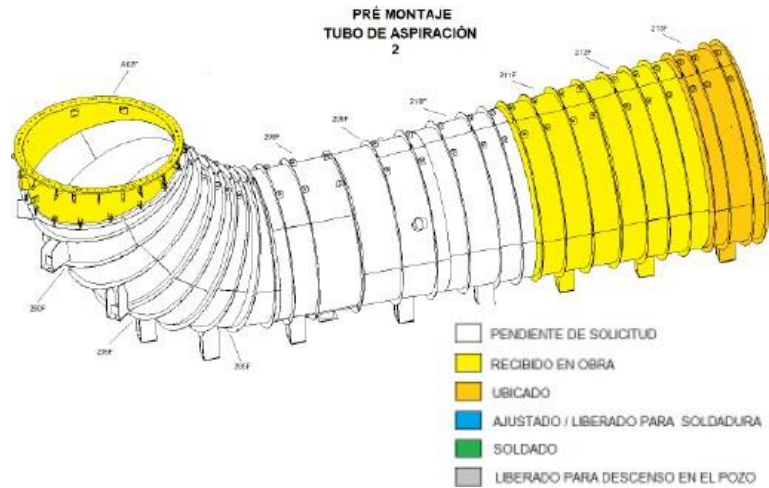


Figura 49: Tubo de aspiración de la unidad 2

También está en curso la instalación de las guías de las compuertas de los tubos de aspiración (figuras 50 y 51).



Figura 50: Instalación en curso de las guías de compuertas de tubos de aspiración en el pozo de carga norte



Figura 51: Compuertas de tubos de aspiración (archivo, fotografía tomada antes de mayo de 2018)



#### 4.2 Resumen de progreso de adquisición

El informe n.º 4 del IAP detalla todos los pedidos realizados a mayo de 2020 para restablecer el suministro electromecánico de Ituango por completo. En diciembre de 2020, se firmaron varios contratos restantes, a saber, para las compuertas de tubos de aspiración (con ATB), los sistemas de refrigeración y drenaje, la ventilación y el sistema de aire acondicionado y extinción de incendios. En el mismo mes de diciembre de 2020, se anunciaron los paquetes adicionales, a saber: cables de LV y C&I, bandejas portacables y conductos, elevador de potencia.

#### 4.3 Patio de maniobras de GIS de 500 kV

Se completó el patio de maniobras de 500 kV. Habrá que reinstalar varios cables de alta tensión y la mayoría de los 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. Los trabajos de estabilización se realizaron en la pendiente por encima del área del patio de maniobras (figura 52).



Figura 52: Las obras de estabilización [patio de maniobras en la esquina inferior izquierda, archivo]

#### 4.4 Compuertas de entrada de alimentación

Según los informes, las actividades en las compuertas de entrada y sus sistemas operativos están casi terminadas.

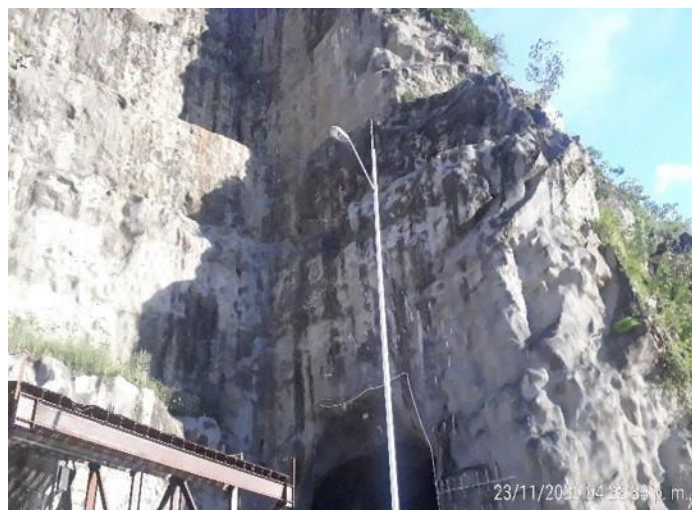


Figura 53: Compuertas de admisión, instalación de iluminación final en el área externa

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

Equipos hidromecánicos	Progreso de la instalación y las pruebas	Observaciones
<p><b>Compuertas de entrada</b> Compuertas corredizas de altura, 5,03 x 6,87 m, con ataguías. Funcionamiento: servomotores oleo dinámicos.</p>	<p>Ahora se puede acceder al área de manera segura, y se instala una protección física adicional sobre el foso y la caja de control de las unidades 1 a 4. Instalación casi completada.</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>

#### 4.5 Revestimiento de acero de los pozos verticales

El diseño original preveía el revestimiento de acero solo en la sección horizontal de las tuberías forzadas entre el codo inferior y la caja en espiral de las unidades. 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. Mientras tanto, se facilitó el acceso al revestimiento de acero del codo inferior de las unidades 1 y 2, y comenzó la reparación.



Figura 54: Codo inferior, reparación del revestimiento de acero



Figura 55: Codo inferior, prueba de revestimiento de acero



*Figura 56: Codo inferior, fabricación de elementos de revestimiento de acero*

El IAP recomendó la adopción de un revestimiento de acero autoportante y dúctil. EPM actuó con rapidez, para evitar retrasos de programación en la puesta en marcha y firmó el contrato correspondiente en 2019.

Las actividades se desarrollaron con relativa fluidez. El taller ya ha finalizado, la producción de prueba está en curso y, en particular, todas las placas de acero para la fabricación de las compuertas ya se encuentran in situ.



*Figura 57: Taller ATB completado*



*Figura 58: Una de las primeras secciones de revestimiento de acero probada y lista para ser instalada*



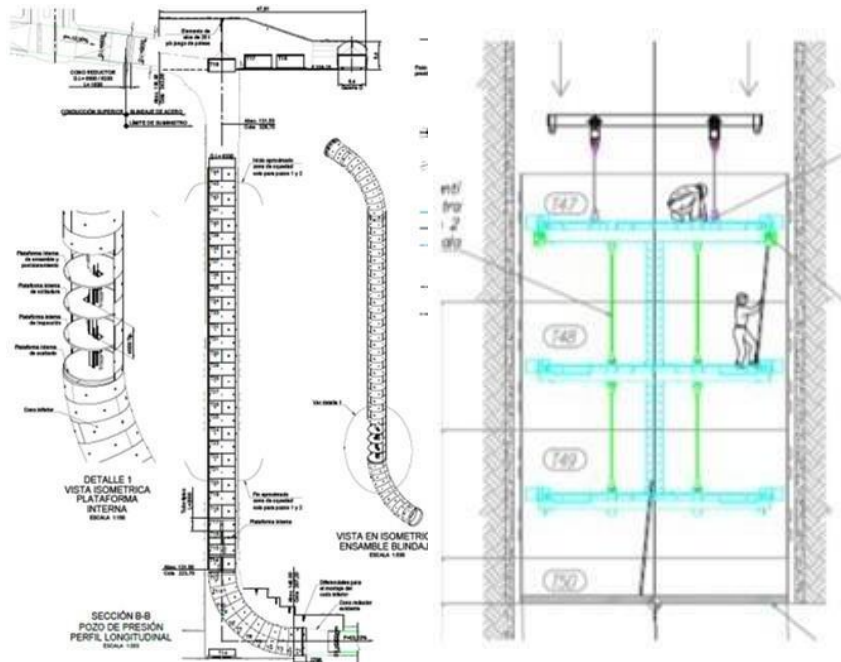


Figura 59: Método de instalación de las compuertas (izquierda), plataforma de instalación (derecha)

#### 4.6 Compuertas 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 en estos momentos), y los sistemas de elevación y las grúas se retiraron. Se instalaron dos derivaciones temporales para aliviar la presión del embalse en las compuertas y para aumentar aún más la seguridad cuando se construye 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 60: Compuertas de GAD en su posición final con sistema de derivación directa temporal (izquierda) y a través de la IDG (derecha)

#### 4.7 Aliviadero y compuertas de la IDG

La siguiente tabla resume los comentarios del IAP sobre las compuertas del aliviadero y de la IDG. EPM no informó ningún problema de funcionamiento para el equipo ya instalado y operado.

Equipos hidromecánicos	Progreso de la instalación y las pruebas	Observaciones
<p><b>Compuertas del aliviadero</b> Cuatro compuertas radiales (dos con solapa para escombros) 15 m x 19,50 m Capacidad de descarga acumulada: 22 600 m<sup>3</sup>/s (PMF) 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. Prueba del generador diésel completada.</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. Las estadísticas muestran que la confiabilidad de los generadores diésel en caso de eventos excepcionales es menor de lo esperado.</p>
<p><b>Compuertas de la galería de descarga intermedia</b> Dos compuertas radiales + dos compuertas corredizas de emergencia Tamaño: 3 m x 3,90 m (compuertas radiales) Capacidad de ajuste: 750 m<sup>3</sup>/s con ambas compuertas en funcionamiento para toda elevación del embalse superior a 350 msnm Funcionamiento: servomotores oleodinámicos, control único y estaciones oleo dinámicas 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>Las condiciones de funcionamiento esperadas, es decir, 450 m<sup>3</sup>/s podrán ser reducidas por la Autoridad Ambiental.</p>

### 5. FINALIZACIÓN DEL PROYECTO: CRONOGRAMA E IMPLICACIONES DE COSTES

#### 5.1 Avance de la recuperación de obras subterráneas

El esquema que se muestra en la figura 61 proporciona una instantánea del progreso de los trabajos de reparación y recuperación en el complejo de cavernas de la sala de máquinas. Se puede observar lo siguiente:

- Las tomas 1 y 2 aún requieren trabajos de finalización complejos (rojo).
- El resto de los canales de agua y estructuras subterráneas asociadas con las unidades 1 y 2 se han reparado o recuperado (verde) o están en proceso de estabilización (azul); las porciones seleccionadas se reevaluaron para tratamientos adicionales.
- La sala de transformadores, completamente recuperada hace un año, tal y como se informó, se está sometiendo a tratamientos adicionales (azul).
- Los trabajos de recuperación relativos a las unidades 1 y 2 se han retrasado porque se encontraron vacíos en el área del tubo de aspiración, que tuvieron que excavar y rellenarse.
- Los canales de agua de las unidades 5 a 8 aún no han sido inspeccionados y se están realizando reparaciones en la estructura subterránea de la parte sur de la planta.
- El tratamiento de los ejes de presión a las unidades 5 a 8 está en curso, y se prevé que sea de una extensión significativa.

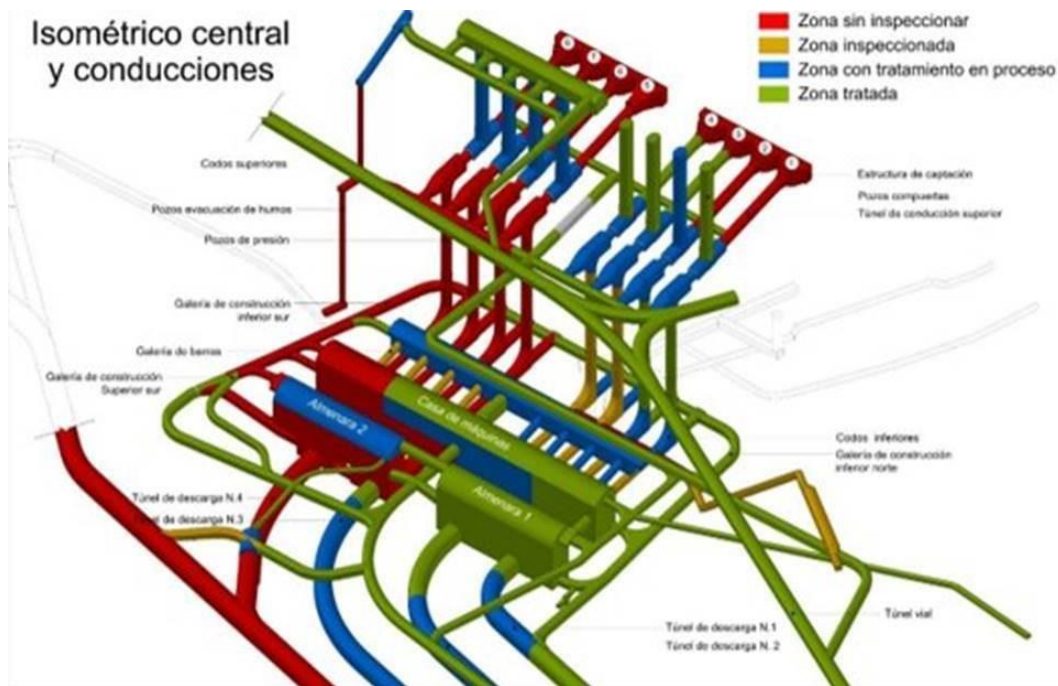


Figura 61: Recuperación de obras subterráneas. resumen general del progreso a febrero de 2021

## 5.2 Logro de la operación comercial

El calendario oficial puesto a disposición por EPM se transmitió al IAP el 30 de marzo de 2020, y se trató, principalmente, de un cronograma previo a la COVID-19 para Colombia. Después de la finalización de la misión del IAP, se aprobó una revisión provisional posterior con fecha de abril de 2020 que luego se transmitió al IAP. El calendario oficial actual se refiere a diciembre de 2020. La siguiente tabla compara las fechas de operación comercial (COD) incluidas en los cronogramas de marzo y diciembre de 2020, respectivamente.

Fechas de inicio de la operación (COD) - comparación			
	COD en marzo de 2020 Calendario	COD en diciembre Calendario de 2020	Retraso acumulado (meses)
Unidad 1	Diciembre de 2021	Julio de 2022	7
Unidad 2	Abril de 2022	Octubre de 2022	6
Unidad 3	Julio de 2022	Enero de 2023	6
Unidad 4	Octubre de 2022	Septiembre de 2023	11

Debe comentarse la importancia del retraso acumulado en el periodo entre la última misión y la actual.

La COVID-19 tuvo un impacto negativo en el proyecto de dos maneras. Afectó a las actividades de la ruta crítica, pues se suspendieron o redujeron las obras. También afectó al esfuerzo máximo que EPM pudo hacer en frentes paralelos para introducir distancias sociales a fin de salvaguardar la salud de los trabajadores. Ciertamente, ello redujo la capacidad logística del proyecto y las tasas de producción. Esta última es, en opinión del IAP, la razón principal del retraso desproporcionado acumulado a la hora de finalizar las unidades 3 y 4.

El esfuerzo por tratar los vacíos descubiertos bajo el área de los tubos de aspiración 1 y 2 afectó directamente a la ruta crítica a la hora de lograr la operación comercial de la unidad 1.

El enfoque cauteloso de EPM, que prioriza de manera constante e integral la seguridad y la operación sostenible a largo plazo del proyecto, contribuyó a los retrasos, aunque de forma marginal. El inicio de la operación de la unidad 1 está programado en estos momentos para julio de 2022, o sea, unos 18 meses a partir de ahora. El IAP considera que dicho período es realista para la realización del hormigón de primera y segunda etapa, el montaje, la puesta en marcha y las pruebas de la unidad 1.

El nivel de investigación y comprensión de los daños y las medidas correctivas aplicadas en la sección norte del proyecto está tan avanzado en la actualidad que es poco probable que se den más sorpresas.

La incertidumbre actual sobre las fechas de operación comercial de las unidades 1 a 4 se puede resumir de la siguiente manera.

- Las actividades subacuáticas para completar y rehabilitar las tomas, que son intrínsecamente complejas.
- Las curvas horizontales de los túneles de fuga 1 y 2, donde los tratamientos aún están en curso.
- Las consecuencias de las variantes de COVID-19 que podrían poner en peligro los notables esfuerzos y logros de EPM en este ámbito.
- La decisión de EPM de introducir "discontinuidades" en el grupo de empresas implicadas, en la actualidad y desde el inicio, en el proyecto, que por lo general no da resultado en circunstancias similares.

Al mismo tiempo, ciertos elementos influyen positivamente para lograr la operación comercial de las unidades 1 a 4.

- El equipo está presente en los almacenes para garantizar la operación comercial de las primeras cuatro unidades (y los pocos artículos restantes seguirán pronto).
- Tener a GE Brasil directamente involucrado en el montaje de las primeras cuatro unidades es una ventaja.
- Tener a ATB directamente involucrado en la fabricación in situ y la instalación de la tubería forzada es otra ventaja.

### **5.3 Implicaciones de costes del cronograma de finalización**

En el presente informe, el IAP decidió examinar con más detalle los costes hasta la finalización, estudiados antes, debido a la información pertinente recabada hasta la fecha.

Limitamos el análisis a los valores de las "Inversiones" (costes de inversión, 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 examinar en profundidad 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.

Cabe señalar que, debido a las fluctuaciones del tipo de cambio USD/COP, es difícil obtener cifras fiables en doble moneda. Por consiguiente, hemos usado únicamente los valores en COP, sin convertir las cifras en USD.

Utilizamos la siguiente información:

- P2021: *Presupuesto* de 2021, compartido durante la misión actual.
- P2020: *Presupuesto* de 2020
- P2019: *Presupuesto* de 2019
- Dicha información se muestra en el Anexo B.

La figura 62 muestra los costes de inversión (“Inversión total”), en el periodo 2016-2025, tal y como figuran en los tres “*Presupuestos*”.

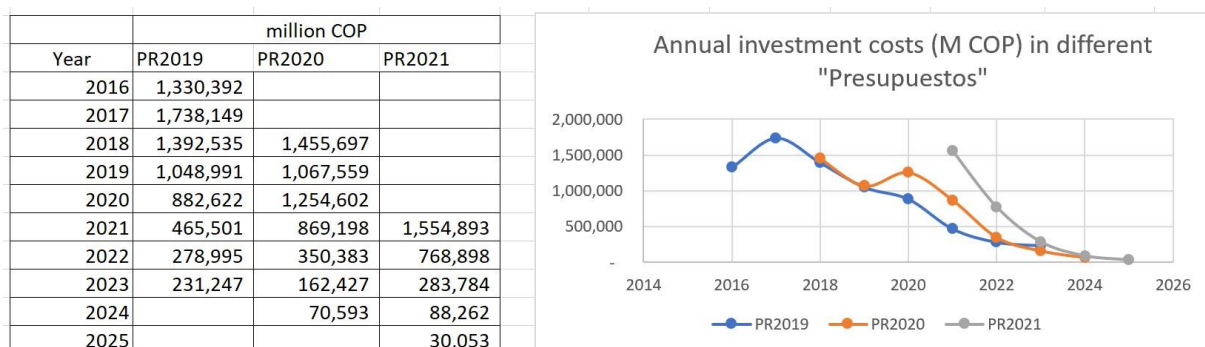


Figura 62: Costes anuales de inversión

Los valores trazados muestran un aumento progresivo, después del año 2019, de P2019 a P2020 y hasta P2021. Ello refleja claramente el impacto del suceso de mayo de 2018 y debe tenerse en cuenta al derivar los costes acumulados.

En mayo de 2018, el Proyecto se encontraba en un estado muy avanzado y, de no haber ocurrido el incidente, los costos de finalización habrían sido menores. Por lo tanto, es razonable utilizar los costes de los años 2019, 2020 y 2021 para estimar el impacto del suceso de mayo de 2018 en los costes de inversión del Proyecto. La suma de esos costes (P2021, anexo B) da 3 877 054 MCOP<sup>4</sup>, que equivale a

<sup>4</sup> 1 067 559 + 1 254 602+ 1 554 893 = 3 877 054 M COP

en excelente concordancia con la "Contingencia de inversión total" de la figura P2021, es decir, 3 873 202 M COP.

Los costes acumulados se derivan en la figura 63, utilizando los costes anuales más actualizados, entre los tres "Presupuestos", en cada año. Los costes anteriores a 2016 (4 276 267 M COP) se han añadido en la figura

66. Se han calculado como la diferencia entre los costes de inversión 2011-2020 en C2021 en el anexo B (10 668 956 M COP) y la suma de los costos 2016-2020 en el mismo C2021 (6 392 689 M COP).

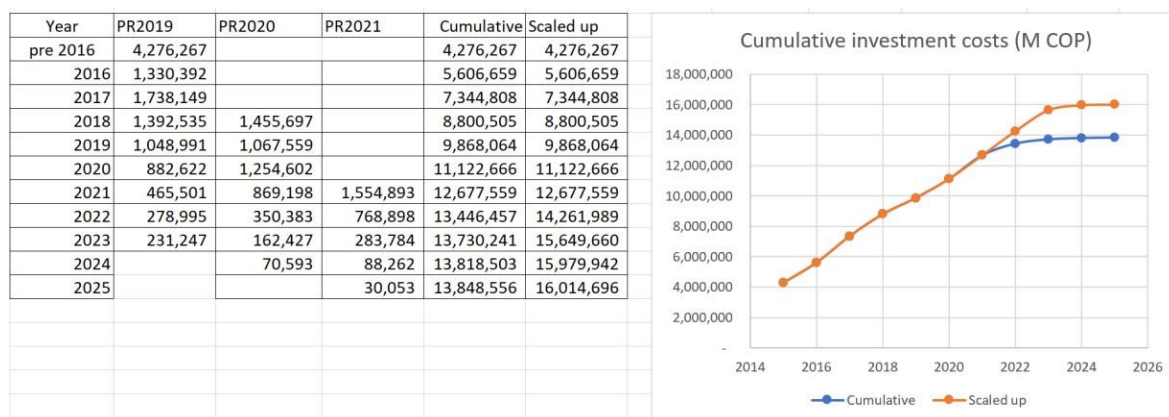


Figura 63: Costes de inversión anuales y acumulados

Al estudiar la gráfica de los costes de inversión acumulados, se observa que la curva es prácticamente plana después de 2022 (línea azul). El IAP no está de acuerdo porque:

- quedan por hacer importantes obras civiles caracterizadas por la presencia de incertidumbres apreciables, y
- una curva plana no coincide con las diferencias en las estimaciones de costes progresivos que se ilustran en la figura 62.

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

Los resultados del análisis anterior y las inevitables incertidumbres contenidas en este llevan al IAP a pensar que, en esta etapa del Proyecto, corresponde reflexionar sobre el cronograma y revisar los costes.

Desde el comienzo de su participación, el asesoramiento de IAP a BID Invest ha tenido por objeto principal la seguridad y sostenibilidad del Proyecto. Las revisiones de cronogramas y costos se han incluido en los informes de IAP debido a su importancia para la seguridad y la sostenibilidad del Proyecto.

El IAP cree que, dado el cronograma actual para la finalización del Proyecto y la creciente importancia de garantizar los recursos adecuados para ese fin, se hace necesaria una revisión más detallada de los costes

y el cronograma en el futuro cercano. Para ello, probablemente se requeriría una interacción más frecuente con los controladores de costes de EPM.



## **ANEXO A: LISTADO DE DOCUMENTOS PUESTOS A DISPOSICIÓN DEL IAP**

01 - Ituango Informe ejecutivo mensual enero 2021 JV  
1\_22022  
1\_BID\_TDD\_GAD\_DI  
2\_220221\_BID\_Ob\_Sup SPILLWAY  
3\_220221\_BID\_Ob\_Sup\_Romerito\_Des\_0+900  
4\_220221\_BID\_CAVERNS  
6\_220221\_BID\_Dam  
7\_220221\_BID\_RFDS  
24-02-21\_BID\_Additional pics\_Southern caverns  
210227\_BID\_AfectacionSur  
210227\_BID\_ZonaSur\_CondicionPrevia\_2004  
BID RISK PRESENTATION 2021  
Conductions Caverna Sur 2021-02-22  
Cronograma Finalización Ituango 2021-02-18  
Estado medida preventiva Feb2021  
Hallazgos IAP misión 2021-02-25  
Informe de seguimiento Obras BID- EPM JAT JIB  
INFORME No. 26 - FINAL - 21 ENERO. 2021  
ITUANGO - Costes Proyecto 2021  
Ituango - Premisas cronograma versión 20201230 (A)  
Ituango - Presentación cronograma en barras 20201230 – BID  
Ituango - Programa Base estabilización 20201230 (mpp)  
Ituango Blindaje proceso logística montaje\_V1  
ITUANGO-Costo ppto 2021 y comparación costo ppto 2020  
ITUANGO-Evolución inversiones 2016 - 2021  
Lechadas Consolidación C.M - Almenaras-2  
Mezclas concretos aglutinamiento  
PRESENTACIÓN BID DE AMB4 GE\_V1\_FEB\_24\_DE 2021  
Presentación POYRY 20210224  
Underground\_Numerical\_Model  
PRESENTACIÓN SOBRE OBRAS SUBMARINAS (BID)

# Annex B: "Presupuestos" de los años 2021, 2020 y 2019

## P2021

CONCEPTO	TOTAL	2011-2020	2021	2022	2023	2024	2025
<b>1 Ingeniería y administración</b>	<b>2,170,718</b>	<b>1,626,003</b>	<b>334,131</b>	<b>108,512</b>	<b>44,055</b>	<b>34,412</b>	<b>23,605</b>
1.1 Estudios y diseños	53,963	53,963	0	0	0	0	0
1.2 Interventoría	318,188	305,387	10,482	2,319	0	0	0
1.3 Interventoría-contingencia	283,473	151,283	87,475	44,715			
1.4 Asesoría	200,814	193,531	5,278	1,189	430	230	156
1.5 Asesoría-contingencia	251,552	162,212	84,341	1,659	1,655	1,684	0
1.6 Auditorías	6,787	4,050	1,095	1,095	547	0	0
1.7 Pólizas	132,900	117,041	6,051	5,999	3,617	192	0
1.8 Administración	920,813	637,427	138,880	50,946	37,806	32,305	23,449
1.9 Administración-contingencia	2,228	1,108	529	591	0	0	0
<b>2 Costos directos</b>	<b>11,129,434</b>	<b>8,953,246</b>	<b>1,217,958</b>	<b>659,014</b>	<b>239,569</b>	<b>53,549</b>	<b>6,097</b>
2.1 Infraestructura	1,902,506	1,836,299	41,082	19,430	2,764	2,931	0
2.2 Infraestructura-contingencia	30,937	19,688	11,250	0	0	0	0
2.3 Obras principales	3,472,240	3,319,581	24,727	44,758	76,897	6,277	0
2.4 Obras principales-contingencia	2,430,685	1,447,989	573,940	360,112	48,645	0	0
2.5 Equipos	1,319,739	1,204,250	17,599	27,851	48,990	21,048	0
2.6 Equipos-contingencia	755,315	172,444	407,374	139,271	35,587	639	0
2.7 Gestión ambiental y social	1,037,012	785,468	133,521	62,585	26,686	22,655	6,097
2.8 Gestión ambiental y social-contingencia	115,624	102,151	8,465	5,007	0	0	0
2.9 Conexión al STN	61,988	61,988	0	0	0	0	0
2.10 Conexión al STN-contingencia	3,388	3,388	0	0	0	0	0
<b>3 Tierras y servidumbres</b>	<b>94,783</b>	<b>89,707</b>	<b>2,804</b>	<b>1,371</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>13,394,935</b>	<b>10,668,956</b>	<b>1,554,893</b>	<b>768,898</b>	<b>283,874</b>	<b>88,262</b>	<b>30,053</b>
<b>Gastos preoperativos, operación y comercialización</b>	<b>802,078</b>	<b>640,388</b>	<b>144,028</b>	<b>17,662</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>Gastos financieros (incluye diferencia en cambio)</b>	<b>2,599,215</b>	<b>2,273,144</b>	<b>196,325</b>	<b>4,739</b>	<b>65,666</b>	<b>59,341</b>	
<b>TOTAL CON GASTOS PREOPERATIVOS Y FINANCIEROS</b>	<b>16,796,228</b>	<b>13,582,488</b>	<b>1,895,246</b>	<b>791,299</b>	<b>349,540</b>	<b>147,603</b>	<b>30,053</b>
<b>IVA</b>	<b>377,253</b>	<b>208,787</b>	<b>110,131</b>	<b>39,469</b>	<b>15,165</b>	<b>3,702</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL CON IVA</b>	<b>17,173,482</b>	<b>13,791,275</b>	<b>2,005,377</b>	<b>830,768</b>	<b>364,705</b>	<b>151,305</b>	<b>30,053</b>
<b>Baja de activos indemnizables</b>	<b>-1,001,941</b>	<b>-1,001,941</b>					
<b>TOTAL CON BAJA DE ACTIVOS INDEMNIZABLES</b>	<b>16,171,541</b>	<b>12,789,334</b>	<b>2,005,377</b>	<b>830,768</b>	<b>364,705</b>	<b>151,305</b>	<b>30,053</b>
<b>TOTAL INVERSIÓN CONTINGENCIA</b>	<b>3,873,202</b>	<b>2,060,263</b>	<b>1,173,374</b>	<b>551,355</b>	<b>85,887</b>	<b>2,324</b>	<b>0</b>

## P2020

PROYECTO ITUANGO  
COSTO PPTO (2020)  
Millones COP Corrientes

CONCEPTO	TOTAL	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	ESTIM. 2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>1 Ingeniería y administración</b>	<b>1.829.490</b>	<b>123.316</b>	<b>79.265</b>	<b>161.058</b>	<b>107.060</b>	<b>126.833</b>	<b>144.230</b>	<b>183.385</b>	<b>205.362</b>	<b>234.044</b>	<b>238.069</b>	<b>80.683</b>	<b>59.014</b>	<b>47.830</b>	<b>39.299</b>
1.1 Estudios y diseños	53.963	53.903	36	26	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2 Interventoría	487.397	12.251	19.690	29.481	30.936	38.721	53.751	69.412	71.746	65.728	45.715	16.381	12.571	12.719	8.296
1.3 Asesoría	334.654	13.891	12.442	18.271	32.820	31.391	27.564	31.106	36.296	66.277	57.988	3.150	2.517	879	363
1.4 Auditorías	4.307	120	247	251	217	328	425	427	0	651	547	547	547	0	0
1.5 Pólizas	112.893	19.402	18.666	4.542	7.282	7.816	10.250	11.524	14.016	14.016	10.751	3.992	4.544	328	0
1.6 Administración	835.936	23.748	28.185	108.488	35.828	48.779	52.240	70.916	83.304	90.637	129.827	56.062	43.050	34.233	30.640
<b>2 Costos directos</b>	<b>10.147.927</b>	<b>156.589</b>	<b>356.655</b>	<b>594.598</b>	<b>945.645</b>	<b>1.148.584</b>	<b>1.178.445</b>	<b>1.533.293</b>	<b>1.171.688</b>	<b>825.421</b>	<b>1.010.262</b>	<b>788.515</b>	<b>291.369</b>	<b>114.597</b>	<b>31.294</b>
2.1 Infraestructura	1.868.382	146.481	272.358	299.855	280.155	319.160	170.878	194.670	69.916	53.817	37.549	30.139	13.402	0	0
2.2 Obras principales	5.370.606	390	67.982	253.359	400.159	460.358	721.063	900.963	840.845	538.598	602.866	353.198	143.043	82.630	5.413
2.3 Equipos	1.780.283	0	0	0	183.520	193.177	207.606	290.442	133.158	117.919	237.265	311.570	92.747	7.991	4.891
2.4 Gestión ambiental y social	1.062.209	9.717	16.316	41.385	101.811	175.889	79.959	89.569	125.428	113.580	127.808	93.808	42.177	23.976	20.990
2.5 Conexión al STN	66.446	0	0	0	0	0	0	57.649	2.518	1.507	4.774	0	0	0	0
3 Tierras y servidumbres	91.320	7.543	4.588	7.547	8.674	4.899	6.717	21.471	15.518	8.094	6.271	0	0	0	0
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>12.068.696</b>	<b>287.448</b>	<b>440.509</b>	<b>763.203</b>	<b>1.061.379</b>	<b>1.280.317</b>	<b>1.330.382</b>	<b>1.738.149</b>	<b>1.392.636</b>	<b>1.067.559</b>	<b>1.254.602</b>	<b>889.198</b>	<b>380.383</b>	<b>162.427</b>	<b>70.593</b>
<b>Gastos preoperativos</b>	<b>383.809</b>	<b>6.471</b>	<b>6.882</b>	<b>9.650</b>	<b>25.639</b>	<b>25.342</b>	<b>29.402</b>	<b>21.059</b>	<b>165.465</b>	<b>76.989</b>	<b>13.163</b>	<b>9.065</b>	<b>4.682</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Gastos financieros</b>	<b>2.479.576</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>40.366</b>	<b>64.033</b>	<b>139.280</b>	<b>233.368</b>	<b>285.302</b>	<b>335.465</b>	<b>397.635</b>	<b>388.602</b>	<b>376.437</b>	<b>112.692</b>	<b>73.540</b>	<b>32.857</b>
<b>TOTAL CON GASTOS PREOPERATIVOS Y FINANCIEROS</b>	<b>14.942.082</b>	<b>293.919</b>	<b>447.391</b>	<b>813.220</b>	<b>1.161.051</b>	<b>1.444.939</b>	<b>1.593.163</b>	<b>2.044.610</b>	<b>1.893.465</b>	<b>1.542.184</b>	<b>1.696.367</b>	<b>1.254.700</b>	<b>467.757</b>	<b>235.967</b>	<b>103.460</b>
<b>IVA Descontable</b>	<b>325.482</b>	<b>0</b>	<b>92</b>	<b>1</b>	<b>1.480</b>	<b>21.945</b>	<b>22.500</b>	<b>34.503</b>	<b>37.914</b>	<b>26.863</b>	<b>72.612</b>	<b>70.020</b>	<b>26.960</b>	<b>6.517</b>	<b>4.974</b>
<b>TOTAL CON IVA DESCONTABLE</b>	<b>15.267.564</b>	<b>293.919</b>	<b>447.483</b>	<b>813.221</b>	<b>1.162.632</b>	<b>1.466.884</b>	<b>1.615.663</b>	<b>2.079.013</b>	<b>1.931.379</b>	<b>1.569.047</b>	<b>1.728.979</b>	<b>1.324.719</b>	<b>494.717</b>	<b>242.485</b>	<b>107.524</b>

# P2019

2019

PROYECTO ITUANGO  
COSTO PRESUPUESTO 2019  
Millones COP Corrientes

CONCEPTO	TOTAL	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	ESTIM 2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>1 Ingeniería y administración</b>	<b>1.917.040</b>	<b>123.316</b>	<b>79.265</b>	<b>161.058</b>	<b>107.060</b>	<b>126.833</b>	<b>144.230</b>	<b>183.385</b>	<b>205.319</b>	<b>184.263</b>	<b>169.739</b>	<b>162.396</b>	<b>142.349</b>	<b>127.825</b>
1.1 Estudios y diseños	53.963	53.903	36	26	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2 Interventoría	524.077	12.251	19.690	29.481	30.936	38.721	53.751	69.412	73.889	62.423	41.395	33.444	32.588	26.096
1.3 Asesoría	359.099	13.891	12.442	18.271	32.820	31.391	27.564	31.106	40.654	35.775	32.667	31.830	26.417	24.271
1.4 Auditorías	3.699	120	247	251	217	328	425	427	241	481	481	481	0	0
1.5 Pólizas	91.826	19.402	18.666	4.542	7.262	7.616	10.250	11.524	8.730	1.797	1.866	74	60	36
1.6 Administración	884.376	23.748	28.185	108.488	35.828	48.778	52.240	70.916	81.805	83.787	93.330	96.566	83.284	77.422
<b>2 Costos directos</b>	<b>9.252.651</b>	<b>166.589</b>	<b>356.855</b>	<b>594.598</b>	<b>945.645</b>	<b>1.148.584</b>	<b>1.179.445</b>	<b>1.533.293</b>	<b>1.229.575</b>	<b>852.209</b>	<b>712.884</b>	<b>303.105</b>	<b>136.646</b>	<b>103.421</b>
2.1 Infraestructura	1.851.025	146.481	272.358	299.855	260.155	319.160	170.878	194.670	86.974	65.131	27.996	4.702	2.482	182
2.2 Obras principales	4.542.189	390	67.982	253.359	400.159	460.358	721.003	900.983	758.011	504.382	372.629	102.944	0	0
2.3 Equipos	1.713.465	0	0	0	183.520	193.177	207.606	290.442	220.392	119.977	216.345	142.883	77.484	61.640
2.4 Gestión ambiental y social	1.084.989	9.717	16.316	41.385	101.811	175.889	79.959	89.569	162.205	161.369	95.914	52.576	56.681	41.599
2.5 Conexión al STN	60.982	0	0	0	0	0	0	57.649	1.993	1.340	0	0	0	0
3 Tierras y servidumbres	94.760	7.543	4.588	7.547	8.674	4.899	6.717	21.471	20.803	12.519	0	0	0	0
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>11.264.451</b>	<b>287.448</b>	<b>440.509</b>	<b>763.203</b>	<b>1.061.379</b>	<b>1.280.317</b>	<b>1.330.392</b>	<b>1.738.149</b>	<b>1.455.697</b>	<b>1.048.991</b>	<b>882.622</b>	<b>465.501</b>	<b>278.955</b>	<b>231.247</b>
Gastos preoperativos	246.726	5.279	6.894	7.230	24.377	25.863	31.717	21.310	80.157	16.989	13.163	9.065	4.682	0
Gastos financieros	2.331.700	0	0	40.366	64.033	139.280	218.310	280.392	328.830	348.769	374.105	368.395	105.554	63.666
<b>TOTAL CON GASTOS PREOPERATIVOS Y FINANCIEROS</b>	<b>13.842.876</b>	<b>292.726</b>	<b>447.403</b>	<b>810.799</b>	<b>1.149.788</b>	<b>1.445.460</b>	<b>1.580.420</b>	<b>2.039.851</b>	<b>1.864.684</b>	<b>1.414.760</b>	<b>1.269.890</b>	<b>842.960</b>	<b>389.230</b>	<b>294.912</b>
IVA equipos (Descontable)	179.080	0	92	1	1.480	21.945	22.500	34.503	26.782	19.402	31.661	11.970	4.371	4.373
<b>TOTAL CON IVA EQUIPOS</b>	<b>14.021.956</b>	<b>292.726</b>	<b>447.495</b>	<b>810.801</b>	<b>1.151.270</b>	<b>1.467.406</b>	<b>1.602.919</b>	<b>2.074.354</b>	<b>1.891.466</b>	<b>1.434.161</b>	<b>1.301.551</b>	<b>854.931</b>	<b>393.601</b>	<b>299.285</b>