

Referencia: 5203/2022

INFORME

Informe complementario sobre el Proyecto de Actualización del proyecto de explotación de la mina de Rio Tinto PRT (Relacionado con ref. 4757) Parte relativa a los DEPÓSITOS DE ESTÉRILES DE PLANTA

1. ANTECEDENTES

La Delegación Territorial de Empleo, Formación, Trabajo Autónomo, Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades en Huelva, mediante escrito del pasado 17 de febrero de 2021, solicitaba al IGME-CSIC informe sobre el Proyecto de Actualización del proyecto de explotación de la Mina de Rio Tinto PRT, promovido por ATALAYA Riotinto Minera S.L.U

El 11 de junio de 2021 el IGME-CSIC terminó y firmó el informe solicitado, siendo finalmente emitido con fecha 18 de octubre de 2021.

Con fecha de 30 de marzo de 2022, tuvo entrada en el Registro General del IGME-CSIC un nuevo escrito del Secretario General De Industria Y Minas de la Junta de Andalucía, en el que se solicitó a este Instituto informe complementario sobre el Proyecto de Actualización del proyecto de explotación de la Mina de Rio Tinto PRT para valorar la información complementaria aportada por la empresa ATALAYA Riotinto Minera S.L.U para dar respuesta a las recomendaciones realizadas por el IGME en su primer informe y en dos reuniones mantenidas los días 19 de octubre del 2021 y 10 de diciembre de 2021.

El presente informe complementario solo abarca la valoración de la parte relativa a la gestión de los estériles y más concretamente al estudio de estabilidad de los depósitos de estériles de planta.

2. INTRODUCCIÓN

Los autores del informe consideran necesario recalcar que su participación consiste, única y exclusivamente, en la emisión de recomendaciones y mejoras que consideran positivas para la viabilidad del proyecto, no pudiendo considerarse como responsables, ni parte activa del mismo, ni como supervisores de la actuación de la empresa promotora o de sus subcontratadas, teniendo en cuenta que se trata de un informe realizado sobre el trabajo previo presentado, que en ningún caso ha contado con la participación del personal científico – técnico del IGME ni en su diseño ni en su realización.

Este informe tiene como objetivo contribuir a la mejora del Proyecto presentado, a través de unas recomendaciones que corresponde a la Autoridad Minera tener en cuenta o no. En este sentido, es preciso subrayar que son los órganos sustantivos en los respectivos ámbitos competenciales implicados los que han de pronunciarse respecto a las bases legales del proyecto y a su cumplimiento expreso. Los autores de este informe manifiestan expresamente su exención de responsabilidad en este sentido, habiéndose llevado a cabo los comentarios, observaciones y recomendaciones en el ámbito estrictamente científico-técnico, de las buenas prácticas y del estado del arte y de la experiencia de los autores en el momento de la emisión del informe, con el objetivo de mejorar el grado de garantías científico-técnicas del Proyecto.

3. DOCUMENTACIÓN ANALIZADA

El presente informe evalúa únicamente el documento: “INFORME COMPLEMENTARIO ESTABILIDAD FASES INTERMEDIAS. ACTUALIZACIÓN DEL PROYECTO MINERO VIGENTE DE RIOTINTO (APMRT). DEPÓSITOS DE ESTÉRILES DE PLANTA.” (documento Ref. N°: 20220315-V1) de 83 páginas elaborado por EPTISA para Atalaya Riotinto Minera S.L.U en Marzo 2022 para dar respuesta a los aspectos técnicos más urgentes planteados en la reunión del 10 de diciembre de 2021.

Para dicha evaluación ha sido necesario también la revisión de dos informes anteriores elaborados por EPTISA en Julio 2021: “Informe Complementario” al APMRT (documento Ref N° 20210623 Rev1) de 105 páginas más Anexos y “Adenda al Informe Complementario” (documento Ref N°: 20210721) de 57 páginas.

4. CONSIDERACIONES

4.1. Consideraciones generales sobre los dos informes anteriores elaborados por EPTISA en Julio 2021: “Informe Complementario” al APMRT (documento Ref N° 20210623 Rev1) y “Adenda al Informe Complementario” (documento Ref N°: 20210721)

Estos 2 informes fueron realizados para dar respuesta a una revisión externa realizada por la empresa Knight Piésold a instancias de Atalaya Riotinto Minera S.L.U. Estos informes no fueron valorados en el primer informe del IGME-CSIC firmado el 11 de junio de 2021.

Se considera que estos 2 informes contribuyen de forma notable a dar una mayor seguridad al proyecto de recrecimiento inicial “ACTUALIZACIÓN DEL PROYECTO MINERO VIGENTE DE RIOTINTO: DEPÓSITO DE ESTÉRILES” (APMRT), detallando algunos aspectos técnicos del diseño propuesto respondiendo a la valoración realizada por Knight Piésold y contestando también de forma paralela a algunas de las recomendaciones realizadas en el primer informe IGME-CSIC.

A continuación, se discuten los aspectos técnicos más relevantes de estos informes relativos a la estabilidad física de los depósitos.

Consideraciones sobre la caracterización geomecánica de los materiales y sobre la susceptibilidad a la licuación

Una nueva caracterización de los estériles de tratamiento de mina y de arenas ciclonadas es presentada. EPTISA evalúa el potencial de licuación de los estériles a través del análisis de datos de los ensayos CPTU de las campañas geotécnicas realizadas en 2014 y 2019. El procesamiento de datos se efectuó con apoyo del software CLiq v.3.3.1.14 y el análisis de potencial de licuación de acuerdo con el procedimiento propuesto por Robertson (2017, 2018, 2020). El análisis realizado concluye que los estériles presentan mayoritariamente comportamiento contractivo y por tanto son susceptibles a experimentar el fenómeno de licuación.

Para el análisis de las arenas ciclonadas presentes en las presas, EPTISA evalúa el potencial de licuación analizando los resultados de ensayos CPTU realizados en las campañas geotécnicas 2013 y 2014. El análisis realizado concluye que las arenas ciclonadas, a diferencia de los estériles, presentan mayoritariamente comportamiento dilatante y por tanto no serían susceptibles a experimentar el fenómeno de licuación por flujo.

Para la determinación de las resistencias, se han calculado valores de resistencia pico y residuales

asociados al percentil 20 y 30 de los histogramas procesados (es decir valores que son superados en el 80 y 70% de los ensayos realizados) acorde al procedimiento propuesto por Robertson (2020). Así mismo, se han propuesto perfiles de resistencia en profundidad asignando valores según las recomendaciones de Robertson (2017).

Se considera que la nueva caracterización propuesta basada en ensayos in-situ CPTU, contribuye a discernir de forma más precisa el estado de compactación in-situ de los materiales, su comportamiento dilatante/contractivo y su susceptibilidad a la licuación por flujo.

Se estima que la resistencia al corte no drenada residual de las lamas presentada en el “Informe Complementario” y su “Adenda” es superior y menos conservador al presentado y utilizado en los cálculos de estabilidad en el informe original APMRT (a través del ángulo de fricción $\phi=5^\circ$).

Respecto del análisis de las arenas ciclonadas presentes en las presas hay que hacer notar que se han empleado únicamente 9 ensayos CPTUs realizados en las campañas de 2013/2014. En la campaña de 2019 no se llevaron a cabo ensayos CPTUs en la zona del dique de Cobre Principal, porque ya se había colocado la geomembrana prevista sobre la playa de 50 m. Tras las conversaciones mantenidas con la empresa en la reunión del 10 de diciembre de 2021, se considera que el análisis de la susceptibilidad a la licuación por flujo de las arenas ciclonadas propuesto en el “Informe Complementario” es lo “suficiente” suficientemente representativo, teniendo en cuenta también el proceso de densificación y mayor presión de confinamiento de estas arenas debido al recrecimiento sobre ellas del dique proyectado con material granular grueso (pedraplén).

Por otro lado, aunque las arenas ciclonadas muestren un comportamiento dilatante (según los resultados mostrados en las figuras 36 y 37 de la “Adenda al Informe Complementario”) estas sí son susceptibles a la licuación dinámica durante terremotos.

Consideración sobre el diseño del tratamiento con columnas de grava

Respecto de las técnicas de mejora del terreno con columnas de grava construidas al interior del vaso en un sector del lado Norte del Depósito Aguzadera para proveer una zona de fundación competente de los rellenos del espaldón de aguas arriba de la presa, EPTISA presenta en el “Informe Complementario” el detalle de la metodología de diseño adjuntando protocolos de ejecución y notas técnicas de análisis. Se ha verificado, a través de ensayos penetrómetros Borros y CPTUs, una mejora de la capacidad portante del terreno entre columnas y una gran mejora en la capacidad de la masa de suelo de disipar sobrepresiones rápidamente.

Se considera importante seguir verificando los efectos del mejoramiento en las propiedades resistentes del terreno tratado mediante ensayos in-situ (pruebas de carga, geofísica, SPTUs, etc.) así como el seguimiento de las condiciones de deformación y estabilidad durante la vida útil del depósito mediante técnicas de monitorización (piezómetros de cuerda vibrante, inclinómetros, etc.).

Consideraciones sobre las redes de flujo

El “Informe Complementario” incorpora un estudio teórico para el cálculo de las redes de filtración de agua intersticial entre materiales porosos en contacto cuyos valores de permeabilidad son muy diferentes (del orden de varios órdenes de magnitud) con el fin de simular un posible fallo del sistema de impermeabilización con geomembrana. Este fallo provocaría el contacto entre las lamas (cuya permeabilidades es $k_x=7.e-8$ m/s) y los filtros (fino $k_x=5.e-6$ m/s, grueso $k_x=5.e-5$ m/s) así como entre los filtros y el material de recocado grueso ($k_x=1.e-3$ m/s). La relación total entre permeabilidades de las lamas y del material de recocado grueso sería del orden de 1/14000 teóricamente. El estudio concluye que el nivel de saturación debería abatirse prácticamente totalmente en el recrecimiento

proyectado con material grueso, saturándose únicamente la zona inferior del material más permeable y que la altura de dicho nivel freático debería ser muy reducida debido al pequeño caudal que aportará el material más impermeable.

La “Adenda al Informe Complementario” incorpora el cálculo de la red de flujo en régimen estacionario, con el software Seep/W, de 4 secciones (las tres secciones principales: Cobre, Aguzadera y Gossan, y la sección del P.K. 4+410) en su cota final tras el recrecimiento total proyectado (+417 m). El cálculo recoge las siguientes hipótesis:

- i) Análisis de un escenario de Playa 0 (nivel freático hasta la coronación del dique).
- ii) Todos los materiales están modelizados con un modelo de comportamiento de suelo saturado/no saturado con las correspondientes curvas de retención.
- iii) La permeabilidad del sistema impermeabilización-filtros se ha estimado en $k = 10^{-8}$ m/s (como hipótesis accidental de fallo).
- iv) Asignación de permeabilidad al macizo rocoso de apoyo ($k = 10^{-9}$ m/s), analizando la red de flujo y presiones intersticiales en el mismo. Se puede hacer notar que en el Proyecto original APMRT, las pizarras no eran tenidas en cuenta en los modelos de filtración al ser consideradas impermeables.

El “Informe Complementario” incorpora también un análisis comparativo de la posición del nivel de agua medida en sondeos y piezómetros con el resultado obtenido del modelo de flujo empleado en el Proyecto en las 2 secciones principales con los datos previos al recrecimiento (Cobre a +382 y Aguzadera a +373). La conclusión principal vertida en el informe es que el modelo de flujo reproduce de forma adecuada y con precisión ingenieril la posición del agua en el interior del muro.

Se considera que el análisis comparativo es muy valioso para la validación de la red de flujo calculada, este análisis debería ser sistemático en todas las secciones de cálculo consideradas. El estudio teórico de las redes de filtración contribuye a determinar de forma más precisa la red de filtración en régimen permanente. Se hace constar que la hipótesis de fallo del sistema de impermeabilización ($k_x = 10^{-8}$ m/s del sistema impermeabilización-filtros) no refleja un fallo masivo del sistema con migración de las lamas y contaminación del material granular del espaldón, con aparición de zonas saturadas dentro del mismo con su consiguiente aumento de presiones intersticiales y reduciendo su capacidad resistente, sino más bien un fallo parcial del sistema, tal y como refleja el “Informe Complementario” en su página 69. En esta página se indica también la necesidad de garantizar el correcto comportamiento general del sistema de impermeabilización-filtros a lo largo de la vida útil de la obra.

Consideraciones sobre el análisis de la estabilidad al deslizamiento. Escenarios extremos adicionales

El estudio de estabilidad adicional presentado en la Adenda incorpora un análisis de estabilidad con el programa Slope/W, mediante la metodología del equilibrio límite (MEL), en las mismas 4 secciones en las que se han calculado las redes de filtración (las tres secciones principales: Cobre, Aguzadera y Gossan, y la sección del P.K. 4+410) en su cota final tras el recrecimiento proyectado (+417 m)

Las hipótesis que se han considerado son las siguientes:

- Escenario A:
 - Red de flujo calculado en régimen permanente con: playa 0, comportamiento de suelo saturado/no saturado, fallo del sistema impermeabilización-filtros con $k = 10^{-8}$ m/s, macizo rocoso de apoyo permeable.

- Con sismo. Se ha aplicado un coeficiente sísmico horizontal de $K_h = 0,072g$ correspondiente al terremoto máximo creíble.
- Se considera el valor de resistencia no drenada de pico tanto en las lamas como en las arenas ciclonadas.
- Escenario B:
 - Red de flujo calculado en régimen permanente con: playa 0, comportamiento de suelo saturado/no saturado, fallo del sistema impermeabilización-filtros con $k = 10^{-8}$ m/s, macizo rocoso de apoyo permeable
 - Sin sismo.
 - Se considera el valor de resistencia no drenada post-licuación tanto en las lamas como en las arenas ciclonadas empleado perfiles de resistencia variables con la profundidad

Hay que hacer notar que la resistencia al corte no-drenado, tanto en las lamas como en las arenas ciclonadas, ha sido simulado con un modelo constitutivo tipo SHANSEP (Stress History and Normalized Soil Engineering Properties). Este modelo propuesto por Ladd and Foote (1974) y Ladd (1991) originalmente simula el comportamiento no drenado en arcillas blandas utilizando como parámetro del modelo la relación s_u/σ'_{v0} , donde s_u es la resistencia al corte no drenado y σ'_{v0} es la tensión vertical efectiva, haciendo que la resistencia no drenada dependa de la tensión efectiva vertical. Para trabajar con este modelo, en tensiones efectivas, habría que considerar las sobrepresiones intersticiales y no las presiones hidrostáticas. Sin embargo, el uso de presiones hidrostáticas estaría del lado de la seguridad ya que en ese caso, a carga constante y menos presión intersticial, las tensiones efectivas serían mayores, la resistencia al corte quedaría subestimado y el factor de seguridad calculado sobrestimado.

Los valores del factor de seguridad calculados para los dos escenarios extremos propuestos cumplen con la indicación de la normativa española más moderna en relación con las presas de materiales sueltos (RD 264/21,) alcanzado en las cuatro secciones unos coeficientes de seguridad superiores a 1. Se puede hacer notar que la cinemática de rotura atraviesa las lamas de nueva deposición en 3 de las secciones calculadas y que la peor sección calculada corresponde a la sección Gossan Principal (P.K. 7+540) con $FS=1.16$ y $FS=1.1$ para los escenarios A y B respectivamente. La cinemática de rotura en este caso se produce justo por debajo de la zona de tratamiento con columnas de grava, en las lamas sobre las que se apoya el dique proyectado.

Se considera que el análisis de la estabilidad al deslizamiento propuesto en el “Informe Complementario” y en la “Adenda al Informe Complementario” es más representativo de las condiciones reales y estado actuales de los materiales presentes en las presas ya que se apoyan en una caracterización de los materiales basada en ensayos in-situ (CPTU) y en las metodologías de Robertson que complementan las caracterizaciones ya realizadas en APMTRT. Sin embargo, se puede hacer notar que:

- i) Las hipótesis de cálculo en situaciones extremas propuestas no reflejan la posible licuefacción de materiales durante sismo. La hipótesis A utiliza valores de resistencia pico durante el seísmo y la hipótesis B valores residuales (licuados) tras el seísmo.
- ii) El coeficiente sísmico horizontal $k_h = 0,072g$ considerado y asociado a un terremoto “máximo creíble” ha sido calculado en el proyecto original APMRT para una aceleración básica a_b de $0,07g$ (asignada a la localidad de Minas de Riotinto), para un período de retorno de 500 años y para contemplar como cimienta una roca compacta de tipo I con coeficiente del terreno $C=1$.
- iii) El análisis de estabilidad propuesto solo comprueba la estabilidad de las 4 cuatro secciones

- principales definidas y no de las 13 secciones descritas en el proyecto.**
- iv) El análisis de estabilidad propuesto no se basa en un análisis tenso-deformacional dinámico.**

4.2. Consideraciones sobre la reunión mantenida el 10 de diciembre de 2021

Esta reunión se celebra a instancias de la Secretaría General De Industria Y Minas (SGDIM) de la Junta de Andalucía con la participación de miembros de la SGDIM, investigadores del IGME-CSIC, representantes de la empresa promotora ATALAYA Riotinto Minera, así como de los autores del nuevo informe a evaluar y del diseño de recrecimiento proyectado pertenecientes a la empresa EPTISA.

En esta reunión, los investigadores del IGME-CSIC exponen de forma oral las diferentes consideraciones sobre los dos informes anteriores elaborados por EPTISA en Julio 2021: “Informe Complementario” al APMRT y “Adenda al Informe Complementario”, expuestas en el párrafo anterior y que no fueron valorados en el primer informe IGME. Se señala que esa información complementaria, recibida a posteriori, solo contesta a algunas de las recomendaciones realizadas en el primer informe emitido por e IGME. Por otra parte, se señala también que sería recomendable realizar autorizaciones parciales progresivas al proyecto de recrecimiento, y no una autorización única hasta la cota final proyectada (+417 m) con el fin de comprobar durante la fase de construcción las indeterminaciones o hipótesis de cálculo realizadas en la fase de proyecto y que atañen los cálculos de estabilidad propuestos.

Por todo ello, se consensua un nuevo análisis de estabilidad sobre todas las secciones definidas en APMRT hasta las siguientes cotas intermedias de recrecimiento +388 y +394 considerando como escenario extremo, el efecto simultáneo de: i) un terremoto extremo con periodo de retorno igual a 5000 años (basado en los criterios más restrictivos de la normativa) y ii) la licuación de los materiales lamas y arenas ciclonadas. Este nuevo escenario pretende ser lo más conservador posible para garantizar la estabilidad ($FS > 1$) incluso en el caso de un hipotético terremoto extremo.

Por otra parte, se consensua también que la empresa realizará en una segunda fase un nuevo estudio tenso-deformacional dinámico para corroborar de forma más precisa las condiciones de estabilidad en caso de terremoto. Este estudio deberá incorporar un estudio sismo-tectónico específico del emplazamiento del PRT que determine de forma más detallada las acciones sísmicas a considerar.

Por último, se propone también valorar la instalación de una red de vigilancia sísmica en el entorno de DEP para determinar la ocurrencia de terremotos en el entorno, ya sean inducidos por la actividad minera, depósito de estériles, o de forma natural.

4.3. Consideraciones generales sobre el informe “INFORME COMPLEMENTARIO ESTABILIDAD FASES INTERMEDIAS. ACTUALIZACIÓN DEL PROYECTO MINERO VIGENTE DE RIOTINTO (APMRT). DEPÓSITOS DE ESTÉRILES DE PLANTA.”

El “Informe complementario estabilidad fases intermedias” elaborado por EPTISA en Marzo 2022 da respuesta a los aspectos técnicos más urgentes planteados en la reunión de 10 de diciembre de 2021, presentando los resultados de los nuevos análisis de estabilidad sugeridos. A continuación, se discuten los aspectos técnicos más relevantes de ese último informe.

Consideraciones sobre los nuevos análisis de estabilidad

Las secciones analizadas se corresponden con las 12+1 secciones definidas en el APMRT, en las fases intermedias de recrecimientos, a cota de dique +388 y +394. El análisis de estabilidad se realiza

mediante el Método de Equilibrio Límite (MEL) en 2D teniendo en cuenta las presiones intersticiales calculadas en régimen permanente.

Se considera que estos análisis son más representativos del proyecto en su conjunto ya que abordan todas las secciones definidas en el APMRT.

Consideraciones sobre las nuevas hipótesis de cálculo (combinación de acciones)

Las hipótesis que se han considerado son las siguientes:

- Escenario C (H7):
 - Recrecido de dique y vertido lleno.
 - Sin playa.
 - Red de filtración asociada a fallo en el sistema de geomembrana/filtros: filtraciones de agua a través del muro según un modelo de materiales saturados y no saturados en función de su permeabilidad.
 - Sismo extremo ($K_h=0.108g$).
 - Lamas Antiguas (estériles de tratamiento vertidos antes del cierre en el año 2000) con resistencia no drenada pico.
 - Lamas Nuevas (estériles de tratamiento vertidos a partir de la reapertura en 2015) con resistencia post-licuación
 - Arenas ciclonadas según APMRT, considerando licuadas las que se encuentren a profundidades menores de 50 m

El cálculo de las redes de flujo sigue el mismo marco teórico propuesto en los informes anteriores “Informe Complementario” y “Adenda al Informe Complementario” por lo **tanto las consideraciones realizadas en la sección 4.1. del presente informe relativas a las redes de flujo siguen siendo de aplicación.**

El coeficiente sísmico horizontal utilizado $K_h=0.108g$ corresponde a un terremoto extremo cuya aceleración básica de cálculo es $a_b=0.07g$, asignada a la localidad de Minas de Riotinto para un periodo de retorno de 500 años, según El Mapa de Actualización de la Peligrosidad Sísmica publicado por el Instituto Geográfico Nacional en octubre de 2016. Esta aceleración ha sido incrementada para tener en cuenta un sismo mayor, con periodo de retorno 5000 años, hasta alcanzar una aceleración de cálculo $a_r=0.1758g$. Además, se ha considerado un terreno de apoyo tipo II, definiéndose un valor de $C=1.3$ de acuerdo con la NSCE-02, con el objeto de establecer un coeficiente del terreno más conservador. **Se considera que la acción sísmica calculada es mucho más conservadora que la acción sísmica propuesta en el APMRT original y que por lo tanto contribuye a dar una mayor seguridad al proyecto de recrecimiento.**

Respecto de los valores resistentes de los materiales supuestos en el cálculo: i) las lamas antiguas se suponen no licuables (valores de resistencia no drenada pico s_u/σ'_{v0} igual a 0.18, 0.17, 0.25, 0.30 para las presas de Aguzadera, Cobre, Canal y Gossan respectivamente), ii) las lamas nuevas sí se suponen licuables con resistencias residuales dependientes de la profundidad (se estima según la Figura 2 de la página 16, que la licuación de las lamas nuevas se produciría hasta una profundidad del orden de 40m) y iii) las arenas ciclonadas situadas a una profundidad inferior a 50m se suponen licuables mediante una reducción drástica de la resistencia efectiva durante la licuación ($\phi=10^\circ$ según el proyecto original APMRT). **Se considera que la resistencia supuesta para las lamas (y su potencial de licuación) es realista y que el valor adoptado para las arenas, presentes en el cuerpo de las presas, es lo suficientemente conservador. Se vuelve a recalcar que el uso de parámetros no drenados y presiones**

hidrostáticas quedarían de lado de la seguridad.

Por lo tanto, se considera que el escenario propuesto C(H7) es lo suficientemente conservador para garantizar la estabilidad ($FS>1$) incluso en el caso de un hipotético terremoto extremo.

Consideraciones sobre los nuevos resultados obtenidos en el análisis de estabilidad

Los coeficientes de seguridad calculados y presentados en la Tabla 12 de la página 83 son superiores a 1 en las 13 secciones estudiadas confirmando la estabilidad de las presas en el escenario C(H7) definido. Se pueden hacer las siguientes observaciones:

- El diseño de la sección Cobre sobre terreno ha sido modificado y reforzado ya que el factor de seguridad calculado para el diseño original era crítico no cumpliendo la condición de equilibrio $FS>1$ (1.12 para el recrecimiento a cota +388 y 0.95 para la cota +394). En esta sección el recrecimiento pedraplén se apoya sobre las arenas ciclonadas. El refuerzo propuesto se basa en una ampliación del saneo de estas arenas y en la construcción de un tacón de refuerzo. Este refuerzo se extenderá en 400m lineales (de los PKs 0+950 a 1+350). El diseño reforzado aumenta el factor de seguridad hasta valores 1.76 y 1.50 para las cotas +388 y +394 respectivamente.
- El diseño de la sección Gossan Norte ha sido también modificado ya que los factores de seguridad calculados para el diseño original alcanzaban valores de 1.07 y 0.97 para cotas +388 y +394 respectivamente. En este caso, el recrecimiento proyectado se apoya parcialmente en tres tipos de cimiento: aguas arriba, el dique se desarrolla sobre el sustrato rocoso, la zona central del cuerpo del dique se apoya sobre la antigua presa de Gossan (de altura reducida sobre el terreno natural) y la zona del pie del nuevo dique se apoya sobre un espesor de hasta unos 17 m de estériles antiguos (lamas) del vaso de Gossan tratado con columnas de grava. El refuerzo propuesto se basa en una ampliación de unos 7 metros de la zona tratada con columnas con grava sobre unos 220m lineales (PK 6+230 a PK 6+450). El diseño reforzado aumenta el factor de seguridad hasta valores 1.13 para la cota +388 y 1.13, *igualmente*, para la cota +394.
- En cuanto a las cinemáticas de rotura en muchas de las secciones la superficie de rotura alcanza las lamas de nuevo depósito. Se puede hacer notar que en el caso de las secciones Dique del Canal 4+400, Gossan Norte y Gossan Principal la superficie de rotura atraviesa las zonas de tratamiento con columnas de grava. La única sección donde la superficie de rotura alcanza el basamento rocoso, cimiento natural, es la sección Vaguada Norte sobre Falla Eduardo.
- En cuanto a los valores de factor de seguridad, los peores valores del orden de 1.13-1.19, corresponden a las secciones Vaguada Norte sobre Falla Eduardo, Gossan Norte, Gossan Principal y Dique de vertido.

Se considera que los valores calculados del factor de seguridad garantizan la estabilidad de las secciones calculadas a cotas +388 y +394 para el escenario propuesto C(H7).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

- Los dos informes anteriores elaborados por EPTISA en Julio 2021: “Informe Complementario” y “Adenda al Informe Complementario” contribuyen de forma notable a dar una mayor seguridad al proyecto de recrecimiento propuesto inicialmente “ACTUALIZACIÓN DEL PROYECTO MINERO VIGENTE DE RIOTINTO: DEPÓSITO DE ESTÉRILES” (APMRT). Se considera que la nueva caracterización propuesta basada en ensayos in-situ CPTU, contribuye a discernir de forma más precisa el estado de compactación in-situ de los materiales, su comportamiento dilatante/contractivo y su susceptibilidad a la licuación por flujo.
- Los resultados de los nuevos análisis de estabilidad propuestos en el “INFORME COMPLEMENTARIO ESTABILIDAD FASES INTERMEDIAS” con la definición de una hipótesis de carga en situación extrema mucho más conservadora, escenario C(H7), considerando el efecto simultáneo de un terremoto extremo, con periodo de retorno igual a 5000 años, y la licuación de los materiales lamas y arenas ciclonadas, contribuyen a dar mayor seguridad al proyecto de recrecimiento hasta las cotas intermedias +388 y +394. Se subraya que estos nuevos análisis han inducido un cambio en el diseño con el refuerzo de 2 secciones.

Finalmente, se vuelven a establecer las siguientes recomendaciones para los sucesivos recrecimientos:

- Realizar un estudio sismo-tectónico específico del emplazamiento del PRT que determine de forma más detallada las acciones sísmicas a considerar.
- Se propone también la instalación de una red de vigilancia sísmica en el entorno de DEP para determinar la ocurrencia de terremotos en el entorno, ya sean inducidos por la actividad minera, depósito de estériles, o de forma natural.
- Realizar un estudio tenso-deformacional acoplado (hidro-mecánico) dinámico para corroborar de forma más precisa las condiciones de estabilidad durante las fases de recrecimiento y en caso de terremoto (comprobación de los estados límites últimos ELU). Este análisis deberá simular la generación de sobrepresiones intersticiales y fenómenos de licuación en los materiales susceptibles. Se recomienda también, determinar con este análisis los movimientos horizontales y verticales esperados (comprobación de los estados límites de servicio ELS).
- Respecto de la auscultación, instrumentación y control, realizar un seguimiento en tiempo real de movimientos, niveles piezométricos, sobrepresiones intersticiales, caudales, volúmenes y calidad de las filtraciones que corroboren las hipótesis geotécnicas/hidrológicas realizadas en los estudios de estabilidad/deformación teóricos realizados, y sobre todo en los cálculos de las redes de flujo. Este control debería ser exhaustivo en todas las secciones del PRT con especial atención en las zonas de tratamiento con columnas de grava, entorno de las arenas ciclonadas, base o zona inferior del material grueso utilizado para el recrecimiento, falla Eduardo, etc.

- Definir umbrales a no sobrepasar de movimientos, niveles piezométricos y sobrepresiones intersticiales en los puntos de auscultación, así como protocolos de actuación y medidas de contención que garanticen la seguridad de las presas en todas las etapas del recrecimiento proyectado (comprobación de los estados límites últimos ELU y estados límites de servicio ELS).
- El recrecimiento proyectado se realiza sobre unas presas históricas que no disponen de un sistema de drenaje controlado. Existe actualmente una cantidad significativa de filtraciones (estimadas globalmente en torno a 3 hm³/año) que son recogidas en piscinas y revertidas de nuevo en el interior de las balsas. El proyecto APMRT no detalla la distribución de estas filtraciones así como su devenir tras el recrecimiento. Si bien EPTISA, en su respuesta al documento IGME, considera que *“los cálculos de la seguridad al deslizamiento de cada una de las hipótesis y secciones analizadas, no dependen en ningún caso del caudal de filtraciones observado”* y que *“Desde el punto de vista global, si no se producen erosiones internas o migraciones de finos, el drenaje del agua es un elemento positivo para la seguridad, ya que se reducen las presiones intersticiales y se facilita la consolidación de los materiales cercanos al muro”* se considera útil realizar un inventario y estudio del estado actual de las filtraciones determinando su número, localización, caudal y calidad con el fin de poder realizar un mejor futuro seguimiento y control sobre estas.
- Realizar autorizaciones parciales progresivas al proyecto de recrecimiento, y no una autorización única hasta la cota final proyectada (+417 m) con el fin de comprobar durante la fase de construcción las hipótesis de cálculo realizadas en la fase de proyecto y que atañen los cálculos de estabilidad propuestos.

Firmado electrónicamente por los autores del informe Madrid 11 de mayo de 2022

Firmado digitalmente por [Redacted] DNI [Redacted] Fecha: 2022.05.11 12:10:34 +02'00'

Firmado por [Redacted] DNI [Redacted] día 11/05/2022 con un certificado emitido [Redacted]

Científico Titular de OPI