

EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL DIQUE DE COLAS DE MINA BAJO DE LA ALUMBRERA Y RECOMENDACIONES PARA EL CIERRE

Eduardo Capdevila¹, Ricardo Barletta¹, Armando Massabie¹, Roberto Flores² y Sergio Spadari¹

¹ Ingeniería y Asistencia Técnica Argentina (IATASA), Tacuarí 32 9º (C1071AAB), Buenos Aires, Argentina

² Asesor geotécnico de IATASA, La Plata, Buenos Aires, Argentina

Mail de contacto: ecapdevila@iatasa.com

RESUMEN

El presente trabajo contiene los resultados de la Asistencia Técnica realizada por IATASA, contratada por el Consejo Federal de Inversiones (CFI) a solicitud de la Dirección Provincial de Gestión Ambiental Minera (DiPGAM), perteneciente a la Secretaría de Estado de Minería (SEM) de la Provincia de Catamarca. Consiste en la evaluación, modelación e interpretación de los datos existentes disponibles con el objeto de evaluar el estado actual del Dique de Colas y recomendar las intervenciones a realizar para el cierre de la explotación minera de la Alumbreira.

Las tareas desarrolladas incluyeron la recopilación y análisis de antecedentes, determinación de los parámetros geotécnicos, balance hídrico para la obtención de volúmenes de embalse, evaluación del riesgo sísmico y estudio de posibilidad de licuefacción de los relaves, modelación de la red de escurrimiento y evaluación de la estabilidad interna de la fundación y presa, estudio del estado de los drenes, estabilidad de taludes por medio de los métodos estático y pseudo estático, análisis dinámico y evaluación de la protección del talud de aguas abajo.

Se expresaron conclusiones sobre el estado actual del Dique de Colas (Presa de Relaves) y se efectuaron recomendaciones para próximas etapas operativas y para el cierre de mina.

Palabras clave: Presa, Relaves, Minera Alumbreira, Geotecnia

1. INTRODUCCIÓN - ALCANCE

Se presentan resultados de los trabajos de la Asistencia Técnica realizada por IATASA, contratada por el CFI a solicitud de la DiPGAM, consistente en evaluar, modelar e interpretar los datos existentes disponibles hasta noviembre de 2014, a fines de concluir sobre el estado actual del Dique de Colas y definir las intervenciones a realizar para el cierre de la explotación minera de La Alumbreira, ubicada en la Provincia de Catamarca. Se revisó y sistematizó la abundante información proveniente de las etapas de proyecto, construcción y seguimiento de la obra. Se obtuvieron resultados mediante la evaluación, modelación e interpretación de datos existentes sobre el Dique de Colas y se hicieron recomendaciones a considerar antes del cierre de la mina (ver Figura 1).



Figura 1 – Imagen satelital de la presa de relaves

2. DETALLE DE TAREAS REALIZADAS

El desarrollo de los trabajos incluyó: Recopilación de antecedentes; Análisis de parámetros geotécnicos; Balance hídrico, para la obtención de volúmenes de embalse; Estudio de infiltraciones y posibilidad de sifonamiento en fundación y presa; Estudio de estabilidad del talud de la presa; Verificaciones sísmicas; Estudio de erosión del talud para observar su comportamiento en el tiempo; Estudio del estado de los drenes y Capacitación a personal técnico provincial.

2.1 Recopilación de antecedentes. Análisis de parámetros geotécnicos

Caracterización Geológica del área de emplazamiento de la presa de relaves y sector de influencia

En rasgos generales, el sector correspondiente a la zona de servicios integrado por la presa de relaves, se dispone principalmente sobre mantos y diques de rocas andesíticas y basálticas (Complejo Volcánico Farallón Negro), sobre las que se apoya, en los sectores más deprimidos, una cubierta de depósitos cuaternarios aluvionales aterrazados de espesores variables, correspondientes a la cuenca del río Vis Vis.

Por el flanco oriental de la presa de relaves, margina el faldeo occidental escarpado de la sierra Bola del Atajo cuya composición está dominada por afloramientos de esquistos, gneises y granititas correspondientes al basamento paleozoico de Sierras Pampeanas.

La estructura tectónica en la comarca está integrada por tres juegos principales de fallas que se agrupan en fallas longitudinales de rumbo general N, fallas oblicuas de rumbo NO y en menor proporción NE, y fallas transversales de rumbo O.

Cada uno de estos juegos de fallas tiene una participación diferente en la porción abarcada por la presa de relaves y las colas acumuladas. Así toda la porción oriental que bordea la zona del vaso, estribo izquierdo y el sistema de afluentes por margen izquierda del río Vis Vis hasta el arroyo Atajo, está dominado por fallamiento longitudinal que

desarrolla un sistema de fallas paralelas, corrimientos de vergencia occidental, que controlan morfoestructuralmente el trazado del río Vis Vis.

El fallamiento oblicuo, de rumbo NO, tiene mayor expresión hacia el oeste en el área considerada y se materializa en fracturas de trazado recto, e inclinación subvertical.

Las fallas transversales de rumbo O, tienen una importancia relativa menor dentro del sector de la presa de relaves. Pero más al sur, a la latitud aproximada de la confluencia del arroyo Atajo con el río Vis Vis se dispone la falla más destacada en la parte analizada que pone en contacto el basamento paleozoico con las vulcanitas terciarias, y determina a su vez un límite morfoestructural de importancia en la porción austral de la concesión minera (falla Buenaventura).

2.2 Balance Hídrico, para la obtención de volúmenes de embalse

Se desarrollaron los lineamientos metodológicos adoptados a los fines de la estimación del riesgo hidrológico de que se produzca una crecida que eventualmente pueda sobrepasar el coronamiento del dique.

Se establecieron precipitaciones de recurrencias tales que presentan un riesgo de ocurrencia de 0.5% para períodos de 1 y 5 años. Este riesgo es el habitualmente aceptado en las grandes presas.

Se realizó, a partir de una curva cota – área – volumen simplificada, la evaluación de los eventuales niveles de embalse en el dique de colas, para las distintas cotas de coronamiento del cierre en los próximos cinco años y para los eventos de precipitación anteriormente indicados.

2.3 Estudio de Infiltraciones y posibilidad de sifonamiento en fundación y presa.

Se realizaron análisis de las redes de infiltración con el software Plaxis, ingresando en el modelo las cotas de proyecto y modelándose la estratificación en los relaves (ver Figura 2).

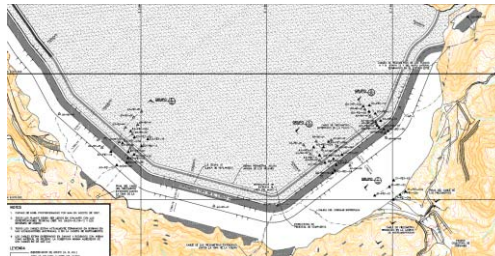


Figura 2 - Planta

Se extendió el modelo ajustado con la ubicación estimada del nivel freático y se efectuó la calibración con los caudales aforados en los drenes, según los registros suministrados de mediciones de los vertederos (ver Figura 3).

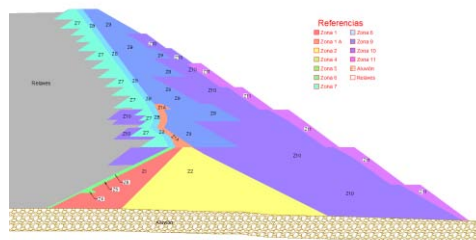


Figura 3 - Sección transversal

Se contempló en la corrida de filtraciones con el software Plaxis el funcionamiento del dren, piezómetros y anisotropía posibles de los materiales (ver Figuras 4 y 5).

También se analizó la variación de la cota de la laguna de sobrenadante.

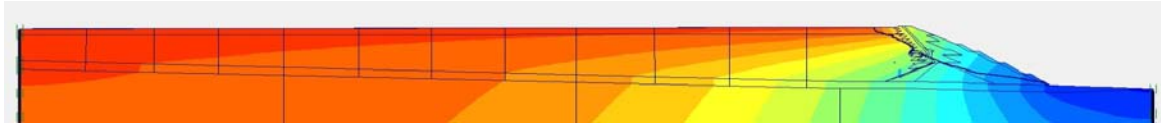


Figura 4 – Cota 2333 Nivel del embalse

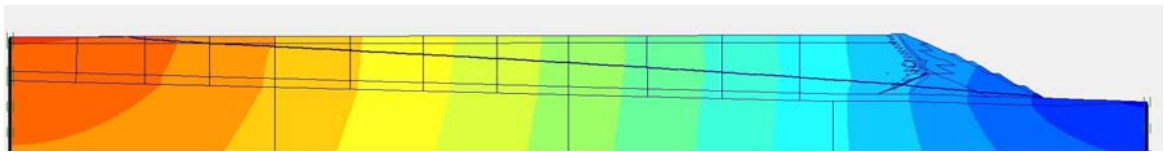


Figura 5 – Cota 2330 Nivel del embalse

2.4 Estudio de estabilidad del talud de la presa a

2.4.1 Método Estático

Se realizaron verificaciones de estabilidad al deslizamiento de los taludes ante solicitaciones estáticas del Dique de Colas. La modelación se realizó mediante el uso del software “Stabl for Windows” de aplicación para el cálculo de estabilidad de taludes (ver Figura 6).

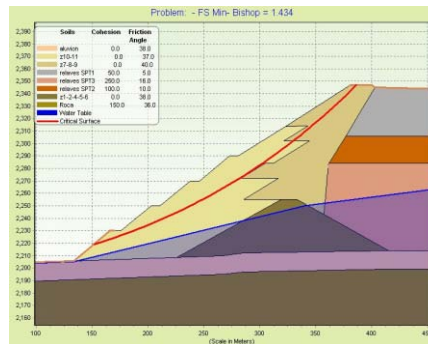


Figura 6 – Estabilidad de taludes de la presa

El estudio se desarrolló para la sección transversal de máxima altura, suministrada por la DiPGAM para la cota de coronamiento de 2347m (correspondiente al cierre de la mina). Se ha simplificado la geometría de la presa para su modelación, según puede verse en la siguiente figura.

Se recopiló información referente a los factores de seguridad adoptados en el diseño original de la presa de relaves, para su comparación con los que se obtienen en los cálculos ahora desarrollados.

Se analizó la implicancia de la ubicación del nivel freático en el análisis de estabilidad al deslizamiento de la presa. Para esto se tienen en cuenta tres posibles casos que se basan en las redes de escurrimiento calculadas para los distintos niveles y posiciones de la laguna de sobrenadantes.

2.4.2 Método post licuefacción

El análisis de estabilidad estática post sismo consiste en una evaluación de las condiciones de seguridad ante el deslizamiento, en un escenario subsecuente a la ocurrencia del terremoto máximo creíble, asumiendo que los relaves han licuado durante el desarrollo del mismo y, por lo tanto, mantienen solamente su resistencia residual.

2.4.3 Método pseudo estático

Para la aplicación del método pseudoestático se efectuó una revisión del informe de sismicidad presentado en los antecedentes. En el “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO PARA EL PROYECTO ALUMBRERA” se indican las aceleraciones de diseño para los terremotos máximo creíble de 42,1% de la gravedad (MCE, por sus siglas en inglés, *Maximum Credible Earthquake*); y el terremoto de base de operaciones de 17,33% de g (OBE por sus siglas en inglés, *Operating Basis Earthquake*).

Se realizaron corridas con el programa Stabl para la aceleración correspondiente al sismo de diseño OBE.

2.4.4 Modelo tensión – deformación

Se realizó la modelación del desarrollo del campo tensional durante la construcción. La misma, tiene una incidencia menor respecto a la seguridad de los rellenos, no obstante muestra una imagen del comportamiento de los rellenos frente a la diferente deformabilidad de los materiales intervinientes. Asimismo puede verificarse la acción del escurrimiento de agua dentro de la masa de rellenos.

La modelación realizada y presentada ha permitido la observación del comportamiento seguido por el depósito durante su ejecución. Se realizó con un modelo simplificado con lo que se entiende es un adecuado ajuste con valores observados sin que se detecten concentraciones de tensiones inadmisibles (ver Figura 7- Modelo tensión deformación).

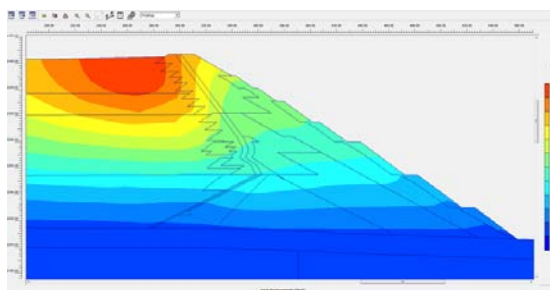


Figura 7 – Modelo tensión deformación

2.5 Verificaciones sísmicas

Durante los trabajos se han realizado verificaciones sísmicas (riesgo sísmico, estudios de licuefacción de relaves y análisis dinámico) cuya presentación excede el alcance del presente trabajo.

2.6 Estudio de erosión del talud

Para esta tarea se consideró el informe de “Evaluación de la erosividad del estéril y estabilidad potencial de la escombrera” (Diciembre 2011), la visita a la obra y la evaluación de los materiales de cobertura que se están considerando colocar. Se destacan los siguientes aspectos:

El clima de la región es árido con una precipitación media anual de 130 – 160 mm por año. Las lluvias se producen habitualmente en forma de intensos eventos de tormentas. La

evaporación anual (1.385 mm/año) es altamente superior a las lluvias lo cual determina un balance hídrico deficitario.

Con estos antecedentes, la aplicación de una cubierta del material disponible epidota clorita de varios metros de espesor (15 m) como protección de talud de aguas abajo de la presa de relaves prevista, se considera aceptable.

No obstante, durante el período de seguimiento inicial de la presa luego del cierre de mina, las observaciones sistemáticas de la cubierta de protección para verificar eventuales procesos erosivos, debería formar parte del control de variables que puedan señalar comportamientos no deseados.

No se dispone actualmente del proyecto de cierre de mina, ni del diseño de la cobertura del Dique de Colas para su condición definitiva, ya que se halla en elaboración por la empresa minera. Sobre la configuración final del espaldón actuarán los factores climáticos y de meteorización.

Se observó, en la visita a obra, que el estado de conservación general del espaldón de aguas abajo, es adecuado en la condición actual. No se observaron grandes erosiones ni deslizamientos.

En sectores puntuales se identificaron pequeños deslizamientos e incipiente desarrollo de cárcavas. Estos procesos se observaron en sectores donde el espaldón (1v:1.35h) está constituido por material de granulometría relativamente más fina. Se ha recomendado reconstituir el talud en la medida que se identifiquen deslizamientos y cárcavas, de manera de recuperar la seguridad y condiciones de diseño. También deberán considerarse la realización de tareas de mantenimiento periódico de los taludes.

En el diseño final de la protección se deberá tener en cuenta el material de cobertura, granulometría, su espesor y disposición en el espaldón de aguas abajo de manera de prever un buen comportamiento en el tiempo.

Esta tarea demandará que distintas disciplinas interactúen (erosión, estabilidad de presa y estabilidad química) para alcanzar un diseño óptimo del espaldón de aguas abajo de la presa. Especialmente se deberá prestar mucha atención a los requerimientos que suministre la DiPGAM en relación a la estabilidad química a partir del cierre de la mina.

2.7 Estudio del estado de los drenes

Este estudio se desarrolló con los análisis de: cumplimiento de las leyes de filtro, red de escurrimiento e informe de visita a obra. Deberán tenerse en cuenta las conclusiones y recomendaciones efectuadas para cada caso señalado.

Verificación de leyes de filtro en los materiales de la presa

Se analizaron las granulometrías de los materiales de la presa evaluando si se cumplen las leyes de filtro. Esto tiene como objetivo estudiar la posibilidad de que se produzca erosión interna, tubificación, arrastre de material, o colmatación de los drenes.

Se analizaron todos los materiales presentes en la sección de máxima altura de la presa, incluyendo las protecciones con material geotextil, las leyes de retención y permeabilidad (ver Figura 3- Sección transversal).

Se realizaron evaluaciones donde se compararon las envolventes de los materiales ubicados aguas arriba con los respectivos límites de los materiales ubicados aguas abajo, para los dos criterios de filtro enunciados.

Se trazaron las curvas granulométricas de los distintos materiales con los límites que resultan de las leyes de filtro. Se analizó el comportamiento del geotextil que recubre la zona Z5 del dren, cuya función es evitar la colmatación del dren con el material fino de los relaves que podría migrar a través del material Z6.

Visita a obra - Observación del agua de filtración

Se realizó una visita a Minera Bajo la Alumbraera del 26 al 29 de Agosto del 2014, en la que participaron integrantes de IATASA, del CFI y de la DiPGAM

Se pudo apreciar visualmente que el agua que fluye a través de los drenes de muro y de fundación es clara y no presenta turbidez, lo cual indica un buen funcionamiento.

2.8 Capacitación a personal técnico provincial

Se realizaron 3 cursos de capacitación en las oficinas de IATASA, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, en los que se trataron temas vinculados a las tareas desarrolladas.

3. RESUMEN DE CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Balance Hídrico

De los análisis orientativos realizados se desprende la importancia de asegurar que los rellenos se realicen efectivamente con un desnivel del orden de los cinco (5) metros entre la cota del coronamiento y el nivel de agua existente en la laguna de sobrenadante, dado que ello genera un volumen de almacenamiento suficiente.

Se recomienda en el marco del proyecto de cierre definitivo (cota de coronamiento 2347m IGN), profundizar los análisis aquí efectuados y, en particular, el diseño del vertedero destinado a manejar en forma controlada los eventuales excesos superficiales que de otra forma podrían poner en riesgo la estabilidad de la presa. Tal obra debería ser dimensionada a partir de la consideración de un evento de diez mil años de recurrencia, para, de esa forma, considerar la condición de niveles correspondientes al cierre de la obra.

Estudio de infiltraciones y posibilidad de sifonamiento en fundación y presa

Sobre la base de la información disponible, se modeló y calibró la red de escurrimiento del dique de colas, siendo muy sensible a la permeabilidad de los relaves. Los drenes funcionan participando del escurrimiento del agua en el dique de colas. Se contrastaron los resultados del modelo con las cotas piezométricas medidas disponibles, ya que parte de los piezómetros eléctricos se encuentran dañados u otorgan datos no muy confiables.

A medida que el pelo de agua libre desciende y se aleja de la presa va perdiendo incidencia en el funcionamiento de la misma, siendo ésta una condición favorable. Respecto a los gradientes hidráulicos se determinó en la modelación que están por debajo del gradiente crítico.

Se han efectuado cálculos de caudales de filtración y se los ha utilizado para la calibración del modelo. Se pudo estimar que los caudales de escurrimiento por el dren de la fundación del dique para la cota de cierre de mina podrían aumentar en un 20%.

Resulta conveniente tener más datos medidos en forma directa en distintos puntos representativos de la presa y su fundación. Para ello, se recomendó la instalación de 9 freatómetros en los relaves, presa y fundación, de manera tal de permitir un mejor conocimiento del comportamiento de la presa y el seguimiento de su evolución mediante un adecuado monitoreo o auscultación. La red de escurrimiento es utilizada en los cálculos de estabilidad.

Estabilidad

Se estudió la estabilidad estática del Dique de Colas, se citan a continuación las conclusiones de los análisis realizados.

Las bermas de material Z11 en el talud de aguas abajo con pendiente 1: 1,35 tienen un factor de seguridad inferior al requerido, pudiendo producirse pequeños deslizamientos. A pesar de esto la pendiente promedio del talud considerando las bermas (1: 1,75) mejora la

seguridad, respondiendo de manera global con un factor de seguridad mayor. Estas fallas locales en las bermas no pondrían en riesgo la estructura global, aunque generan condiciones de inestabilidad locales.

En las corridas correspondientes a la evaluación de la influencia del nivel freático, se apreció como disminuyen los factores de seguridad a medida que el nivel freático aumenta. Se recomendó la instalación de freatómetros en los relaves y fundación, de manera tal de permitir un mejor conocimiento del comportamiento de la presa y el seguimiento de su evolución mediante un adecuado monitoreo o auscultación.

Para los niveles freáticos medios a bajos la falla crítica se desarrolla por el cuerpo de la presa, sin pasar por los relaves, obteniéndose factores de seguridad adecuados. Resulta de importancia determinar la probabilidad con la que el nivel de la laguna de sobrenadantes se eleve de manera de que alcance el cierre de la presa con nivel freático alto, siendo esta situación obviamente la más desfavorable.

También se verificó la estabilidad, para el nivel freático en la situación más elevada, con los parámetros de los relaves que surgen del ensayo triaxial consolidado no drenado de la investigación geotécnica del año 2013 ($c=0$ y $\phi=35^\circ$). Estos parámetros pueden ser representativos del estado futuro donde las colas se espera que estén consolidadas, recomendándose verificar mediante ensayos triaxiales los parámetros geomecánicos.

Los factores de seguridad obtenidos no alcanzan los valores requeridos en el proyecto original frente a la condición estática ($FS \geq 1,5$). Los resultados son aceptables para la etapa prevista de construcción, pero se recomienda efectuar adecuaciones para la condición definitiva al cierre de la mina.

En el proyecto original, el Dique de Colas se diseñó con un talud aguas abajo con pendiente (1v:2h). Se estudió la estabilidad con la pendiente del proyecto original (1:2) y se obtuvieron factores de seguridad mayores o iguales a 1,5 para las distintas hipótesis de niveles freáticos. En la verificación del talud de aguas abajo de la presa, a realizar para el diseño final de cierre de mina, se deberá tener en cuenta la cobertura que se prevé por aspectos ambientales. Cabe señalar que este tema está en estudio por la empresa minera y la DiPGAM.

En síntesis, el proyecto original adoptaba un talud más tendido y por lo tanto con factores de seguridad más elevados, compatibles con los requeridos en los criterios de diseño considerados en la etapa del proyecto. La modificación de dichos taludes hace que los estándares no sean alcanzados.

Respecto al análisis estático post licuefacción se obtienen factores de seguridad aceptables para niveles freáticos bajos y medios. Con niveles freáticos más elevados, el factor de seguridad es menor al requerido en el diseño original de 1,3.

En relación a los factores de seguridad obtenidos por el método pseudo estático (muy cercanos a la unidad) cumplen el FS requerido en las condiciones en que el nivel freático es bajo a medio. Para nivel freático alto y los círculos que presentan pequeñas superficies, no se alcanzó dicho valor unitario.

Bajo la acción sísmica del OBE, no se prevé la ocurrencia de licuefacción en los relaves, mientras que para el MCE resulta probable la ocurrencia de licuefacción en los relaves, hasta una profundidad del orden de 47m, la cual dada la verificación de estabilidad de la presa no traerá consecuencias a la obra. Los asentamientos determinados en el análisis dinámico, para el evento sísmico destructivo MCE, pueden ser clasificados como "menores", y no amenazan la seguridad global del sistema.

Estado de los drenes- Leyes de Filtro

Se analizaron las leyes de filtro entre los materiales contiguos y en el sentido del escurrimiento siendo siempre considerado como filtro el material ubicado aguas abajo.

Los límites del material de relaves se confeccionaron respetando la envolvente de las curvas granulométricas de las muestras extraídas en la campaña de investigación de año 2013. Para los diámetros menores a 0,074 mm (pasa tamiz 200) se utilizó la información disponible: resultados de hidrometrías en pruebas de molienda piloto y granulometrías de estudios geotécnicos hasta el tamiz 400. Los valores de los diámetros D85 y D15 para el límite fino de los relaves fueron estimados. Es recomendable contar con análisis hidrométricos para verificar esta evaluación y, si fuera necesario, efectuar los ajustes que correspondan.

En el sector inferior de la presa se verificó un adecuado funcionamiento de los drenes según las leyes de filtro y las observaciones de los escurrimientos en la visita a la obra.

Las leyes de filtro se cumplen, en general, de manera adecuada entre los materiales de la presa. Según el criterio de retención se dan situaciones en las que el relave no sería adecuadamente retenido por el material de aguas abajo que hace de filtro. Esta situación no es significativa ya que se interpuso un geotextil, que recubre a la zona Z5, e incorpora una mejora significativa en lo que se refiere a evitar la migración de las partículas finas de los relaves hacia el dren.

Sin embargo, no se cumplen completamente los criterios de retención para el límite fino de los relaves, permitiendo que una porción de la parte fina de los mismos pueda migrar hacia el dren. No obstante, cabe señalar que no se observó migración de finos en los drenes aguas abajo de la presa.

Se dan situaciones en las que no se cumple la ley de permeabilidad. Se considera que dicha condición no dificulta el escurrimiento y drenaje de la presa por tratarse de materiales granulares netamente permeables.

En el sector superior de la presa (ver Figura 3- Sección transversal) por sobre las zonas 1 y 2) se aprecia que podría existir una posible migración del material de relaves dentro de la zona Z7, al ser el límite grueso del material Z7 mayor que el límite que fija la ley de filtro para retener los relaves. Los relaves finos pueden pasar por el Z7 y luego por el Z8. Esta situación podría presentarse si existe escurrimiento por este sector ya que no se dispone de geotextil que recubra el material Z8, zona de la presa que se proyectó como un dren, según información suministrada.

Se requiere un monitoreo adecuado de la presa para poder verificar si se producen anomalías en el funcionamiento de los drenes y de los filtros. Dentro de los monitoreos recomendados se incluye el análisis del agua de percolación, verificando el arrastre de finos (mediante la colecta de agua en la descarga directa de los vertederos de los drenes existentes). Se recomienda medir la turbidez, volumen y peso de sedimentos de las muestras; y efectuar análisis químicos.

En cuanto al escurrimiento, se deberá continuar con la evaluación de la eventual colmatación de los filtros y drenes, para lo cual se deberán contar con las lecturas de los piezómetros existentes y la instalación de freaímetros.

El diseño final de la presa para el cierre de mina, deberá incluir el proyecto de un sistema de auscultación y un programa de monitoreo, que permitan controlar el comportamiento de la obra a lo largo del tiempo, de manera que si se verificaran ocurrencias desfavorables puedan ser particularmente estudiadas y oportunamente tratadas.

Estudio de erosión del talud

Sobre la base de las modelaciones con parámetros representativos para el sitio La Alumbraera, (secuencias climáticas de baja energía), la aplicación de una cubierta del material epidota clorita de varios metros de espesor (15 m) como protección de talud de aguas abajo de la presa de relaves prevista, se considera aceptable.

Durante el período de seguimiento inicial de la presa luego del cierre de mina, las observaciones sistemáticas de la cubierta de protección para verificar eventuales procesos erosivos, formarán parte del control de variables que puedan señalar comportamientos no deseados.

No se dispone actualmente del proyecto de cierre de mina, diseño de la cobertura del Dique de Colas para su condición definitiva, que está en elaboración por la empresa minera. Por esto, no se evalúa la configuración final del espaldón que estará expuesta a los factores climáticos y de meteorización.

Se recomienda reconstituir el talud en la medida que se identifiquen deslizamientos y cárcavas, como parte de tareas de mantenimiento periódico de los taludes.

Para lograr un buen comportamiento en el tiempo del diseño final de la protección se deberá tener en cuenta el material de cobertura, su granulometría, espesor y disposición en el espaldón de aguas abajo.

Esta tarea demandará la atención sobre factores como erosión, estabilidad de presa y estabilidad química, para alcanzar un diseño adecuado del espaldón de aguas abajo de la presa.

4. AGRADECIMIENTOS

Destacamos la participación y agradecemos la colaboración de: los ingenieros Alfredo Fonda, Miguel Mauriño, Francisco Nava de IATASA, el ingeniero Francisco Bissio (asesor de IATASA en cálculos sísmicos), la Administración del Gobierno de la Provincia de Catamarca, la Secretaría de Estado de Minería y en particular a las ingenieras Olga Teresita Regalado y María Florencia Cambeses, del equipo de colaboradores de la DiPGAM y del Geólogo Claudio Trinca del CFI.