programa tranque

Monitoreo de avanzada para una minería responsable

DOCUMENTO CONFIDENCIAL

ESTÁNDAR DE MONITOREO Y EVALUACIÓN PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES

UNA PROPUESTA DESDE CHILE

DOCUMENTO CONFIDENCIAL

programa tranque

Monitoreo de avanzada para una minería responsable

ESTÁNDAR DE MONITOREO Y EVALUACIÓN PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES
UNA PROPUESTA DESDE CHILE

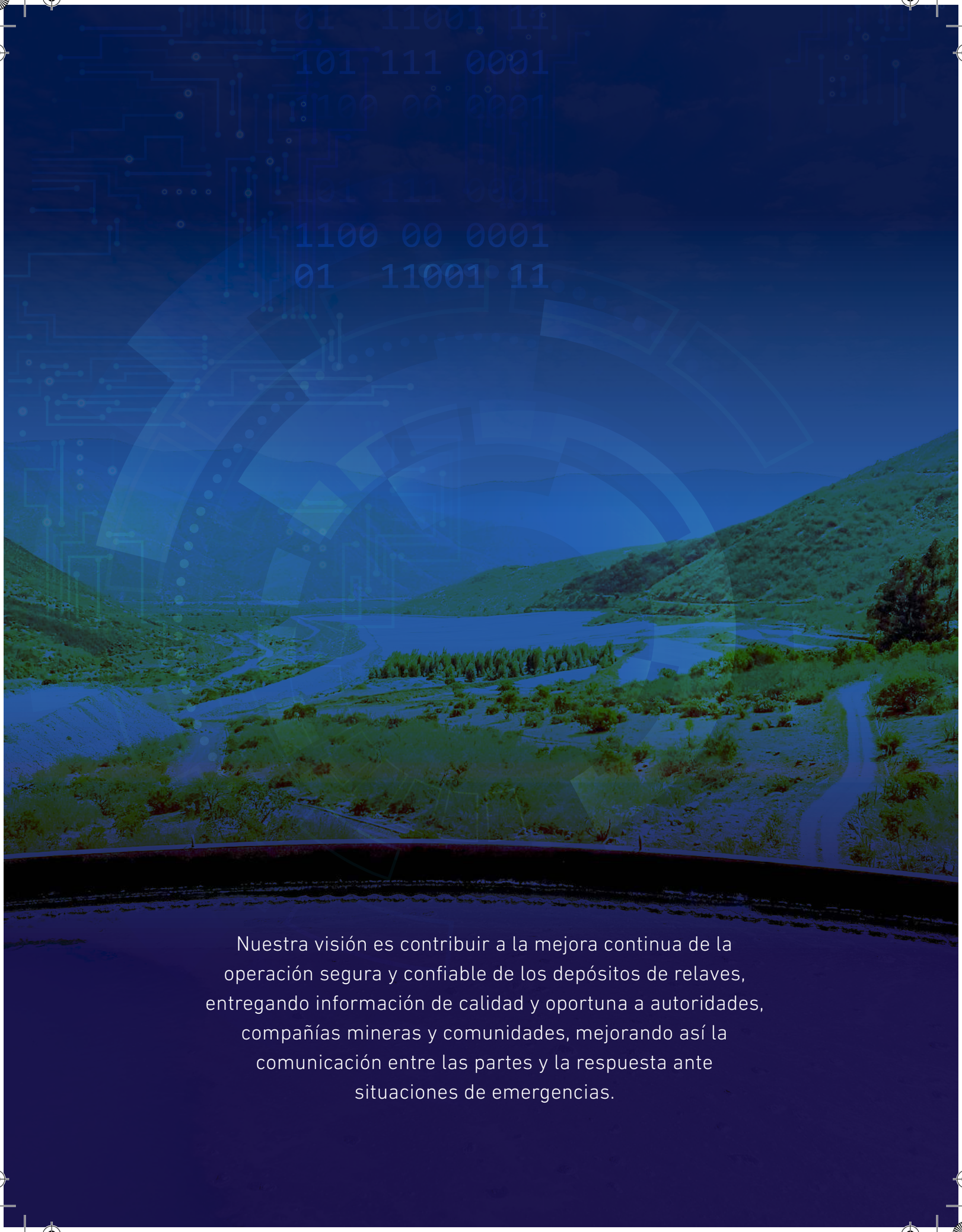
Visita: www.fch.cl/proyecto/sustentabilidad/tranque/
Documento Recomendado: Estándar de monitoreo y evaluación para la gestión de las aguas circundantes a los depósitos de relaves. Una propuesta desde Chile.

Autores: Equipo Programa Tranque
Edición: Equipo Programa Tranque
Traducción: Patricia Soto Ramos
Diseño y diagramación: Verónica Zurita Villena

Este documento está sujeto a nuevas modificaciones hasta el término del programa.

Reservados todos los derechos. Queda autorizada la reproducción total o parcial con previa autorización y citando fuente.

Actualizado a noviembre 2019, Santiago de Chile.



Nuestra visión es contribuir a la mejora continua de la operación segura y confiable de los depósitos de relaves, entregando información de calidad y oportuna a autoridades, compañías mineras y comunidades, mejorando así la comunicación entre las partes y la respuesta ante situaciones de emergencias.

PRÓLOGO

Aunque los mundos de la ciencia y la filosofía aún debatan sobre si la frase que Isaac Newton escribió a Robert Hooke en 1676 es de su autoría o si la tomó de un escrito de Juan Salisbury en 1159, lo cierto es que la mencionada frase: *"Si he visto más lejos es porque estoy sentado sobre los hombros de gigantes"* bien describe una característica relevante de Programa Tranque. El mundo que la frase nos trae a la mano, resalta la naturaleza colectiva de la iniciativa donde nos hemos apoyado; en los esfuerzos de muchos técnicos, científicos, empresas mineras, líderes comunitarios y políticos que, con su esfuerzo, a lo largo de ya hace unos tres años han dado vida al programa que describimos en este documento.

Nuestra organización, el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) se ha trazado como desafío revisar su plan estratégico, elaborando una propuesta para el período 2020 – 2023. En este sentido, estamos poniendo nuestro esfuerzo en la adaptación de nuestros procesos al influjo creciente de la industria 4.0 y priorizando las iniciativas de mejora en los productos estratégicos orientados a la comunidad y autoridades.

Hemos encontrado en los objetivos de Programa Tranque un alineamiento absoluto con nuestros objetivos y producto de ese alineamiento hemos planteado como nuestro, el desafío de la creación y administración del futuro Observatorio Nacional de Relaves, que permitirá advertir preventivamente los impactos frente a diferentes eventos que puedan ocurrir en estas instalaciones.

Este sistema es una herramienta fundamental para la gestión y control remota, entregando al Servicio información relevante respecto de los compromisos de cada depósito y cómo estos se monitorean durante la operación a modo de detectar potenciales desviaciones respecto del diseño aprobado. Este flujo de información y comunicación entre el Servicio y las compañías mineras permitirá orientar mejor los esfuerzos de fiscalización en terreno y la gestión de alertas preventivas, lo que es sin duda un gran avance para nuestro quehacer diario.

En esta misma línea, el sistema entregará información a las comunidades, que requieren entender y asumir que son actores activos de lo que ocurre en sus territorios.

El estándar de monitoreo de Programa Tranque que se presenta en este documento es relevante no solamente porque define técnicamente herramientas para monitorear todos los DR del país, sino que además, es un avance significativo para estandarizar mejores prácticas en la industria minera chilena, convirtiéndola en un referente mundial de la gestión de los depósitos.

Por esta razón, y por estos importantes avances, seguiremos apoyando y trabajando en la iniciativa, hasta que se implemente gradualmente a nivel nacional.

Jorge Vargas

Jefe del Departamento de Grandes Proyectos y Depósitos de Relaves, SERNAGEOMIN

PRESENTACIÓN

Uno de los resultados relevantes obtenidos en el marco de Programa Tranque **es el estándar de monitoreo para Depósitos de Relaves (DR)**. Este documento es producto de un trabajo colectivo y validado por todos los actores públicos y privados que participan del programa, e incluye las herramientas para evaluar el desempeño de la estabilidad física de estas instalaciones, así como el monitoreo y la evaluación de sus aguas circundantes.

Este estándar de carácter voluntario propone las variables críticas requeridas para el monitoreo, incluyendo frecuencia y densidad muestral/instrumental, y propone herramientas de evaluación. Los resultados obtenidos permitirán gestionar tempranamente potenciales situaciones de alerta o de emergencias a través de una plataforma de gestión de información.

El presente documento contiene una versión técnica del estándar para el monitoreo y evaluación de la estabilidad física, en adelante IEF.

En la introducción se describe brevemente la iniciativa Programa Tranque y se presenta un resumen de las herramientas de monitoreo para el desempeño de su estabilidad física y la evaluación de sus aguas circundantes y del sistema de monitoreo y alerta temprana.

En su segunda parte explica el IEF, el proceso de desarrollo y metodología aplicado por esta herramienta, sus objetivos, componentes, alcance y flujo general, partiendo por el proceso de entrada de los datos hasta la generación de alertas.

Finalmente, se detalla la implementación de cada módulo del IEF, los eventos y la gestión y comunicación del sistema de alerta.

Este estándar se alinea con la visión común de todos los participantes de Programa Tranque, que es el desarrollo de una minería sustentable, que permita conciliar el desarrollo de la industria con las vocaciones territoriales, a través de la ampliación del conocimiento sobre las operaciones de los DR.

PARTE I
INTRODUCCIÓN

La minería ha impulsado el desarrollo de Chile en su historia reciente, convirtiéndose en una de las principales actividades económicas del país. Hoy, los desafíos que impone el contexto mundial y nacional han llevado a la industria a reflexionar sobre sus prácticas y estándares de operación, impulsando que diversas iniciativas estén poniendo foco en elaborar lineamientos y llevar a cabo acciones que fomenten un desarrollo sustentable de la minería.

Considerando que Chile es el tercer país con más DR en el mundo, y que estas instalaciones son fundamentales para la industria, es ineludible el desarrollo de soluciones que fortalezcan su gestión para mejorar el control de su desempeño y su relación con el entorno donde están insertos. Además, debido a los últimos acontecimientos catastróficos registrados a nivel internacional, no solamente se deben abordar aspectos de carácter ambiental regulados bajo diferentes normativas, o aspectos sociales que le otorguen licencia social para operar, sino que además se enfrenta al desafío de mantener la confianza de inversionistas, que proveen a la industria la licencia financiera para mantener su desarrollo.

Para contribuir a la operación segura de los DR del país, mejorando la coordinación y las relaciones de confianza entre los diferentes actores involucrados, y posicionar a Chile como referente mundial en la gestión de estas instalaciones, nace el Programa Tecnológico de Monitoreo en Línea de Depósitos de Relaves (PROGRAMA TRANQUE).

Programa Tranque es una iniciativa pública-privada, iniciada a fines del año 2016, cuyo fin es el desarrollo de un bien público correspondiente a un sistema estandarizado de monitoreo y alerta temprana para DR, el que a través de una plataforma de gestión de información, proporcione a los actores involucrados (autoridades, compañías mineras y comunidades) información de calidad, confiable y oportuna sobre el desempeño de los depósitos en ámbitos de estabilidad física y monitoreo de aguas circundantes. La iniciativa, bajo el alero del Programa Alta Ley, es co-diseñada e implementada por Fundación Chile, CORFO, Ministerio de Minería, Servicio Nacional de Minería y Geología (SERNAGEOMIN), Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI), Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), Dirección General de Aguas (DGA), Antofagasta Minerals (AMSA), BHP, CODELCO, Empresa Nacional de Minería (ENAMI), Sociedad Nacional de Minería (SONAMI), INRIA Chile, Centro Avanzado de Tecnología para la Minería de la Universidad de Chile (AMTC) y Valor Compartido.

En 2018, esta iniciativa tomó un nuevo impulso al ser considerada dentro de la Política Nacional de Relaves anunciada por el Ministerio de Minería, que dentro de sus pilares considera la implementación de herramientas para la gestión de depósitos activos, por medio de la creación del Observatorio Nacional de Relaves.

El sistema diseñado incorpora dos componentes que se relacionan entre sí: (1) el sistema de monitoreo que incluye los métodos y tecnologías de captura de datos, su recolección, procesamiento, análisis o cálculo y visualización diferenciada de la información obtenida para la definición del desempeño del depósito, y (2) el sistema de alerta temprana considera la comunicación de eventos y alertas hacia los principales actores; organismos públicos, compañías mineras y comunidades, en situaciones de eventuales emergencias, homologadas a la nomenclatura que utiliza ONEMI, para su mejor comprensión.

El sistema de monitoreo desarrollado en el marco de Programa Tranque se sustenta en un estándar que define una serie de criterios técnicos para el monitoreo y evaluación de la estabilidad física de los depósitos y de sus aguas circundantes. Este estándar, ha sido consensuado con todos los participantes de esta alianza público-privada.
Para evaluar el desempeño de la estabilidad física de un depósito de relaves, Programa Tranque ha desarrollado una herramienta que evalúa la condición del depósito en base a los tres principales mecanismos de falla (rebalse, erosión interna e inestabilidad de taludes) que pueden afectar la estabilidad física, dentro de los cuales hay dos módulos secuenciales de evaluación, que se diferencian por la frecuencia, cantidad y complejidad de la información requerida. El propósito de la herramienta de evaluación de estabilidad física es conocer y comunicar el desempeño del depósito frente a factores como: el lugar de emplazamiento, el diseño escogido y la operación, con el fin de tener una representación integral que permita fortalecer la gestión preventiva de los DR.
El desempeño de un DR en relación con sus aguas circundantes es abordado por Programa Tranque mediante el desarrollo de cuatro herramientas que permiten monitorear el comportamiento y evaluar tempranamente las potenciales afectaciones de una serie de variables definidas como críticas, tanto subterráneas como superficiales. Estas herramientas son: Índice de riesgo, Índice de impacto, sistema de gestión temprana y análisis de tendencia.
Las propuestas técnicas de estas herramientas fueron realizadas por los equipos de AMTC y de Fundación Chile, y su elaboración y aprobación contó con la participación de los especialistas de todas las instituciones participantes de Programa Tranque.
El presente documento presenta en detalle el estándar de monitoreo del programa y su funcionamiento desde el ingreso de datos, su análisis, gestión y comunicación de alertas.

PARTE II
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL IEF

En el marco de Programa Tranque, y complementando la definición de la ley chilena N° 20551, el concepto de estabilidad física de un depósito de relaves, se define como el estado de equilibrio estructural en el cual perturbaciones hidromecánicas no generan falla, colapso, remoción o liberación de relaves. Para asegurar la estabilidad física es necesario efectuar controles y monitorear una serie de parámetros críticos. Estos últimos representan propiedades de un depósito de relaves que, individualmente o en combinación con otros parámetros, podrían afectar la estabilidad física[1]. El IEF, es una herramienta diseñada para evaluar la estabilidad física de un depósito de relaves a partir de información cualitativa y cuantitativa obtenida de sensores, observaciones en terreno y juicio experto.

Los objetivos del IEF son:

(1) Identificar y monitorear los parámetros críticos que determinan la estabilidad física de un depósito de relaves, de acuerdo con el actual marco regulatorio nacional, las mejores prácticas internacionales y las recomendaciones de la autoridad.

(2) Centralizar toda la información de monitoreo en una única plataforma, manteniendo un registro histórico de todos los eventos anómalos ocurridos durante la operación, documentos de respaldo del diseño y planos as-built.

(3) Integrar modelos (numéricos, empíricos y analíticos) que permitan efectuar una evaluación integral de la estabilidad física.

(4) Identificar y registrar eventos irregulares durante la operación (monitoreo cualitativo y cuantitativo) de modo de entregar recomendaciones generales para un adecuado proceso de gestión y control.

(5) Comunicar el desempeño del depósito de relaves de acuerdo a las variables monitoreadas para responder de manera efectiva a las situaciones que pudieran poner en peligro su estabilidad física.

El IEF evalúa la activación de un mecanismo de falla que es un proceso, o secuencia de procesos, causados por un evento gatillador, como fenómenos naturales o un problema operacional, que puede provocar la falla del depósito y posterior pérdida de la capacidad de contención. De acuerdo a esta definición, el IEF clasifica un importante número de modos de falla, tomados de la literatura técnica, en tres grupos: rebalse, erosión interna e inestabilidad de taludes. Estos se describen a continuación:

Rebalse ocurre cuando el volumen de entrada, ya sea de relaves o agua, a la cubeta excede su capacidad, generando un rebalse por sobre el coronamiento y el talud aguas abajo del muro. El rebalse puede erosionar el muro de contención, produciendo una falla progresiva que puede resultar en la formación de una brecha.

Erosión interna consiste en la migración de material al interior del muro de contención o del suelo de fundación, que genera la formación de conductos que favorecen flujos preferentes para la circulación de agua o relaves. Las cavidades resultantes promueven el avance de la erosión que, a su vez, pueden generar una falla local o global del depósito o del suelo de fundación.

Inestabilidad de taludes corresponde al deslizamiento de una sección del talud del muro a lo largo de una superficie de falla, debido al aumento de las fuerzas desestabilizadoras con respecto a las resistentes. La estabilidad de los taludes está determinada, principalmente, por la geometría del muro (p.ej., altura y ángulos de inclinación de los taludes), las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que forman el muro y el suelo de fundación.

1. El estándar propuesto por Programa Tranque tiene el carácter de voluntario y no corresponde a una norma.

Se han definido los parámetros críticos y la metodología para estimar los valores umbrales de los parámetros críticos y los eventos gatilladores que pueden desembocar en el desarrollo de cada uno de los mecanismos de fallas. La Figura 1 muestra el modelo conceptual de la definición del IEF.

FIGURA 1.
Modelo conceptual del IEF.
También se presentan ejemplos de eventos gatilladores, parámetros críticos, criterios de aceptabilidad y métodos de integración.

El IEF está formado por dos módulos interrelacionados que son evaluados en secuencia (Figura 2) y descritos de la siguiente forma:

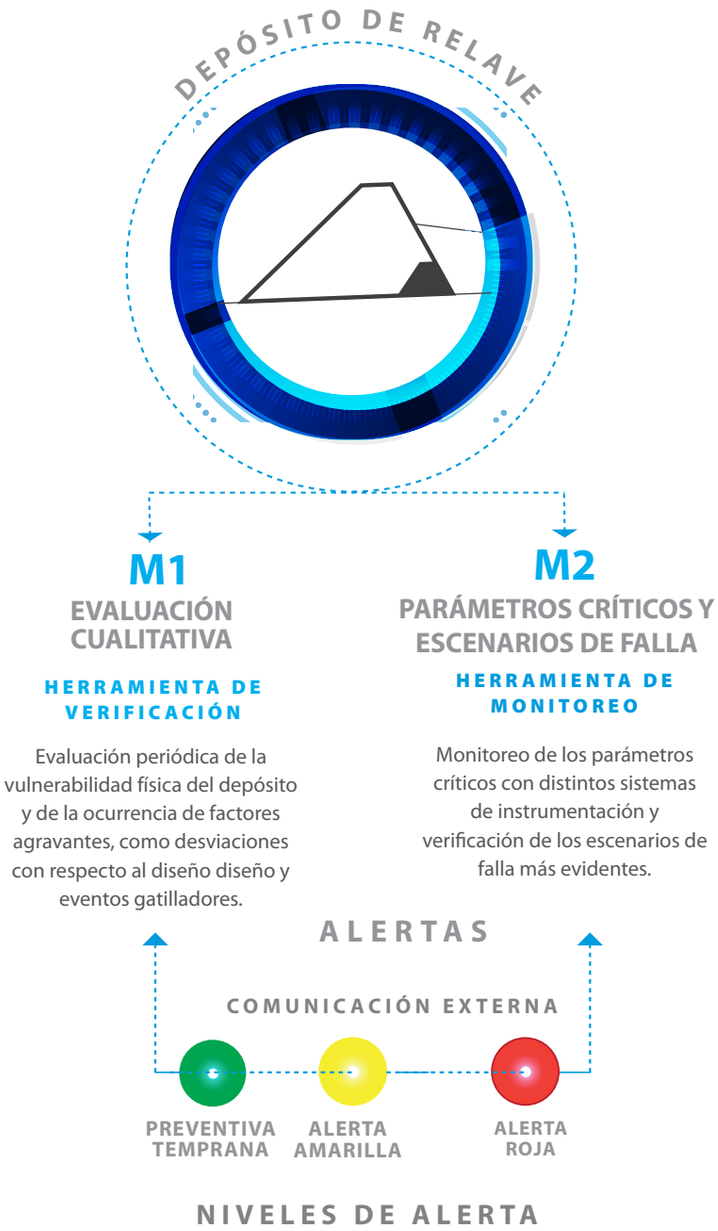
M1

Módulo 1 Evaluación cualitativa:
Herramienta de verificación cualitativa que periódicamente evalúa la vulnerabilidad física de un depósito de relaves y verifica la presencia de factores agravantes tales como desviaciones con respecto al diseño y eventos que puedan facilitar la activación de un mecanismo de falla.

M2

Módulo 2 Verificación de parámetros críticos y escenarios de falla:
Herramienta de monitoreo que verifica la condición física del depósito de relaves mediante el análisis de los datos de monitoreo de los parámetros críticos y sus tendencias en relación a los valores umbrales. La excedencia de los umbrales puede activar distintos tipos de alertas, dependiendo de la gravedad de la situación. Esta herramienta también verifica la ocurrencia simultánea de valores de parámetros críticos anómalos y de eventos gatilladores que pudieran configurar un escenario de falla, cuya definición depende del análisis de los tipos de fallas históricas más comunes.
Los resultados de las evaluaciones de los módulos M1 y M2 se utilizan para emitir comunicaciones externas a las partes interesadas sobre la estabilidad física del depósito de relaves.

FIGURA 2.
Estructura del IEF



PARTE III
DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL IEF Y SU IMPLEMENTACIÓN

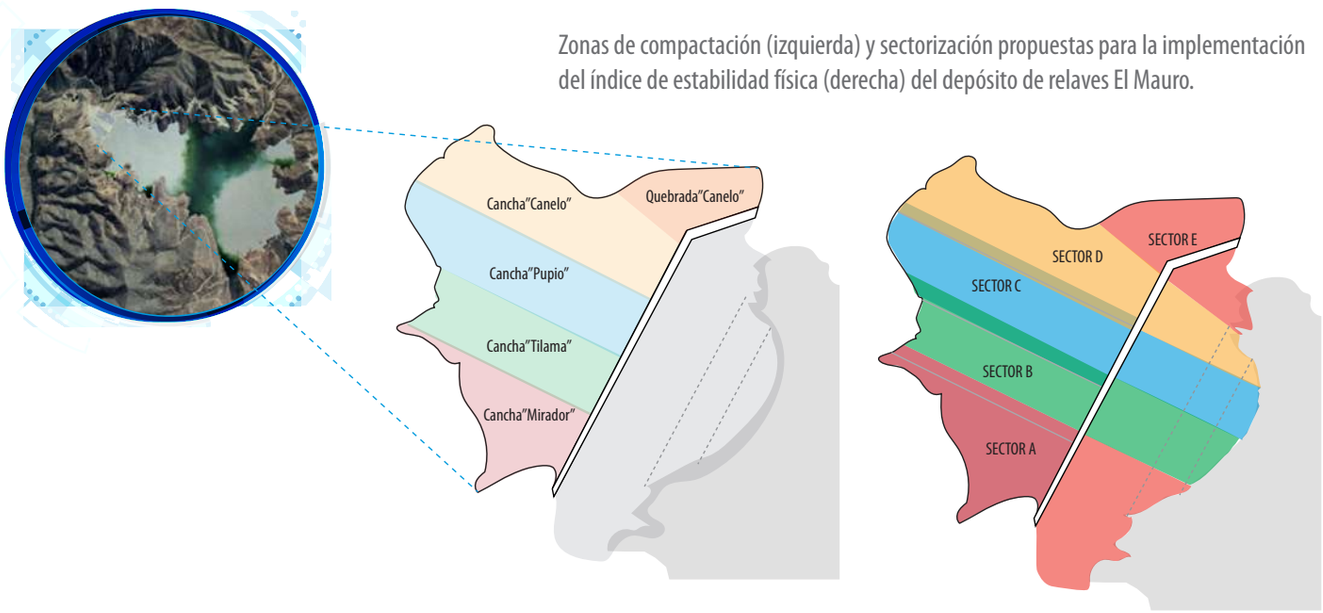
1. IMPLEMENTACIÓN

El primer paso en el proceso de implementación es la sectorización del muro de contención, que consiste en dividir la superficie del muro en sectores, en base a distintos criterios, con el fin de discretizar las áreas de monitoreo y de facilitar el análisis de eventos múltiples o de situaciones anómalas (Figura 3). El proceso de sectorización incluye los siguientes criterios:

- Formar sectores de, aproximadamente, 200 metros de longitud a lo largo de la dirección longitudinal del muro.
- En el caso de muros de arenas de relave, acomodar los sectores a las zonas de descarga o áreas de compactación.
- Distribuir los sectores de acuerdo a la geometría del sistema de drenaje, priorizando la localización de los drenes principales cercanos al eje central de los sectores.
- Definir sectores independientes, donde se detecten cambios en las condiciones geotécnicas del suelo de fundación.
- Definir sectores independientes, donde el muro de contención presente cambios en la dirección del eje longitudinal y cambios en la sección transversal (p.ej., ángulos de inclinación).
- Los estribos del muro de contención se consideran sectores independientes.
- Los DR con más de un muro debieran ser sectorizados aplicando los mismos criterios para cada muro.

FIGURA 3.
Sectorización del muro de contención de los sectores de depositación, como parte del proceso de implementación del IEF

Zonas de compactación (izquierda) y sectorización propuestas para la implementación del índice de estabilidad física (derecha) del depósito de relaves El Mauro.



2. MODULO 1: EVALUACIÓN CUALITATIVA

Este módulo de verificación cualitativa evalúa periódicamente la vulnerabilidad física del depósito de relaves y verifica la presencia de factores agravantes, como desviaciones con respecto al diseño y eventos que puedan facilitar la activación de mecanismos de falla. La evaluación se efectúa sobre la base de información recopilada en las inspecciones de rutina que lleva a cabo periódicamente el operador del DR. La Figura 4 resume las etapas de la evaluación cualitativa y, la Tabla 1, describe los elementos que participan en el proceso de evaluación.

FIGURA 4.
Etapas de la evaluación cualitativa (M1)

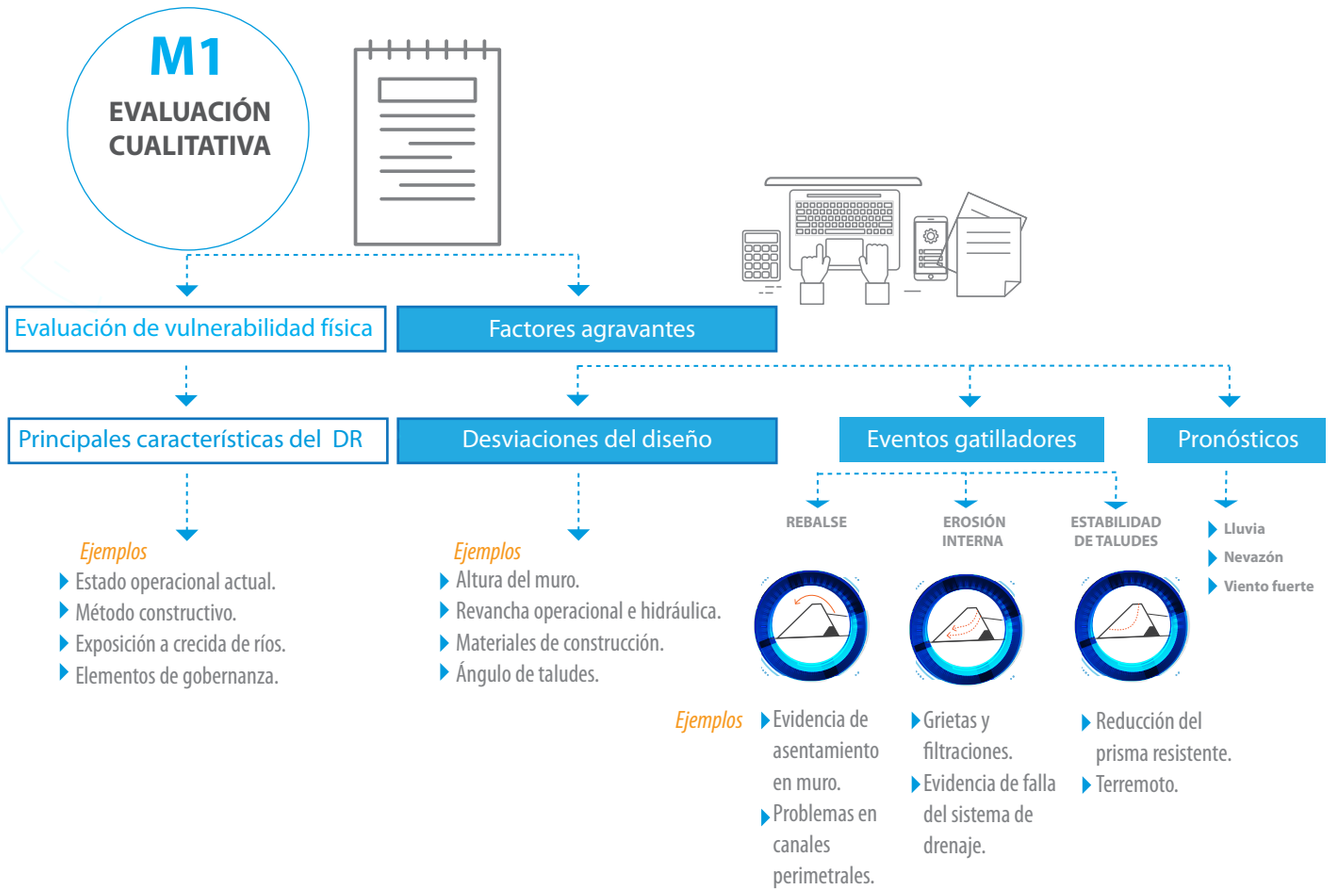


Tabla 1. Elementos de la evaluación cualitativa (M1) del IEF

Etapa	Descripción	Aspectos evaluados
Evaluación de la vulnerabilidad física	Esta evaluación asigna puntaje a los depósitos de acuerdo a distintas características y condiciones. La vulnerabilidad física es directamente proporcional al puntaje (un depósito con un puntaje alto es más vulnerable, físicamente, que otro con puntaje inferior). Se recomienda una evaluación mensual.	• Estado operacional actual. • Método constructivo. • Tipo de relaves (i.e., convencionales, espesados, en pasta). • Elementos de gobernanza (p. ej., existencia de un ingeniero de registro, persona competente y/o panel de revisores). • Instrumentación geotécnica operativa. • Exposición a crecida de ríos. • Exposición a acumulación de escorrentías. • Exposición a avalanchas y/o inundaciones. • Diseño actualizado.
Factores agravantes: Desviaciones del diseño	Inspección visual diaria en base al criterio del operador y orientada a la identificación temprana de problemas en el depósito. Esta inspección visual no requiere instrumentos ni mediciones en terreno.	• Altura de coronamiento. • Revancha operacional e hidráulica. • Ancho de coronamiento. • Superficie del muro de contención y cubeta. • Ubicación y tamaño de la laguna de aguas claras. • Talud aguas abajo y aguas arriba del muro. • Uso de materiales de construcción adecuados en el muro. • Instalación y estado de la geomembrana aguas arriba del muro.
Factores agravantes: Verificación de eventos gatilladores.	Verificación diaria de la presencia de eventos gatilladores que pudieran afectar la estabilidad física del muro de contención. El objetivo es la detección temprana de distintos eventos.	• Movimiento sísmico perceptible. • Movimiento sísmico intenso (imposible permanecer en pie). • Reducción del prisma resistente al pie del muro. • Distribución inadecuada de lamas y relaves dentro de la cubeta. • Deslizamiento superficial en un sector del muro de contención. • Deslizamiento de un sector importante del material de la superficie del muro que afecte la geometría del talud. • Problemas de estabilidad de los estribos del muro. • Falla o bloqueo del vertedero de emergencia. • Modificación de la cota operacional del vertedero de emergencia. • Falla en el sistema de recuperación de aguas claras. • Falla o bloqueo de canales perimetrales. • Evidencia de asentamientos diferenciales en el muro. • Evidencia de falla en el sistema de drenaje. • Filtraciones o humedad inusual en el muro. • Subsidencia o socavones en el muro. • Subsidencia o socavones en la cubeta de relaves cercana al muro. • Grietas en el muro. • Deslizamiento inminente del terreno natural hacia el interior de la cubeta de relaves. • Deslizamiento del terreno natural hacia el muro o sectores críticos. • Detección de material particulado a la salida del sistema de drenaje. • Lluvia en desarrollo. • Rebalse de lamas o aguas claras.
Factores agravantes: Pronósticos	Verificación diaria de los distintos pronósticos meteorológicos que pudieran afectar el depósito de relaves.	• Lluvia • Nevazón • Viento fuerte

El Anexo 1 incluye una descripción detallada de cada una de las etapas y los aspectos evaluados.

3. MODULO 2: PARÁMETROS CRÍTICOS Y ESCENARIOS DE FALLA

El Módulo 2 incluye dos importantes herramientas de evaluación: el análisis de parámetros críticos y la verificación de escenarios de falla. Ambos se escriben a continuación.

1. Parámetros críticos

El Módulo 2 del IEF compara los valores de los parámetros críticos registrados con los valores umbrales establecidos por la legislación chilena, el diseño del depósito de relaves y las mejores prácticas operacionales existentes. Además, este Módulo monitorea la evolución temporal de estos parámetros críticos. El IEF indica que los parámetros críticos deben ser registrados, manual o automáticamente, con cierto nivel de frecuencia y precisión para incluir los datos adecuadamente en el proceso de evaluación de la estabilidad física.

Este Módulo fue desarrollado de manera tal que los datos puedan ser recopilados tanto por instrumentos conectados en línea, como por instrumentos de medición manual. La Tabla 2 presenta un resumen de los 30 parámetros críticos incluidos en el IEF y un detalle de sus requerimientos asociados, como la frecuencia, precisión y densidad instrumental.

Tabla 2. Parámetros Críticos

Categorías	Descripción	Parámetros Críticos	Unidad	Frecuencia	Precisión	Densidad instrumental
Aspectos geométricos	Parámetros que describen la geometría del depósito	Altura del muro	[m.s.n.m]	Semanal (muro de relaves) Mensual (muro de empréstito)	0,1	1 medición por perfil. 2 perfiles por sector.
		Ancho de coronamiento	[m]	Mensual	0,1	1 medición por perfil. 2 perfiles por sector.
		Talud del muro	[H:V]	Mensual	0,1	1 medición por perfil. 2 perfiles por sector.
		Pendiente de la playa (aplicable a relaves espesados y en pasta).	[H:V]	Mensual	0,1	1 medición por perfil. 2 perfiles por sector.
		Distancia mínima entre el muro y la laguna de aguas claras.	[m]	Semanal	1	1 medición por sector.
Deformaciones	Parámetros que monitorean deformaciones del muro de contención y suelo de fundación.	Deformación del suelo de fundación.	[m]	Semanal	0,01	Inclinómetros ubicados en sectores críticos (definido por diseño, ingeniero de registro o similar).
		Deformación del muro.	[m]	Semanal	0,01	Inclinómetros ubicados en sectores críticos (definido por diseño, ingeniero de registro o similar); monolitos a lo largo de los perfiles / 2 perfiles por sector.
		Deformación del coronamiento.	[m]	Semanal	0,01	1 monolito en el coronamiento de cada perfil / 2 perfiles por sector.
Integridad externa	Parámetros asociados a la integridad externa del depósito que pueden ser detectados visualmente.	Grietas	-	Diaria	-	-
		Humedad o filtraciones.	-	Diaria	-	-
		Subsidencia o socavones.	-	Diaria	-	-
		Integridad de los estribos.	-	Diaria	-	-

Tabla 2. Parámetros Críticos

Categorías	Descripción	Parámetros Críticos	Unidad	Frecuencia	Precisión	Densidad instrumental
Aspectos operacionales	Parámetros relacionados con el proceso de levantamiento, depositación y monitoreo interno del muro de contención, en general.	Revancha hidráulica.	[m]	Cada 1 hora	0,1	2 sensores instalados en la laguna de aguas claras.
		Revancha operacional.	[m]	Semanal	0,1	1 medición por perfil. 2 perfiles por sector.
		Volumen de relaves depositados.	[ton]	Mensual	1	Monitoreo a cargo de la planta concentradora.
		Estado del vertedero de emergencia.	-	Diaria	-	Monitoreo a cargo del depósito
		Nivel freático en la cubeta (aplicable a relaves espesados y en pasta).	[m.s.n.m]	Semanal	0,1	Piezómetros ubicados en sectores críticos (determinado por el diseño, ingeniero de registro o similar).
		Presión de poros (muro y suelo de fundación).	[m.s.n.m]	Cada 1 hora	0,1	4 instrumentos por sector (2 a nivel de coronamiento y 2 en el talud aguas abajo).
		Intensidad de la lluvia.	[mm/h]	Cada 1 hora cuando está lloviendo.	1	2 mediciones asociadas a la estación.
		Potencial de rebalse (razón entre la capacidad de la cubeta y el volumen de agua entrante).	-	Cada 1 hora cuando existan pronósticos de lluvia o cuando está lloviendo.	-	Medición en plataforma global.
		Distribución granulométrica del material del muro.	[%]	Semanal	1	De acuerdo al diseño y la operación.
		Densidad del material del muro.	[%]	Semanal (para muros de relaves).	1	De acuerdo al diseño y la operación.
Aspectos de diseño	Parámetros relacionados con la documentación que respalda el diseño y la construcción del depósito	Aceleración sísmica.	[m/s²]	Frecuencia de muestreo de movimiento telúrico intenso: 100-200 Hz	1	Un par de acelerógrafos en el coronamiento del muro, en la base del terreno natural y en un afloramiento rocoso.
		Estudio del umbral de revancha mínima.	-	Cada 5 años	-	-
		Rigidez y resistencia al corte del muro.	-	SPT, CPT o ensayos similares: campaña anual. Ensayos de laboratorio: campaña anual.	-	Ensayos en el muro sugeridos por el diseño, ingeniero de registro o similar.
		Caracterización geotécnica adecuada del suelo de fundación.	-	Documentación asociada al período de diseño.	-	-
		Resistencia al corte de los relaves en la cubeta (aplicable a relaves espesados).		Ensayos en la cubeta sugeridos por el diseño, ingeniero de registro o similar.		Ensayos en la cubeta sugeridos por el diseño, ingeniero de registro o similar.

Tabla 2. Parámetros Críticos

Categorías	Descripción	Parámetros Críticos	Unidad	Frecuencia	Precisión	Densidad instrumental
Operatividad del sistema de drenaje	Parámetros relacionados con el monitoreo de la integridad del sistema de drenaje.	Cumplimiento de las características de diseño del sistema de drenaje.	-	Documentación asociada al período de diseño y construcción	- -	-
		Integridad del sistema de drenaje.	[m.s.n.m] [L/h]	Piezómetros: 1 hora Flujómetro: 1 hora	0,1 10	Piezómetros: Según lo requiera el diseño / Flujómetro: 2 instrumentos a la salida de cada dren.
		Turbidez del sistema de drenaje.	[NTU]	Turbidímetro: 1 h Inspección visual: diaria	10	Turbidímetro: A la salida de cada dren.

2. Verificación de Datos

Los parámetros críticos monitoreados, con herramientas manuales o automáticas, son verificados antes de ingresar al proceso de evaluación del módulo M2. La primera validación consiste en verificar el sentido físico de las variables ingresadas. Por ejemplo, el nivel piezométrico no puede ser inferior a la altura de la instalación del piezómetro. También se validan las planillas utilizadas para el ingreso manual de datos. Finalmente, el módulo M2 verifica constantemente las fallas instrumentales y problemas con el ingreso de datos desde los instrumentos en línea. La Figura 5 muestra la recopilación de datos y el proceso de verificación en el M2.

FIGURA 5.
M2: Recopilación de datos y proceso de verificación

3. Verificación de Escenarios de Falla

El módulo M2 también verifica la activación de condiciones que pueden configurar escenarios de falla, que son la combinación de valores de parámetros críticos, con la presencia de eventos gatilladores que pueden conducir a las fallas más comunes en DR. El IEF define un total de 12 escenarios de falla sobre el análisis de las fallas históricas mejor documentadas en la literatura (Tabla 3).

Tabla 3. Escenarios de falla incluidos en el módulo M2.

Escenario de falla	Nombre	Descripción
IT-01	Inestabilidad por sismo y efectos adversos.	Ocurrencia de evento sísmico perceptible combinado con un aumento de la presión de poros y evidencia de filtraciones o grietas en el muro después del evento sísmico.
IT-02	Inestabilidad por aumento de la presión de poros con evidencia de deformación.	Detección de aumento de la presión de poros combinado con evidencia de deformación del muro.
IT-03	Inestabilidad por licuación estática.	Condición del muro tras detectar una capa interna con baja densidad in-situ y una alta presión de poros, tal que no se cumplen los factores de seguridad mínimos en un análisis de estabilidad en condición no drenada.
IT-04	Inestabilidad por solicitación cíclica.	Condición del muro tras detectar una capa interna con baja densidad in-situ y alta presión de poros, combinado con la ocurrencia de un sismo.
IT-05	Inestabilidad por pérdida de integridad de estribos.	Detección de problemas en la integridad de los estribos originados por grietas, filtraciones o desplazamientos, combinados con reducción de la distancia entre la laguna de aguas claras y el muro, una alta presión de poros o filtraciones generalizadas en el mismo sector.
IT-06	Inestabilidad por deslizamiento en el muro.	Ocurrencia de deslizamiento superficial en el sector del muro combinado con la aparición de grietas en el mismo sector y, a lo menos, la detección de alta presión de poros, la presencia de filtraciones o reducción de la distancia entre la laguna de aguas claras y el muro.
EI-01	Erosión interna por filtraciones no controladas.	Evidencia de filtraciones en el muro combinadas con alta presión de poros, turbidez del sistema de drenaje, aparición de grietas o reducción de la distancia entre la laguna de aguas claras y el muro.
EI-02	Erosión interna por subsidencia en la cubeta del muro.	Evidencia de un socavón o subsidencia en la cubeta, cerca del muro, combinado con una reducción de la distancia entre la laguna de aguas claras y el muro (la activación de este escenario requiere confirmación manual).
EI-03	Erosión interna por subsidencia en el muro.	Evidencia de subsidencia o socavón en el muro, combinado con una alta presión de poros, turbidez en el sistema de drenaje, aparición de grietas o reducción de la distancia entre la laguna de aguas claras y el muro.
Re-01	Rebalse por pérdida de revancha hidráulica durante lluvias torrenciales.	Intensas precipitaciones que el Potencial de Rebalse evalúa como gatillador de rebalse, si la lluvia evoluciona de acuerdo al pronóstico. Este escenario se activará, si el tiempo que queda hasta que se produzca el rebalse es menor o igual al tiempo de evacuación de la localidad más cercana al depósito de relaves.
Re-02	Rebalse por oleaje producido por deslizamiento.	Se detecta que un sector ubicado en el terreno natural presenta altas probabilidades de generar un deslizamiento hacia el interior de la cubeta, combinado con una revancha hidráulica cercana al umbral.
Re-03	Rebalse de los relaves producto de un deslizamiento en la cubeta (aplicable a DR espesados).	Se detecta que la pendiente de playa es superior a lo indicado por el diseño, combinado con un alto nivel freático en la cubeta y un volumen de relaves depositado superior a la capacidad máxima de la cubeta, si los relaves fueran depositados horizontalmente.

IT= Inestabilidad de taludes; EI=Erosión interna; Re= Rebalse
El Anexo 2 incluye una descripción detallada de las condiciones asociadas a los parámetros críticos y a los escenarios de falla

La definición del IEF es general y aplicable a DR espesados y en pasta. Para que el IEF sea implementado correctamente, cada uno de los depósitos debe pasar por un proceso de implementación, cuyo resultado define el número de parámetros críticos que serán monitoreados (en Tabla 2), los umbrales de aceptabilidad, los datos de configuración inicial y los mecanismos de falla que deben ser considerados (en Tabla 3). Por ejemplo, el parámetro crítico "distancia mínima entre el muro y la laguna de aguas claras" no se mide en un muro construido con material de empréstito y diseñado para operar con la laguna de aguas claras en contacto directo con el muro.

Programa Tranque recomienda que el proceso de implementación del IEF sea dirigido por una persona competente, como un ingeniero de registro (EoR).

4. EVENTOS Y ALERTAS

El IEF puede activar eventos y alertas que tienen que ver con situaciones específicas asociadas a los resultados del monitoreo de parámetros críticos y a la evaluación de escenarios de falla.

Un evento se define como el cumplimiento de una condición específica dentro del depósito de relaves que podría eventualmente, afectar su estabilidad física. Por su parte, la alerta se define como una situación del depósito que puede afectar significativamente su estabilidad física.

Los eventos que pueden ocurrir están divididos en siete tipos (Figura 6):

1. Evaluación de vulnerabilidad física (M1).
2. Ocurrencia de eventos gatilladores, desviaciones con respecto al diseño o eventos climáticos (pronósticos) (M1).
3. Situaciones anormales asociadas a parámetros críticos (M2).
4. Activación de escenarios de falla (M2).
5. Problemas de instrumentación en línea (M2).
6. Retrasos en cargar información relacionada con el monitoreo manual (módulos M1 y M2).

FIGURA 6.
Tipos de eventos asociados al M1 y M2

Los tipos de alerta de estabilidad física considerados en el IEF son:

Alerta temprana preventiva: Esta alerta representa el funcionamiento normal del depósito de relaves y el monitoreo permanentemente los parámetros críticos.

Alerta amarilla: Esta alerta corresponde a una condición anormal del depósito de relaves que requiere intensificar el monitoreo, la inspección y el control de parte de la empresa minera y de la autoridad.

Alerta roja: Esta alerta está asociada a una condición física crítica del depósito de relaves que requiere implementar el plan de emergencia para evacuar el depósito y las comunidades aguas abajo.

Los eventos están agrupados en cuatro categorías que pueden ser A, B, C o D, dependiendo de la importancia del evento en la estabilidad física del depósito de relaves. El grupo C y D están relacionados con las situaciones más críticas. El grupo al cual pertenece un evento determina, principalmente, cómo será gestionado dicho evento y su visibilidad a las partes interesadas. Los grupos de eventos están definidos de la siguiente forma (Figura 7):

Grupo A: Eventos que la empresa minera puede gestionar internamente. Al momento de activarse, su visibilidad quedará disponible solo para la empresa minera.

Grupo B: Eventos que la empresa minera gestiona en coordinación con la autoridad (SERNAGEOMIN). Al activarse, se hará visible para la empresa minera y para la autoridad. Este grupo puede activar una alerta amarilla en el sitio web público, si la autoridad así lo requiere.

Grupo C: Grupo de eventos gestionado en conjunto por la empresa minera y la autoridad (p.ej., el plan de acción de la empresa minera es validado por la autoridad). Al activarse, la visibilidad del evento quedará disponible para la empresa minera y la autoridad y también se activará una alerta amarilla en el sitio web público.

Grupo D: Grupo de eventos que la empresa minera y la autoridad gestionan en conjunto. Cuando se activa, un evento de este grupo, se hará visible para la empresa minera y la autoridad y también activará una Alerta Roja, directamente, en sitio web público.

A continuación, se entrega una descripción detallada de todas las alertas amarillas y rojas asociadas a parámetros críticos (Tabla 4) y escenarios de falla.

FIGURA 7.
Visibilidad y comunicación externa de eventos y alertas

Tabla 4. Eventos asociados a parámetros críticos que activan alertas amarillas y rojas.

Parámetros críticos	Alerta Amarilla	Alerta Roja
Distancia entre el muro y la laguna de aguas claras.	Laguna de aguas claras en contacto con el muro.	No activa alertas rojas.
Deformación del suelo de fundación.	El valor medido es superior al valor fijado como umbral de deformación en los ejes transversales o longitudinales X e Y, respectivamente (inclinómetro).	No activa alertas rojas.
Deformación del muro.	El valor de deformación medido es superior al valor fijado como umbral de deformación en los ejes X e Y y, también para los asentamientos en el eje Z (monolito). El valor medido es superior al valor fijado como umbral de deformación en los ejes X o Y (inclinómetro).	No activa alertas rojas.
Deformación del coronamiento.	El valor de deformación medido es superior al valor fijado como umbral de deformación en los ejes X e Y y, también para los asentamientos en el eje Z (monolito).	No activa alertas rojas.
Grietas	Se determina que las grietas detectadas amenazan la integridad del muro. Se detectan grietas con posterioridad a un evento sísmico y se determina que éstas amenazan la integridad del muro. Se detectan grietas longitudinales después de que una parte del muro se desliza y amenaza la integridad del muro.	No activa alertas rojas.
Humedad o filtraciones	Se determina que las filtraciones o humedad amenazan la integridad del muro. Se detectan filtraciones o humedad después de un evento sísmico y amenazan la integridad del muro.	No activa alertas rojas.
Subsidencia o socavones	Se detecta que el evento de subsidencia o socavón amenaza la integridad del muro. Se detecta socavón o subsidencia tras la ocurrencia de un evento sísmico y pone en riesgo la integridad del muro.	No activa alertas rojas.
Integridad de estribos	Se detectan grandes deformaciones en el estribo y filtraciones no controladas.	Si se detecta un desplazamiento relativo entre el muro y el suelo de fundación (evento de activación manual).
Revancha operacional	La revancha operacional excede el valor umbral y no se cumplen los criterios de estabilidad para los taludes aguas arriba.	No activa alertas rojas.

Tabla 4. Eventos asociados a parámetros críticos que activan alertas amarillas y rojas

Parámetros críticos	Alerta amarilla	Alerta Roja
Presiones de poros (muro y suelo de fundación).	Si un piezómetro excede el segundo umbral y otro piezómetro con el cual se valida excede el primer umbral. Si dos piezómetros, mutuamente validables, exceden el primer umbral y: • un piezómetro en el mismo sector, pero en distinta ubicación, excede el primer umbral. • un piezómetro en el mismo sector, pero en distinta ubicación, excede el segundo umbral. • dos piezómetros en el mismo sector, pero en distintas ubicaciones, exceden el primer umbral. • un piezómetro en el mismo sector, pero en distinta ubicación, excede el segundo umbral y su validador excede el primer umbral. Si hay dos piezómetros, mutuamente validables, y uno excede el primer umbral y, el otro, excede el segundo umbral y, al mismo tiempo, un piezómetro en el mismo sector, pero en distinta ubicación, excede el segundo umbral y su validador excede el primer umbral. Si un piezómetro, manualmente validable, excede el primer umbral y, al menos, un piezómetro en el mismo sector, pero en distinta ubicación, excede el primer (independiente de si, más tarde, es validado manualmente) o el segundo umbral. Si hay dos piezómetros, mutuamente validables, y uno de ellos excede el primer umbral y es validado manualmente y, el otro, excede el segundo umbral.	• Si dos piezómetros, mutuamente validables, exceden el segundo umbral. • Si un piezómetro, manualmente validable, excede el segundo umbral.
Aceleración sísmica	No activa alertas amarillas.	La aceleración máxima medida en roca excede el valor umbral predefinido. La aceleración máxima medida en el suelo de fundación excede el valor umbral predefinido. La aceleración máxima medida en el coronamiento del muro excede el valor umbral predefinido.
Integridad del sistema de drenaje	Si la presión de poros en el dren excede un umbral en dos piezómetros, que son mutuamente validables, o con otro que es verificado manualmente.	No activa alertas rojas.
Turbidez del sistema de drenaje	Si se detecta material granular en el sistema de drenaje y el valor de turbidez excede el umbral para un lapso de tiempo predefinido.	No activa alertas rojas.
Rigidez y resistencia al corte del muro.	Si un ingeniero especializado (p. ej., un ingeniero de registro) detecta que la resistencia y rigidez de los materiales son incompatibles con las especificaciones de diseño y si no se toman acciones para corregir el problema en un lapso de tiempo predefinido. Si los resultados de los ensayos de penetración revelan la existencia de una zona que no cumple con los criterios de densidad especificados en el diseño y esto amenaza la estabilidad del depósito.	Si se detectan áreas de baja densidad en el muro en combinación con altos niveles freáticos o un alto nivel de saturación en el área afectada.

Las siguientes figuras muestran ejemplos de escenarios de falla, cada uno de los cuales está conformado por eventos asociados a los módulos M1 y M2 del IEF (los detalles de cada evento se explican en el Anexo de este informe).

Los escenarios de falla se cumplen cuando se activan los eventos. Algunos escenarios requieren que los eventos sean activados en el mismo sector. Caso contrario, el escenario de falla no se activa. El uso de la palabra "y" indica que los eventos se deben cumplir al mismo tiempo mientras que, el uso de la palabra "o" indica que basta con que se cumpla, al menos, uno de los eventos para que se active el escenario de falla.

FIGURA 8.
Ejemplo de escenario de falla T-02: **"Inestabilidad por aumento en la presión de poros con evidencia de deformación"**

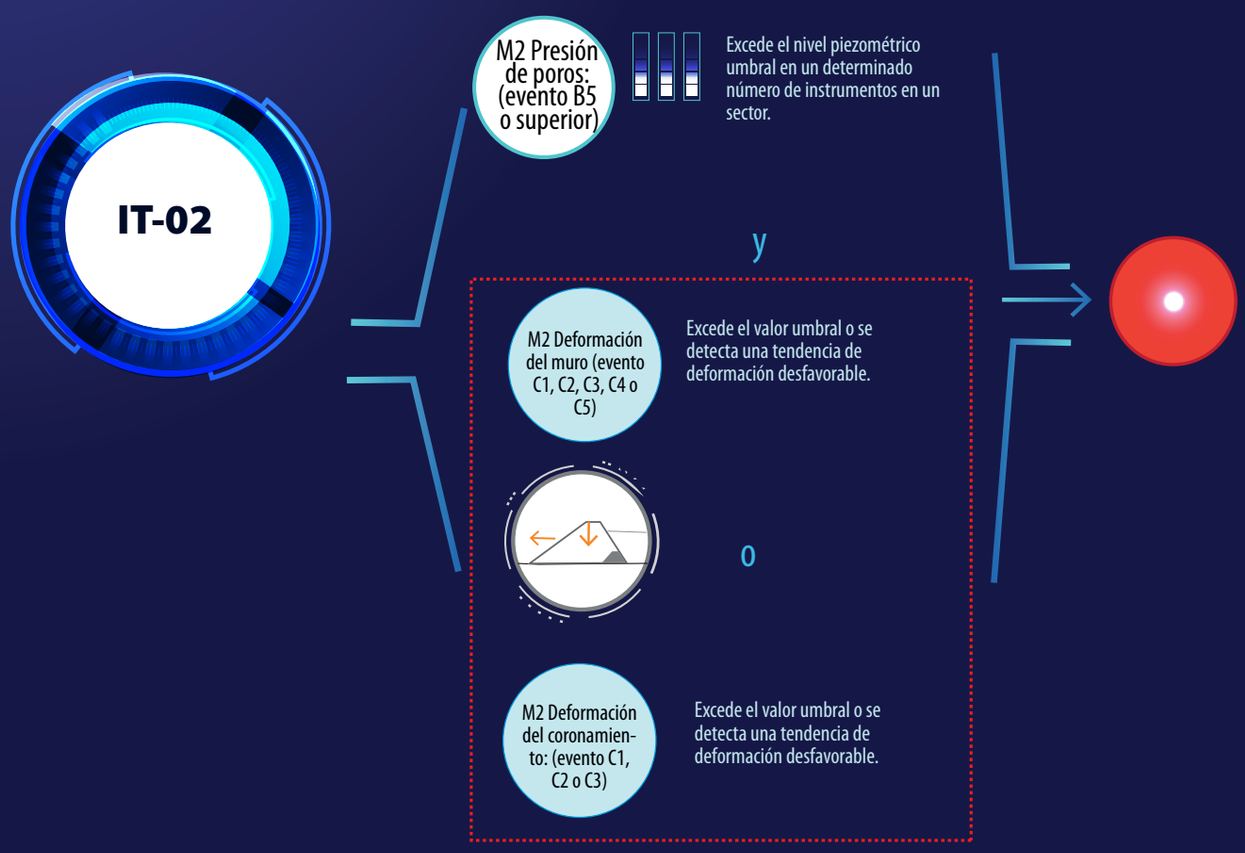


FIGURA 9.
Ejemplo de escenario de falla Re-02: **“Rebalse por ola provocada por deslizamiento”**

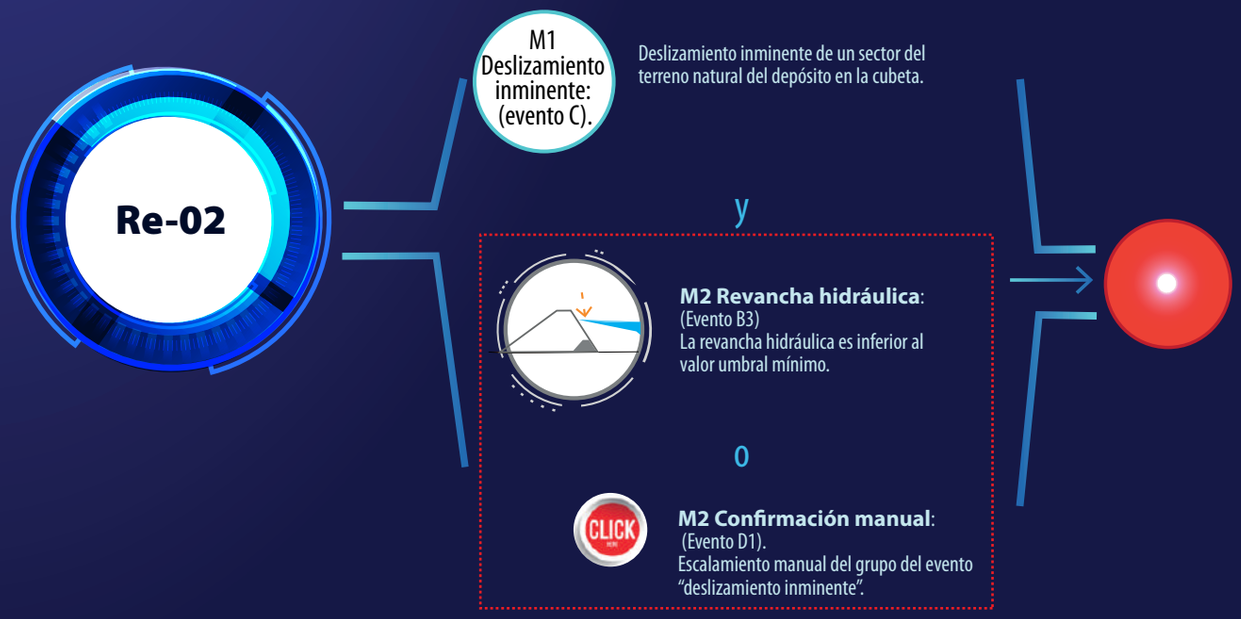


FIGURA 10.
EI-03: **“Erosión interna producto de la aparición de subsidencia en el muro”**

5. SISTEMA DE GESTIÓN DE EVENTOS Y ALERTAS

La activación de eventos permite gestionar cualquier desviación que ocurra en el funcionamiento normal de un depósito de relaves. El proceso de gestión considera tres estados:

- **Por gestionar**: Estado inicial de un evento que ocurrió dentro de los cálculos del IEF durante la actualización de datos, en los módulos M1 o M2. Este estado alerta al operador de la ocurrencia de un evento, que es necesario que verifique el evento y genere un plan de acción.
- **En gestión**: Estado del evento una vez que el operador ingresa al evento activado, confirmando que conoce las recomendaciones e indicando el plan de acción y las medidas que es necesario adoptar para resolverlo. Un evento en gestión permanecerá en este estado mientras no se resuelva el problema detectado. El operador debe verificar la existencia del evento periódicamente y, en algunos casos, podrá escalarlo, dependiendo de las condiciones. Si es escalado, el grupo al que pertenece al evento cambiará y también podrá cambiar su visibilidad y la comunicación de la alerta asociada.
- **Cerrado**: Estado del evento una vez que el operador indica que éste ha sido solucionado o controlado dentro de la operación. Para cerrar un evento se deben cumplir una serie de condiciones asociadas a los parámetros que gatillaron dicho evento (p. ej., la instrumentación debiera volver a los valores de registro entre los umbrales y el operador debiera asegurar que los eventos gatilladores y las desviaciones han sido solucionados).

Las alertas se gestionan con un criterio similar.

- **Por gestionar** Estado inicial de una alerta que se emite cuando se cumplen las condiciones para activar una alerta amarilla o roja. En este estado, la autoridad debe identificar los eventos que gatillaron la alerta y definir un plan de acción para gestionar la situación.
- **En gestión**: Estado de alerta en que la autoridad gestiona la situación del momento, supervisando el cierre de los eventos asociados a la alerta y manteniendo comunicación activa con la empresa minera responsable. Si lo considera necesario, la autoridad podrá escalar este estado a una alerta roja. Durante el manejo de la alerta, la autoridad podrá mantener comunicación activa con el público general, tanto a través de la plataforma de monitoreo como a través de medios de comunicación alternativos.
- **Cerrado**: El cierre de una alerta será derecho exclusivo de la autoridad y solo podrá ser aplicado cuando todos los eventos asociados a la alerta hayan sido cerrados dentro de la interfaz. Una vez que una alerta es cerrada, se genera un registro de los eventos asociados y del plan de acción adoptado por la autoridad.

programa tranque

Monitoreo de avanzada para una minería responsable

AGRADECIMIENTOS

Programa Tranque tiene como objetivo contribuir a la gestión segura de los depósitos de relaves existentes en el país, mejorando la coordinación y las relaciones de confianza entre las diferentes partes involucradas, mediante la implementación de un sistema de monitoreo de avanzada que perdure en el tiempo.

Este documento es un aporte para llevar su gestión a los más altos niveles, convirtiendo a Chile en un líder en esta materia. Un trabajo que fue posible gracias a la colaboración y esfuerzo de muchos profesionales a los que queremos agradecer:

- Matías Martínez, Ingeniero Senior Tranques, Minera Los Pelambres, Minera Los Pelambres.
- Álvaro Sepúlveda, Superintendente de Relaves y Tranques, Minera Los Pelambres.
- Rodrigo Moya, Gerente Proyectos AMSA.
- Cecilia Arrué, Gerente Técnico de Procesos, AMSA.
- Jaime Urquidi, Consultor Senior, Arcadis.
- Sebastián Urbano, Jefe de Ingeniería, SERNAGEOMIN (*).
- Gonzalo Corral, Ingeniero Geotécnico, Inteligencia Geotécnica
- Amanda Hevia, Ingeniero de Proyectos especialista en relaves, ENAMI (*).
- Miguel Cordero, Ingeniero de Proyectos, ENAMI (*).
- René Orellana, Gerente Corporativo de Aguas, Relaves y Proyectos, CODELCO.
- Manuel Acuña, Superintendente de Relaves y Transporte de Concentrado, CODELCO.
- Loreto Cifuentes, Ingeniero Geotécnico Senior, Golder.
- Silvana dal Pozzo, Superintendente Producción de Relaves SGO, BHP.
- Cleve Lightfoot, Gerente de Tecnología Cobre de Metales Base, BHP.
- Sebastián Jara, Profecional de Proyecto, Fundación Chile (*)
- Claudia Welkner, Ingeniero Principal, BHP
- Harold Bolaños,Ingeniero QA/QC, Minera Los Pelambres.
- Jorge Vargas, Jefe del Departamento de Grandes Proyectos y Depósitos de Relaves, SERNAGEOMIN.
- Gullibert Novoa, Coordinador Departamento de Relave, SERNAGEOMIN.
- Cristóbal Carrasco, Ingeniero de Proyectos, SERNAGEOMIN
- Jaime Acuña, Ingeniero de Proyectos, SERNAGEOMIN.
- Angela Oblasser, Subgerente Sustentabilidad, Fundación Chile.
- Cecilia Vidal, LíderSustentabilidad, Fundación Chile.
- Andrés Delzo, Profesional de Proyecto, Fundación Chile.

Equipo Desarrollador

- César Pastén, Profesor Asistente Departamento de Ingeniería Civil e Investigador Asociado AMTC, Universidad de Chile.
- Christian Ihle, Profesor Asociado Departamento de Ingeniería de Minas e Investigador Principal AMTC, Universidad de Chile.
- Diana Comte, Profesor Titular Departamento de Geofísica e Investigadora Principal AMTC, Universidad de Chile.
- Roberto Gesche, Profesor Adjunto Departamento de Ingeniería Civil e Investigador Asociado AMTC, Universidad de Chile.
- Felipe Campos, Ingeniero de Proyecto AMTC, Universidad de Chile.
- Jorge C. Troncoso, Asesor BGC engineering (actualmente Antofagasta Minerals).
- José Campaña, Asesor, Arcadis.
- Meili Carvajal, Ingeniero de Proyecto AMTC, Universidad de Chile.
- Samuel Rojas, Ingeniero de Proyecto AMTC, Universidad de Chile.
- Ignacio Cartes, Ingeniero de Proyecto AMTC, Universidad de Chile.

(*) A la fecha de esta publicación, estas personas ya no trabajan en las instituciones mencionadas

ANEXOS

programa tranque

Monitoreo de avanzada para una minería responsable

ANEXO 1

Este Apendice detalla la evaluación de vulnerabilidad física, las desviaciónes con respecto al diseñom los pronósticos del clima y los eventos gatilladores considerados en el Módulo 1 (M1) del IEF. Estos parámetros son activados directamente desde la interfaz. Finalmente, los eventos y su clasificación dentro de grupos (asociados al sistema de alerta) son mostrados para cada parámetro monitoreado en el M1.

1. ELEMENTOS DEL IEF MÓDULO 1

1.1. EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD FÍSICA

La evaluación de vulnerabilidad física asigna putnajes al depósito de acuerdo con diferentes características y condiciones (ver Tabla 1). La vulnerabilidad física es directamente proporcional al puntaje, entonces, un depósito con un alto puntaje y más vulnerable comparado con uno que obtuviera un puntaje menor. Para la evaluación de vulnerabilidad física son evaluadas 9 condiciones; a continuación en la Tabla 1 se descrive cada una de las condiciones presentadas.

Condición a evaluar		Categoría / Evaluación (Puntaje)			
Situación operacional actual	Los depósitos de relave en operación reciben el menor de los puntajes pues, dadas sus condiciones, están bajo revisión de manera más seguida y, en caso de presentarse una situación de protocolo C, cuentan con planes de acción para actuar de manera oportuna. Por otro lado, en los depósitos en estado de abandono no existen planes de emergencia ni personal permanente en faena que puedan dar aviso de una inminente falla, por lo que se les asigna el mayor de los puntajes. A los depósitos en cierre, se le asigna un puntaje intermedio dada que su situación es levemente más desfavorable que la condición de un depósito en operación, en cuanto a la disponibilidad de personal y equipos para actuar ante una emergencia.	Abandonado (10)	Cerrado (5)	En operación (0)	
Método constructivo	Se entiende que la construcción del muro de contención de un depósito de relaves se puede hacer de tres maneras, siendo la construcción aguas abajo más segura que la de eje central, y ésta es mejor que la construcción aguas arriba. Si bien en Chile está prohibido utilizar el método de construcción aguas arriba, aún existen depósitos cuyos muros se construyeron de esta forma, a los cuales se les debe asignar un puntaje mayor que a un muro construido con los otros métodos.	Aguas arriba (10)	Eje central (5)	Aguas abajo (0)	
Tipo de relave depositado	El relave puede pasar por distintos procesos para disminuir la cantidad de agua y tener una depositación más segura. Asumiendo que la presencia de agua no controlada puede ser la causa raíz de los problemas de inestabilidades, al ser los relaves filtrados aquellos con la menor cantidad de agua, se les asigna un puntaje igual a cero. Luego, siguen los relaves en pasta (4 puntos) y los espesados (7 puntos), hasta llegar al relave convencional (10 puntos), el que tiene el mayor contenido de agua, con un puntaje igual a 10.	Convencional (10)	Espesado (7)	Pasta (4)	Filtrado (0)

Condición a evaluar		Categoría / Evaluación (Puntaje)				
Elementos de gobernanza	Se entiende por elementos de gobernanza, todos los elementos que ayuden a mantener los estándares de construcción y operación del depósito, se busca que las compañías mineras tengan una estructura organizada con roles y responsabilidades claramente definidas, los cuales se encargan, entre otras cosas, del control de calidad dentro del depósito asociado a todos los ámbitos constructivos. Para esto se han determinado distintas entidades dentro del ámbito de la gestión del depósito de relaves, entre ellas se encuentra, por ejemplo, una persona competente, un ingeniero de registro, un panel de revisores externo, entre otros. Para la definición de puntajes se ha considerado una escala total de 0 a 20 puntos debido a la importancia de esta categoría, el rango de este puntaje se determinó mediante juicio experto. Está categoría considera que si la compañía no tiene elementos de gobernanza se le asignan 20 puntos, si tienen una estructura de gobernanza definida, pero no tiene personal especializado a cargo del depósito se le asignan 15 puntos, en el caso que dentro de su estructura de gobernanza posea los elementos de gobernanza descritos anteriormente disminuye en 5 el puntaje. De esta forma se evalúa si la empresa posee una persona capacitada a cargo del área de relaves capaz de supervisar los estándares de calidad y construcción (persona competente), una entidad o empresa externa capaz de mantener un control del depósito, su operación y crecimiento (ingeniero de registro) y finalmente una entidad externa que preste asesorías al depósito para verificar cumplimiento de controles de calidad, construcción y operación de forma periódica (panel de revisores externos).	Sin sistema de gobernanza definido (20)	Tiene un sistema de gobernanza definido (15)	Tiene al menos uno de los elementos del sistema de gobernanza (10)	Tiene presente al menos dos de los elementos del sistema de gobernanza (5)	Tiene tres o más elementos del sistema de gobernanza (0)
Instrumen-tación operativa	Un depósito debe estar permanentemente instrumentado para conocer cómo varían sus condiciones físicas y química. En el caso de que un depósito no cuente con toda su instrumentación operativa o no tenga instrumentación, se asigna un puntaje de 10, en caso opuesto se asigna un puntaje de 0.	Si (0)			No (10)	
Exposición a crecidas de ríos y/o aluviones	Si un depósito de relaves está expuesto a crecidas de ríos o riesgo de afectación por aluviones, se asigna un puntaje de 10, en caso opuesto se asigna un puntaje de 0.	Si (10)			No (0)	

Condición a evaluar		Categoría / Evaluación (Puntaje)	
Exposición a acumulación de escorrentias	Si un depósito de relaves está expuesto a acumulación de escorrentías se asigna un puntaje de 10, en caso opuesto se asigna un puntaje de 0.	Si (10)	No (0)
Exposición a remoción en masa del terreno natual	Si un depósito de relaves está expuesto a remoción en masa del terreno natural colindante al depósito se asigna un puntaje de 10, en caso opuesto se asigna un puntaje de 0.	Si (10)	No (0)
Diseño actualizados	Cuenta con un diseño del depósito actualizado, considerando posibles modificaciones del diseño durante la construcción del depósito y durante la etapa operativa actual. En el caso que el diseño no esté actualizado se asigna un puntaje de 10, en caso opuesto se asigna un puntaje de 0.	Si (0)	No (10)

Potencial	Características del depósito (CD)	Descripción	
Alto	$\sum CD > 60$	El depósito está en una condición de alta vulnerabilidad física debido a su entorno, construcción y/o las condiciones de su operación.	
Regular	$30 < \sum CD \leq 60$	El depósito puede llegar a estar en una condición de vulnerabilidad física debido a su entorno, construcción y/o las condiciones de su operación.	
Bajo	$\sum CD \leq 30$	Las condiciones del depósito son favorbles, entones su vulnerabilidad física es baja debido a su entorno, construcción y/o las condiciones de su operación.	

1. ELEMENTOS DEL MÓDULO 1

1.2. Eventos gatilladores, desviaciones con respecto al diseño y pronósticos: este grupo considera todos los eventos que pueden activarse como resultado de la evaluación del Módulo 1. Está asociado con la inspección rutinaria realizada por los operadores del IEF diariamente y tras la activación de cualquier de los elementos del Checklist. Los grupos (Grupo A, Grupo B, Grupo C o Grupo D) se definen en función del evento activado.

Codigo	Parámetro	Descripción	"Grupo A" eventos	"Grupo B" eventos	"Grupo C" eventos	"Grupo D" eventos
1.2. DESVIACIONES CON RESPECTO AL DISEÑO (S/N) - La inspección asociada a la categoría "desviaciones con respecto al diseño" está orientada a verificar que no existan problemas en el sector del muro o del depósito. Esta inspección es únicamente visual y está basada en el criterio del operador. Se consideran únicamente situaciones que puedan ser detectadas sin la necesidad de usar instrumentación o realizar un estudio especializado.						
1.2.1	Altura de coronamiento	El operador debe verificar que se cumple con la altura de coronamiento correspondiente al plan de crecimiento del muro, verificando que no existan sectores con alturas irregulares producto de un crecimiento excesivo o que al contrario están por debajo de la altura general del muro. En caso de detectar visualmente un problema de este tipo es necesario activar este evento.				
1.2.2	Revancha operacional e hidráulica	El operador debe verificar que se cumple con las revanchas mínimas, tanto operacional asociada al relave como hidráulica asociada a la laguna de aguas claras. Adicionalmente debe verificar que la revancha operacional asociada al contacto con las lamas sea constante a lo largo del muro y no presente sectores puntuales en los que las lamas están peligrosamente cerca del coronamiento. En caso de detectar visualmente un problema de este tipo es necesario activar este evento.				
1.2.3	Ancho de coronamiento	El operador debe verificar que se cumple con el ancho de coronamiento mínimo establecido por diseño, para esto el operador deberá verificar que a lo largo del muro no existan sectores puntuales donde el ancho de coronamiento pueda ser menor y presentar valores cercanos al mínimo establecido. Deslizamiento de talud que reduzca el ancho de coronamiento también deben ser considerados en esta inspección. En caso de detectar visualmente un problema de este tipo es necesario activar este evento.				
1.2.4	Superficie del muro y cubeta del depósito	El operador debe verificar que la superficie ocupada por el muro y la playa están ubicadas acorde con los límites establecidos por el plan de depositación, en general el operador debe determinar si la superficie afectada por la deposición de lamas y el crecimiento del muro no se están aumentando de forma irregular. En caso de detectar visualmente un problema de este tipo es necesario activar este evento.				
1.2.5	Ubicación y tamaño de la laguna	El operador debe verificar que se cumple con ubicación y el tamaño de la laguna aguas claras establecido por el plan de depositación, para esto debe verificar que la laguna no se esté desplazando por sectores irregulares y que no se estén formando lagunas secundarias en sectores distintos a la laguna principal. En caso de detectar visualmente un problema de este tipo es necesario activar este evento.				

Codigo	Parámetro	Descripción	"Grupo A" eventos	"Grupo B" eventos	"Grupo C" eventos	"Grupo D" eventos
1.2.6	Inclinación talud aguas abajo y aguas arriba del muro	El operador debe verificar que se cumple con la inclinación de los taludes de aguas arriba y aguas abajo definidas por diseño, verificando que no existan sectores puntuales que presenten un evidente cambio de pendiente que modifique visualmente la geometría del muro. En caso de detectar visualmente un problema de este tipo es necesario activar este evento.				
1.2.7	Uso de materiales apropiados en la construcción del muro	El operador debe verificar que se cumple con la utilización de los materiales indicados por diseño para el crecimiento del muro del depósito, verificando que la depositación del material que conforma el muro sea el correcto, detectando problemas como la deposición de lamas en el sector del muro, por ejemplo. En caso de detectar visualmente un problema de este tipo es necesario activar este evento.				
1.2.8	Instalación y estado de la geomembrana	El operador debe verificar que el estado de la geomembrana sea el correcto, para esto debe inspeccionar la geomembrana desde un sector seguro en busca de algún tipo de daño. En caso de detectar visualmente un problema de este tipo es necesario activar este evento.				
1.3. EVENTOS GATILLADORES (S/N) - Todos los eventos gatilladores deben ser verificados de forma cualitativa, de acuerdo al criterio del operador. La verificación puede ser a nivel visual y por percepción de un evento. Los resultados de esta evaluación serán verificados mediante mediciones y estudios por lo que basta con un nivel de verificación de este tipo.						
1.3.1	Reducción del prisma resistente en el pie del muro	Corresponde a cualquier tipo de daño, deformación o deslizamiento en el sector aguas abajo del muro. Específicamente en el área cercana al contacto entre el terreno natural y el muro. En caso de detectar visualmente algunas de las condiciones antes descritas, se debe activar este evento gatillador.				
1.2.2	Distribución inadecuada de lamas o relave en el interior de la cubeta	Corresponde a una depositación inadecuada de lamas o relave al interior de la cubeta, que tenga como consecuencia que el volumen almacenado quede mal distribuido. Evidencia de esto es la aparición de sectores con pendiente pronunciadas dentro de la cubeta, el desplazamiento inadecuado de la laguna de aguas claras en sectores distintos a su ubicación normal, la aparición de lagunas o acumulaciones de agua en zonas distintas a la laguna principal o las pérdidas de revancha operacional en sectores localizados del muro. En caso de detectar visualmente algunas de las condiciones antes descritas, se debe activar este evento gatillador.				
1.3.3	Deslizamiento superficial de un sector del talud del muro	Corresponde a un deslizamiento de la capa superficial del material del muro en el sector aguas arriba o aguas abajo, se considera que sí aproximadamente un área de 100[m^2] se ve afectada es necesario activar este evento gatillador.				

Codigo	Parámetro	Descripción	"Grupo A" eventos	"Grupo B" eventos	"Grupo C" eventos	"Grupo D" eventos
1.3.4	Problemas de estabilidad de los estribos del muro	Los estribos están asociados al sector de contacto entre el terreno natural y los extremos del muro, se considera que cualquier problema asociado a filtraciones, humedad, deformaciones o grietas en esta zona de contacto afecta la estabilidad de los estribos. En caso de detectar visualmente alguna de estas condiciones, se debe activar el evento gatillador.				
1.3.5	Falla o bloqueo del vertedero de emergencia	Corresponde a cualquier problema en el vertedero de emergencia que tenga como consecuencia que este no se encuentre completamente operativo, en caso de ser necesario su uso. En caso de detectar mediante un reporte o comunicación con otros operadores un problema en el vertedero que podría afectar su funcionamiento, se debe activar el evento gatillador.				
1.3.6	Modificación de la cota de operación del vertedero de emergencia	Los vertederos de emergencia asociados a depósito de relaves comienzan a operar a una determinada cota de la laguna aguas claras, esta cota está definida por la ubicación del vertedero, la etapa de crecimiento del muro o la cantidad de losetas instalada en la estructura entre otros factores. En caso que ocurra una modificación de la cota de funcionamiento del vertedero por cualquier tipo de motivo es necesario activar este evento gatillador.				
1.3.7	Falla del sistema de recuperación de aguas claras	Corresponde a un problema de cualquier índole en el sistema de recuperación de aguas claras, que tenga como consecuencia que no se encuentre operativo. En caso de detectar mediante un reporte o comunicación con otros operadores este tipo de evento es necesario activar el evento gatillador.				
1.3.8	Falla o bloqueo de los canales perimetrales	Corresponde a cualquier tipo de evento que afecte el funcionamiento de los canales perimetrales, entre los principales eventos se pueden destacar deslizamiento de terreno natural sobre los canales o directamente deslizamiento o derrumbe de parte de estos, bloqueo u obstrucción de algún sector del canal entre otros. En caso de detectar mediante un reporte, comunicación con otros operadores o visualmente este tipo de situaciones es necesario activar el evento gatillador.				
1.3.9	Asentamientos diferenciales en el muro del depósito	Corresponde a la detección de forma visual de deformaciones localizadas en cualquier sector del muro que generen asentamientos puntuales. En caso de detectar de forma visual este tipo de situaciones es necesario activar el evento gatillador.				
1.3.10	Falla en sistema de drenaje	Corresponde a cualquier tipo de falla detectada a la salida del sistema de drenaje del muro, la falla puede ser producto de problemas en el caudal de salida como por ejemplo variaciones bruscas de caudal o la ausencia de este. En caso de detectar mediante un reporte, comunicación con otros operadores o visualmente este tipo de situaciones es necesario activar el evento gatillador.				

Codigo	Parámetro	Descripción	"Grupo A" eventos	"Grupo B" eventos	"Grupo C" eventos	"Grupo D" eventos
1.3.11	Detección de material particulado a la salida del sistema de drenaje	Corresponde a la detección de forma visual de material particulado a la salida del sistema de drenaje del muro, esto incluye cualquier tipo de material fino o grueso detectado a la salida del dren. En caso de detectar mediante un reporte, con otros operadores o visualmente este tipo de situaciones es necesario activar el evento gatillador.				
1.3.12	Aparición de filtraciones o humedad en el muro del depósito	Corresponde a la evidencia de filtraciones o marcas de humedad en el muro del depósito, independiente de la causa o motivo de su aparición. En caso de detectar mediante un reporte, comunicación con otros operadores o visualmente este tipo de situaciones es necesario activar el evento gatillador.				
1.3.13	Aparición de una subsidencia o socavón en el muro	Corresponde a la evidencia de una subsidencia o un socavón en el sector del muro del depósito, independiente de la causa o motivo de su aparición. En caso de detectar mediante un reporte, comunicación con otros operadores o visualmente este tipo de situaciones es necesario activar el evento gatillador.				
1.3.14	Aparición de una subsidencia o socavón en la cubeta del muro	Corresponde a la aparición de una subsidencia o un socavón en el sector de la cubeta del depósito cercana al muro (considerar una distancia aproximada de 100[m]), independiente de la causa o motivo de su aparición. En caso de detectar mediante un reporte, comunicación con otros operadores o visualmente este tipo de situaciones es necesario activar el evento gatillador.				
1.3.15	Aparición de grietas en el muro del depósito	Corresponde a la aparición de grietas en el sector del muro del depósito, independiente de la causa o motivo de su aparición. En caso de detectar mediante un reporte, comunicación con otros operadores o visualmente este tipo de situaciones es necesario activar el evento gatillador.				
1.3.16	Deslizamiento inminente hacia el interior de la laguna	Corresponde a la detección de un sector perteneciente a terreno natural que rodea la cubeta del depósito que por algún motivo se encuentra en una situación de inestabilidad que puede provocar un inminente colapso y que, en caso de ocurrir este colapso, puede desplazar parte o la totalidad de la laguna aguas claras. En caso de detectar mediante un reporte, comunicación con otros operadores o visualmente este tipo de situaciones es necesario activar el evento gatillador.				

Codigo	Parámetro	Descripción	"Grupo A" eventos	"Grupo B" eventos	"Grupo C" eventos	"Grupo D" eventos
1.4. PARÁMETROS DE ACTIVACIÓN DIRECTA EN EL DASHBOARD DE MONITOREO *(S/N)* **- Dentro de los eventos gatilladores, existen eventos que requieren un acceso directo de parte del operador a nivel de plataforma. Estos requieren un nivel de actualización más rápido que un evento gatillador normal.**						
a) Eventos de importancia	Inicio de lluvia	Corresponde al inicio de una lluvia en el sector del depósito, independiente de la intensidad de está. Este evento gatillador puede ser activado de forma automática en caso de detectarse una intensidad de lluvia en la estación climatológica, en caso que no esté activo durante una lluvia se debe activar manualmente.				
	Terremoto	Corresponde a un sismo menor, que puede ser detectado por un operador pero que no genera un movimiento lo suficientemente fuerte como para que el operador pierda su estabilidad y no pueda mantenerse en pie.				
b) Eventos críticos que gatillan una emergencia inmediata	Terremoto (el operador no se puede mantener en pie)	Corresponde a un sismo mayor, que genera un movimiento lo suficientemente fuerte para que un operador pierda por completo su estabilidad y no pueda continuar en pie.				
	Remoción en masa de terreno natural hacia el muro o hacia sectores críticos	Corresponde a un evento de remoción en masa producto de un deslizamiento del terreno natural colindante al depósito sobre el muro o sobre instalaciones que pongan en riesgo la operación o la integridad del muro debido a la incerteza asociada al grado de daños provocados.				
	Deslizamiento significativo de material superficial del muro que afecta la geometría de los taludes	Corresponde a la evidencia de un rebalse del muro ya sea de aguas claras o lamas desde la playa del depósito. En caso de detectar visualmente o por medio de la comunicación con otro operador este tipo de situación, es necesario activar el evento gatillador.				
	Rebalse de lamas o aguas claras	Corresponde a la evidencia de un rebalse del muro ya sea de aguas claras o lamas desde la playa del depósito. En caso de detectar visualmente o por medio de la comunicación con otro operador este tipo de situación, es necesario activar el evento gatillador.				

1.5. PRONOSTICOS METEOROLÓGICOS (S/N) - Dentro de la categoría de factores agravantes, existe la categoría de pronósticos meteorológicos, que requiere atención especial en caso de que haya un pronóstico climático informado que pueda afectar el depósito.						
1.5.1.	Lluvia	El pronóstico de lluvia se debe indicar la cantidad de milímetros de agua esperada en el sector de emplazamiento del depósito, el tiempo de lluvia durante el cual se desarrollará la lluvia pronosticada y las fechas asociadas.				
1.5.2.	Nieve	Indicar si existe un pronóstico de nevazón y las fechas a las cuales corresponde.				
1.5.3.	Vientos fuertes	Indicar si existe un pronóstico de vientos fuertes y las fechas a las cuales corresponde.				

1.6 Retraso en la entrada de la inspección diaria o mensual: este grupo contempla los eventos que pueden activarse debido a un retraso en la evaluación del Módulo 1. Está asociado con la inspección rutinaria realizada por el operador y la evaluación mensual realizada por el ingeniero a cargo. Dependiendo del nivel de retraso, este puede estar asociado con un evento del Grupo A o del Grupo B.

1.6. RETRASO - La plataforma es responsable de activar automáticamente este tipo de eventos cuando se detecta el retraso de alguna de las inspecciones del Módulo 1						
1.6.1.	Retraso de la inspección diaria	Un evento asociado al retraso de la inspección diaria del Módulo 1, el cual es activado cuando el operador no actualiza la inspección por un día completo				
1.6.2.	Retraso severo de la inspección diaria	Un evento asociado al retraso de la inspección diaria del Módulo 1, el cual es activado cuando el operador no actualiza la inspección por dos días completos				
1.6.3.	Retraso de la inspección mensual	Un evento asociado al retraso de la inspección mensual del Módulo 1, el cual es activado cuando el operador no actualiza la inspección por un mes completo				
1.6.4.	Retraso severo de la inspección mensual	Un evento asociado al retraso de la inspección mensual del Módulo 1, el cual es activado cuando el operador no actualiza la inspección por dos meses completos				

ANEXO 2

Este apéndice detalla los eventos asociados a cada parámetro crítico y los escenarios de falla en el Módulo 2 del IEF. Además, los eventos se clasifican según los grupos relacionados con el sistema de alerta.

2. ELEMENTOS DEL IEF MÓDULO 2

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.1 Condiciones asociadas a los parámetros críticos (Módulo 2)								
2.1.1	Altura del coronamiento del muro	a) Plan de crecimiento del proyecto: Corresponde a un gráfico que relacione la altura del coronamiento con respecto a la fecha a la cual el muro debe alcanzar esa altura de acuerdo al diseño o la planificación de la operación. b) Error permitido (α[m]) : Corresponde a la distancia máxima que puede estar el coronamiento del muro con respecto al plan de crecimiento del proyecto.	a) Evento A1: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Plan de crecimiento (Fecha) + Error Permitido <= Valor Altura de muro (Fecha) b) Evento A2: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Plan de crecimiento (Fecha) - Error Permitido >= Valor Altura de muro (Fecha) c) Evento A3: Se activa el evento asociado a la desviación del diseño "Altura del coronamiento"					
2.1.2	Ancho de coronamiento	a) Valor umbral: Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar el mínimo ancho de coronamiento del muro del depósito. b) Porcentaje de cercanía permitido (α[%]) : Corresponde al porcentaje del Valor umbral que indica que el valor medido se está cerca del Valor umbral.	a) Evento A1: Se activa el evento asociado a la desviación del diseño "Ancho de coronamiento" b) Evento A2: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Valor medido >= Valor Umbral·α	a) Evento B1: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Valor medido >= Valor Umbral b) Evento B2: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) El "Evento B1" se mantuvo activo durante 3 meses o más.			• Evento A2 --> Evento B1 --> Evento B2	
2.1.3	Pendiente de muro	a) Valor umbral (Aguas abajo): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la máxima pendiente aguas abajo del muro del depósito. b) Valor umbral (Aguas arriba): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la máxima pendiente aguas arriba del muro del depósito. c) Porcentaje de cercanía permitido (Aguas abajo) (α1[%]) : Corresponde al porcentaje del Valor umbral(Aguas arriba) que indica que el valor medido está cerca del Valor umbral. d) Porcentaje de cercanía permitido (Aguas abajo) (α2[%]) : Corresponde al porcentaje del Valor umbral(Aguas abajo) que indica que el valor medido está cerca del Valor umbral.	a) Evento A1: Se activa el evento asociado a la desviación del diseño "Inclinación de talud aguas abajo y aguas arriba del muro" b) Evento A2: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Valor pendiente local entre 2 puntos (Aguas abajo) >= Valor Umbral (Aguas abajo) c) Evento A3: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Valor pendiente local entre 2 puntos (Aguas arriba) >= Valor Umbral (Aguas arriba)	a) Evento B1: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Valor pendiente (Aguas abajo) >= Valor Umbral (Aguas abajo) ·α1 (%) b) Evento B2: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Valor pendiente (Aguas arriba) >= Valor Umbral (Aguas arriba) ·α2(%) c) Evento B3: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Valor pendiente (Aguas abajo) >= Valor Umbral (Aguas abajo) d) Evento B4: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Valor pendiente (Aguas arriba) >= Valor Umbral (Aguas arriba)			• Evento B1 --> Evento B3 • Evento B2 --> Evento B4	

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.1.4	Pendiente de playa (aplica a depósitos no convencionales con pendiente de playa con ángulo positivo)	a) Valor umbral: Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la máxima pendiente positiva de la playa del depósito. b) Porcentaje de cercanía permitido (α1[%]) : Corresponde al porcentaje del Valor umbral que indica que el valor medido se está cerca del Valor umbral.	a) Evento A1: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Valor pendiente local entre 2 puntos >= Valor Umbral	a) Evento B1: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Valor pendiente >= Valor Umbral ·α1 (%) b) Evento B2: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Valor pendiente >= Valor Umbral			• Evento B1 --> Evento B2	
2.1.5	Distancia mínima al muro de la laguna aguas claras	a) Primer valor umbral [m]: Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la distancia recomendada a la que debe operar la laguna aguas claras. b) Segundo valor umbral [m]: Corresponde al valor umbral definido por la autoridad para determinar que la ubicación de la laguna debe ser informada y controlada debido a su cercanía al depósito.	a) Evento A1: (Se informa por Sector) Mínima distancia laguna-muro < Primer valor umbral	a) Evento B1: Se activa el evento asociado a la desviación del diseño "Ubicación y tamaño de la laguna" b) Evento B2: (Se informa por Sector) Mínima distancia laguna-muro < Segundo valor umbral	a) Evento C1: (Se informa por Sector) Laguna en contacto con el muro (Distancia 0 metros)		• Evento A1 --> Evento B2 --> Evento C1	
2.1.6	Deformación del suelo de fundación	a) Primera serie de valores umbral (X, Z) [m] (Por instrumento): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la distancia máxima de deformación en el suelo de fundación en el eje X para cada profundidad Z. b) Segunda serie de valores umbral (Y, Z) [m] (Por instrumento): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la distancia máxima de deformación en el suelo de fundación en el eje Y para cada profundidad Z. c) Tercera serie de valores umbral (Z, Z) [m] (Por instrumento): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la distancia máxima de deformación en el suelo de fundación en el eje Z para cada profundidad Z. d) Profundidad contacto suelo de fundación [m] (Por instrumento): Corresponde a la profundidad por instrumento asociada al contacto con el suelo de fundación para distinguir mediciones en el muro con mediciones en terreno natural.		a) Evento B1: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje X b) Evento B2: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Y c) Evento B3: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Z d) Evento B4: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje X posterior a un evento sísmico e) Evento B5: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Y posterior a un evento sísmico f) Evento B6: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Z posterior a un evento sísmico	a) Evento C1: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Valor deformación eje (X, Z) > Primera serie de valores umbral (X, Z) (Instrumento) b) Evento C2: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Valor deformación eje (Y, Z) > Segunda serie de valores umbral (Y, Z) (Instrumento) c) Evento C3: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Valor deformación eje (Z, Z) > Tercera serie de valores umbral (Z, Z) (Instrumento)			• Evento B1 --> Evento B4 • Evento B2 --> Evento B5 • Evento B3 --> Evento B6

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos “Grupo A”	Eventos “Grupo B”	Eventos “Grupos C”	Eventos “Grupo D”	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.1.7	Desplazamiento y deformación del muro	a) Primer valor umbral [m] (Monolitos): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la distancia máxima de deformación en el eje X. b) Segundo valor umbral [m] (Monolitos): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la distancia máxima de deformación en el eje Y. c) Tercer valor umbral [m] (Monolitos): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la distancia máxima de deformación en el eje Z. d) Primera serie de valores umbral (X, Z) [m] (Por instrumento): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la magnitud máxima de deformación en el relleno del muro en el eje X para cada profundidad Z. e) Segunda serie de valores umbral (Y, Z) [m] (Por instrumento): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la distancia máxima de deformación en el relleno del muro en el eje Y para cada profundidad Z. f) Tercera serie de valores umbral (Z, Z) [m] (Por instrumento): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la distancia máxima de deformación en el relleno del muro en el eje Z para cada profundidad Z. g) Profundidad contacto suelo de fundación [m] (Por instrumento): Corresponde a la profundidad por instrumento asociada al contacto con el suelo de fundación para distinguir mediciones en el muro con mediciones en terreno natural.		a) Evento B1: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje X b) Evento B2: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Y c) Evento B3: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Z d) Evento B4: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje X posterior a un evento sísmico e) Evento B5: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Y posterior a un evento sísmico f) Evento B6: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Z posterior a un evento sísmico g) Evento B7: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje X h) Evento B8: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Y i) Evento B9: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Z j) Evento B10: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje X posterior a un evento sísmico k) Evento B11: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Y posterior a un evento sísmico l) Evento B12: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Z	a) Evento C1: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Valor deformación eje X > Primer valor umbral (Monolito) b) Evento C2: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Valor deformación eje Y > Segundo valor umbral (Monolito) c) Evento C3: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Valor deformación eje Z > Tercer valor umbral (Monolito) d) Evento C4: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Valor deformación eje (X, Z) > Primera serie de valores umbral (X, Z) (Instrumento) e) Evento C5: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Valor deformación eje (Y, Z) > Segunda serie de valores umbral (Y, Z) (Instrumento) f) Evento C6: (Se informa por Sector, Se evalúa por instrumento) Valor deformación eje (Z, Z) > Segunda serie de valores umbral (Z, Z) (Instrumento)			• Evento B1 --> Evento B4 • Evento B2 --> Evento B5 • Evento B3 --> Evento B6 • Evento B7 --> Evento B10 • Evento B8 --> Evento B11 • Evento B9 --> Evento B12

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos “Grupo A”	Eventos “Grupo B”	Eventos “Grupos C”	Eventos “Grupo D”	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.1.8	Deformación del coronamiento del muro	a) Primer valor umbral [m] (Monolitos): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la distancia máxima de deformación en el eje X. b) Segundo valor umbral [m] (Monolitos): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la distancia máxima de deformación en el eje Y. c) Tercer valor umbral [m] (Monolitos): Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la distancia máxima de deformación en el eje Y.		a) Evento B1: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje X b) Evento B2: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Y c) Evento B3: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Z d) Evento B4: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje X posterior a un evento sísmico e) Evento B5: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Y posterior a un evento sísmico f) Evento B6: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Se detecta una tendencia desfavorable en el eje Z posterior a un evento sísmico	a) Evento C1: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Valor deformación eje X > Primer valor umbral (Monolito) b) Evento C2: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Valor deformación eje Y > Segundo valor umbral (Monolito) c) Evento C3: (Se informa por Sector, Se evalúa por monolito) Valor deformación eje Z > Tercer valor umbral (Monolito)			• Evento B1 --> Evento B4 • Evento B2 --> Evento B5 • Evento B3 --> Evento B6
2.1.9	Presencia de grietas en el muro			a) Evento B1: Si se activa el evento gatillador presencia de grietas en el muro	a) Evento C1: (Se informa por Sector) Si se determina que las grietas detectadas ponen en riesgo la integridad del muro b) Evento C2: (Se informa por Sector) Si se detectan grietas posteriores a un evento sísmico y se determina que estas ponen en riesgo la integridad del muro c) Evento C3: (Se informa por Sector) Si se detectan grietas longitudinales posteriores al deslizamiento superficial que indiquen evidencia de un deslizamiento mayor que pone en riesgo la integridad del muro, este evento es posterior a la activación del evento gatillador “deslizamiento superficial”			• Evento B1 --> Evento C1 --> Evento C2 • Evento B1 --> Evento C1 --> Evento C3

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.1.10	Evidencia de humedad y/o filtraciones en talud de aguas abajo del muro			a) Evento B1: Si se activa el evento gatillador presencia de filtraciones o humedad	a) Evento C1: (Se informa por Sector) Si se determina que las filtraciones o humedad pone en riesgo la integridad del muro b) Evento C2: (Se informa por Sector) Si se detectan filtraciones o humedad posterior a un evento sísmico y se determina que estas ponen en riesgo la integridad del muro			• Evento B1 --> Evento C1 --> Evento C2
2.1.11	Fenómeno de subsidencia o socavación en el muro o en la cubeta cercana al muro			a) Evento B1: Si se activa el evento gatillador fenómeno de subsidencia o socavón en el muro del depósito b) Evento B2: Si se activa el evento gatillador fenómeno de subsidencia o socavón en la cubeta del depósito	a) Evento C1: (Se informa por Sector) Si se determina que el fenómeno de subsidencia o socavón pone en riesgo la integridad del muro b) Evento C2: (Se informa por Sector) Si se detectan fenómenos de subsidencia o socavón posterior a un evento sísmico y se determina que estos ponen en riesgo la integridad del muro			• Evento B1 --> Evento C1 --> Evento C2
2.1.12	Integridad del estribo			a) Evento B1: Si se activa el evento gatillador asociado a la integridad de los estribos b) Evento B2: (Se informa por sector) Si se determina mediante instrumentación que el estribo presenta una tendencia desfavorable asociada a su deformación (Evento de activación manual)	a) Evento C1: (Se informa por Sector) Se detectan problemas que afectan la estabilidad del estribo asociados a condiciones que específicas de cada depósito. Por ejemplo, filtraciones no controladas o altas deformaciones.	a) Evento D1: (Se informa por Sector) Se detecta un desplazamiento relativo entre el muro y el suelo de fundación (Evento de activación manual)		• Evento B1 --> Evento B2 --> Evento C1 --> Evento D1

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.1.13	Revancha hidráulica	a) Primer valor umbral [m]: Corresponde al valor umbral asociada a la revancha hidráulica definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para operar de forma normal. (Debe ser mayor al segundo valor umbral definido por la autoridad) b) Segundo valor umbral [m]: Corresponde al valor umbral asociada a la revancha hidráulica definido por la autoridad para determinar una correcta operación asociada al valor de la revancha hidráulica. c) Tercer valor umbral [m]: Corresponde al valor umbral asociada a la mínima revancha hidráulica definida por diseño para operar sin que el depósito esté expuesto a un rebalse por cualquier tipo de motivo.	a) Evento A1: (Este evento no se debe gestionar, solo se debe activar mientras el evento gatillador "Lluvia en desarrollo" este activo) Se detecta una revancha hidráulica decreciente con respecto a la última medición	a) Evento B1: Revancha hidráulica < Primer valor umbral b) Evento B2: Revancha hidráulica < Segundo valor umbral c) Evento B3: Revancha hidráulica < Tercer valor umbral			• Evento B1 --> Evento B2 --> Evento B3	
2.1.14	Revancha operacional	a) Primer valor umbral: Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la revancha operacional mínima. b) Segundo valor umbral: Corresponde al valor umbral definido por diseño o por recomendación de un asesor experto para determinar la revancha operacional máxima. c) Tercer valor umbral: Corresponde al valor umbral que indica que desde este nivel de revancha operacional el volumen de relaves depositado en la cubeta, si se encontrara depositado de forma completamente horizontal, se ocuparía la totalidad del volumen disponible del depósito. d) Porcentaje de cercanía permitido a la revancha mínima (α1[%]) : Corresponde al porcentaje del Valor umbral que indica que el valor medido se está cerca del Valor umbral asociado a la revancha mínima. e) Porcentaje de cercanía permitido a la revancha máxima (α2[%]) : Corresponde al porcentaje del Valor umbral que indica que el valor medido se está cerca del Valor umbral asociado a la revancha máxima.	a) Evento A1: Se activa el evento asociado a la desviación del diseño "Revancha operacional e hidráulica" b) Evento A2: Revancha operacional >= Tercer valor Umbral	a) Evento B1: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Revancha operacional >= Primer valor Umbral ·α1 (%) b) Evento B2: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Revancha operacional <= Segundo valor Umbral ·α2 (%) c) Evento B3: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Revancha operacional >= Primer valor Umbral	a) Evento C1: (Evaluación por Perfil, Se informa por Sector) Revancha operacional >= Segundo valor Umbral		• Evento B1 --> Evento B3 • Evento B2 --> Evento C1	
2.1.15	Tonelaje de relaves o lamas depositados en la cubeta y muro	a) Plan de depositación del proyecto: Corresponde a un gráfico que relacione el tonelaje acumulado en el depósito con respecto a la fecha a la cual el depósito debe alcanzar ese tonelaje de acuerdo al diseño o la planificación de la operación. b) Error permitido [ton] : Corresponde a la distancia máxima que puede estar el tonelaje con respecto al plan de depositación del proyecto. c) Valor umbral [ton] : Corresponde al máximo tonelaje permitido por el depósito al fin de su vida útil.	a) Evento A1: Plan de depositación (Fecha) + Error Permitido >= Tonelaje (Fecha) b) Evento A2: Plan de depositación (Fecha) - Error Permitido <= Tonelaje (Fecha)	a) Evento B1: Tonelaje > Valor umbral			• Evento A1 --> Evento B1	

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.1.16	Estado operativo del vertedero de emergencia		a) Evento A1: Se activa el evento gatillador asociado a que el vertedero de emergencia no está operativo b) Evento A2: Se activa el evento gatillador asociado a que se ha modificado la cota de funcionamiento del vertedero de emergencia (Para gestionar este evento se debe actualizar la cota de funcionamiento del vertedero de emergencia (dato de configuración del "Potencial de rebalse"))	c) Evento B1: (Se deben cumplir ambos requisitos) • Está activo el Evento A1 • Está activo el evento gatillador "Lluvia en desarrollo" o "Pronóstico de lluvia"			• Evento A1 --> Evento B1	
2.1.17	Nivel freático de la cubeta del depósito (aplicable a relaves espesados o en pasta)	a) Valor umbral [m.s.n.m.] : Corresponde a la máxima elevación que pueden alcanzar las cotas piezométricas antes de considerarse un valor irregular o fuera de diseño.	a) Evento A1: (Por piezómetro, Se informa por sector) Se detecta la presencia de nivel freático	b) Evento B1: (Por piezómetro, Se informa por sector) Cota nivel freático > Valor umbral			• Evento A1 --> Evento B1	

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.1.18	Presión de poros en el muro y suelo de fundación	a) Primer valor umbral [m.s.n.m.] : Corresponde a la máxima elevación que pueden alcanzar las cotas piezométricas antes de considerarse un valor irregular. b) Segundo valor umbral [m.s.n.m.] : Corresponde a la máxima elevación que pueden alcanzar las cotas piezométricas antes de considerarse un valor crítico.		a) Evento B1: (Se informa por sector, por instrumento) Se mide una tendencia desfavorable para intersección con el primer umbral a) Evento B2: (Se informa por sector, por instrumento) Se mide una tendencia desfavorable para intersección con el segundo umbral b) Evento B3: (Se informa por sector, por instrumento) Cambio de tendencia posterior a evento sísmico c) Evento B4: (Se informa por sector, por instrumento) • Si un instrumento supera el primer umbral • Si un instrumento supera el segundo umbral d) Evento B5: (Se informa por sector, por instrumento) • Si un instrumento supera el primera umbral y en el mismo sector, pero distinta ubicación supera el primer umbral • Si un instrumento supera el segundo umbral y un instrumento en el mismo sector, pero en una ubicación distinta supera el primer umbral • Si dos instrumentos validables entre si superan el primer umbral • Si un instrumento supera el segundo umbral y un instrumento en el mismo sector, pero en una ubicación distinta supera el segundo umbral e) Evento B6: (Se informa por sector, por instrumento) • Si un instrumento que superó el primer umbral es validado manualmente • Si dos instrumentos validables entre si superan el primer umbral y uno de ellos es validado manualmente • Si dos instrumentos validables entre si superan el primer umbral y ambos son validados manualmente	a) Evento C1: (Se informa por sector, por instrumento) • Si un instrumento supera el segundo umbral y un instrumento con el que es validable supera el primer umbral. • Si dos instrumentos, validables entre sí superan el primer umbral y un instrumento en el mismo sector, pero en distinta ubicación supera el primer umbral. • Si dos instrumentos, validables entre sí superan el primer umbral y un instrumento en el mismo sector, pero en distinta ubicación supera el segundo umbral. • Si dos instrumentos, validables entre sí superan el primer umbral y dos instrumentos en el mismo sector, pero en distinta ubicación superan el primer umbral. • Si dos instrumentos, validables entre sí superan el primer umbral y un instrumento en el mismo sector, pero en distinta ubicación supera el segundo umbral y su validador supera el primer umbral. • Si de dos instrumentos, validables entre sí uno supera el primer umbral y el otro supera el segundo umbral y al mismo tiempo un instrumento en el mismo sector, pero en distinta ubicación supera el segundo umbral y su validador supera el primer umbral b) Evento C2: (Se informa por sector, por instrumento) • Si un instrumento validado manualmente supera el primer umbral y al menos un instrumento en el mismo sector, pero en distinta ubicación supera el primer (independiente si es validado manualmente de forma posterior) o segundo umbral. • Si de dos instrumentos validables entre sí, uno supera el primer umbral es validado manualmente y el otro supera el segundo umbral	a) Evento D1: (Se informa por sector, por instrumento) Si dos instrumentos validables entre si superan el segundo umbral b) Evento D2: (Se informa por sector, por instrumento) Si un instrumento validado manualmente supera el segundo umbral	• Evento B4 --> Evento B5 --> Evento C1 --> Evento D1 • Evento B6 --> Evento C2 --> Evento D2 • Evento B6 --> Evento D2	• Evento B4 --> Evento B6 • Evento B4 --> Evento D2 • Evento B5 --> Evento B6 • Evento B5 --> Evento C2 --> Evento D2 • Evento B5 --> Evento D2 • Evento C1 --> Evento C2 --> Evento D2 • Evento C1 --> Evento D2
2.1.19	Intensidad de lluvia	a) Valor umbral [mm/hr] : Corresponde a la intensidad de lluvia umbral (sitio especifico) tal que el depósito se encuentra en presencia de una lluvia intensa para el sector.		a) Evento B1: (Por pluviómetro) Intensidad de lluvia > Valor umbral				

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos “Grupo A”	Eventos “Grupo B”	Eventos “Grupos C”	Eventos “Grupo D”	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.1.20	Potencial de rebalse	Curva de embalse: Corresponde a una curva que relaciona la cota de coronamiento del muro con el volumen teórico contenido en la cubeta correspondiente a lamas y agua. Curva de capacidad de volumen disponible vs altura de coronamiento del muro: Corresponde a una curva que relaciona la cota de coronamiento del muro con la capacidad máxima disponible de contención de relaves y agua en cubeta. Áreas aportantes (n0): Se debe definir las áreas aportantes que tributan al depósito, en esta categoría se deben definir todas las áreas que tengan asociado canales perimetrales, estanques o que aporten directamente a la cubeta del depósito sin pasar por estructuras de desvío. Para cada área aportante definida se deben asignar los siguientes parámetros: (La explicación detallada de estos coeficientes se encuentre en el detalle del Parámetro Críticos “Potencial de rebalse”) Área total [(km)^2] Coeficiente C_r Coeficiente P^' [mm] Área cubeta [(km)^2]: Se debe definir el área asociada a la cubeta del depósito Canales perimetrales (n1): Se debe definir la cantidad de canales perimetrales existentes en el depósito de relaves. Se distingue un canal perimetral de otro de acuerdo a sus áreas aportantes, capacidades máximas de evacuación y el sector donde evacuan sus aguas. Para cada canal perimetral se deben definir los siguientes parámetros: Capacidad de desvió máxima canal perimetral [m^3/hr] Intensidad de lluvia máxima de diseño [mm/hr] Área aportante asociada (Definida en el punto anterior) Sector de desvió de agua (Un embalse o un sector externo del depósito) Cantidad de embalses (n2): Se debe definir la cantidad de embalses existentes en el depósito de relaves. Los embalses se definen para captar el agua de canales perimetrales o áreas aportantes específicas. Para cada embalse se deben definir los siguientes parámetros: Canales perimetrales asociados (Definidos en el punto anterior) Capacidad máxima del estanque [m^3] Capacidad de recirculación máxima [m^3/hr] (En caso de tener un canal de recirculación independiente, en caso de recircular agua con un canal perimetral ya definido anteriormente no se considera) Área aportante asociada (Definida en el punto anterior) Cantidad de vertederos de emergencia (n3): Se debe definir la cantidad de vertederos de emergencia disponibles en el depósito, también se debe definir su cota de inicio de operación y su capacidad de desvió máxima. Para cada vertedero de emergencia se deben definir los siguientes parámetros: Capacidad de desvió máxima vertedero de emergencia [m^3/hr] Cota de inicio de funcionamiento del vertedero de emergencia [m.s.n.m.] Tiempo de evacuación (T): Corresponde al tiempo mínimo requerido para informar a la población que es necesario evacuar las cercanías del depósito de relaves en caso de una Alerta Roja.	a) Evento A1: Si se activa el evento gatillador asociado a una falla en los canales perimetrales b) Evento A2: Se detecta un PR mayor a 1 en el pre-cálculo del pronóstico de lluvia. c) Evento A3: Se detecta un PR entre 0,8 y 1,0	a) Evento B1: Si se activa el evento asociado a un pronóstico de lluvia b) Evento B2: Si se activa el evento gatillador asociado a una lluvia en desarrollo c) Evento B3: Tiempo (PR=1) < Tiempo de evacuación d) Evento B4: PR > 1,0			• Evento B1 --> Evento B2 (Cuando se detecta intensidad de lluvia en el Pluviómetro) • Evento A2 --> Evento A3 --> Evento B4	

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.1.21	Estudio de revancha mínima		a) Evento A1: En caso de tener que actualizar el estudio de las revanchas mínimas (operacional y/o hidráulica)	a) Evento B1: En caso de no existir un estudio de revanchas mínimas				
2.1.22	Aceleración sísmica del muro	a) Primer valor umbral [g]: Corresponde al PGA indicado por diseño que debe medir un acelerógrafo instalado en roca en el sector del depósito. b) Segundo valor umbral [g]: : Corresponde al PGA indicado por diseño que debe medir un acelerógrafo instalado en el suelo de fundación en el sector del depósito. c) Tercer valor umbral [g]: : Corresponde al PGA indicado por diseño que debe medir un acelerógrafo instalado en el coronamiento del muro del depósito.	a) Evento A1: En caso se cualquiera de los acelerógrafos instalados en el depósito supere el valor de inicio de medición (trigger) se debe activar automáticamente el evento gatillador "Sismo sensible"			a) Evento D1: Máxima aceleración medida en roca < Primer valor umbral b) Evento D2: Máxima aceleración medida en el suelo de fundación < Segundo valor umbral c) Evento D3: Máxima aceleración medida en el coronamiento del muro < Tercer valor umbral		
2.1.23	Densidad del material de relleno del muro	a) Primer valor umbral [kg/m3]: Corresponde a la mínima densidad que se debería lograr en terreno después del proceso de compactación, este umbral se define por el proyecto de diseño de ingeniería del muro. b) Segundo valor umbral [%] : Corresponde al valor porcentual mínimo permitido, en referencia al ensayo Proctor, que sé que se debe alcanzar en terreno, este umbral se define por el proyecto de diseño de ingeniería del muro.		a) Evento B1.1: (En embalses, Se informa por sector) Densidad medida < Primer valor umbral b) Evento B1.2: (En tranques, Se informa por sector) Nivel de compactación < Segundo valor umbral				
2.1.24	Granulometría del material de relleno del muro	a) Valor umbral [%]: Corresponde al mínimo porcentaje de compactación asociado a un tipo de ensayo que se puede medir en terreno después del proceso de compactación, este umbral se define por diseño. b) Curva granulométrica de las arenas: Corresponde a la curva granulométrica especificada por diseño para las arenas que conformarán el muro del tranque.	a) Evento A1: Se detecta que la curva granulométrica de las arenas no cumple según los criterios de diseño.	a) Evento B1: Si se activa el evento asociado a la desviación con respecto al diseño "Materiales apropiados" b) Evento B2: (Se informa por sector) Porcentaje de finos < Valor umbral				

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.1.25	Módulos de deformación y resistencia al corte del material de relleno del muro del depósito	a) Tiempo α : Corresponde a la máxima cantidad de tiempo que puede estar activo el evento especificado antes de activar una Alerta Amarilla automática.		a) Evento B1: (Se informa por sector) Ingeniero especialista (por ejemplo, EoR) detecta que las propiedades resistentes o el módulo de deformación no son acorde con lo especificado en el diseño (se determina a partir del informe de la empresa a cargo del estudio) b) Evento B2: (Se informa por sector) Posterior a un ensayo SPT o similar realizado en el muro del depósito se determina la existencia de un estrato que no cumple con los criterios de densidad especificados por diseño.	a) Evento C1: (Se informa por sector) En caso de mantenerse activo por un tiempo "α" el Evento B1 se activa automáticamente. b) Evento C2: (Se informa por sector) Se determina que los resultados del ensayo que activo un Evento B2 ponen en peligro la estabilidad del depósito debido a las dimensiones del área afectada.	a) Evento D1: (Se informa por sector) Se determina que el sector que no cumple con los parámetros de densidad (Evento C2) se encuentra bajo el nivel freático o con un nivel alto de saturación.	• Evento B1 --> Evento C1 • Evento B2 --> Evento C2 --> Evento D1	
2.1.26	Evaluación de la adecuada caracterización geotécnica del suelo de fundación		a) Evento A1: No se ha realizado la validación de la información asociada a la caracterización geotécnica del suelo de fundación. b) Evento A2: Se dispone de información parcial de la caracterización geotécnica del suelo de fundación. c) Evento B1: No se tiene información asociada a la caracterización geotécnica del suelo de fundación.	a) Evento B1: (Se informa por sector) Si se detecta que las propiedades resistentes de la cubeta no cumplen con las especificadas en diseño (Se determina a partir del informe de la empresa a cargo del estudio).				
2.1.27	Resistencia del material de relaves de la cubeta del muro			a) Evento B1: (Se informa por sector) Si se detecta que las propiedades resistentes de la cubeta no cumplen con las especificadas en diseño (Se determina a partir del informe de la empresa a cargo del estudio).				

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.1.28	Cumplimiento de las características de diseño del sistema de drenaje		a) Evento A1: No se ha realizado la validación de la información asociada al cumplimiento de las características de diseño del sistema de drenaje. b) Evento A2: Se dispone de información parcial del cumplimiento de las características de diseño del sistema de drenaje.	a) Evento B1: No se tiene información asociada al cumplimiento de las características de diseño del sistema de drenaje.				
2.1.29	Integridad del sistema de drenaje	a) Valor umbral [m.s.n.m.]: Corresponde a la máxima cota piezométrica que puede alcanzar el piezómetro que indica que, el dren al que está asociado, entró en presión.		a) Evento B1: Si se activa el evento gatillador "Falla en el sistema de drenaje" b) Evento B2: (Por instrumento) Se detecta una variación brusca de caudal (Metodología por definir) c) Evento B3: (Por instrumento) Presión de poro medida > Valor umbral (asociado a la altura del dren)	a) Evento C1 (Si se cumple al menos una de las siguientes condiciones) • Dos instrumentos validables entre si deben superar el valor umbral de Evento B3 • Validación manual de un instrumento en Evento B3		• Evento B3 --> Evento C1	• Evento B3 --> Evento C1
2.1.30	Turbiedad del agua en el sistema de drenaje	a) Valor umbral [NTU]: Corresponde a la máxima cantidad de turbidez que puede detectar el sensor antes de activar el evento especificado. b) Tiempo α : Corresponde a la máxima cantidad de tiempo que puede estar activo el evento especificado antes de activar una Alerta Roja automática.		a) Evento B1: Si se activa el evento gatillador "Se detecta material particulado a la salida del sistema de drenaje". b) Evento B2: Medida de turbidez > Valor umbral. c) Evento B3: Se activan simultáneamente los eventos asociados a los Eventos B1 Y B2. Se deben gestión ambos eventos en conjunto (Un solo evento que contiene ambas situaciones)	a) Evento C1: El Evento B3 se mantiene activo por un tiempo mayor a "α".		• Evento B1 --> Evento B3 --> Evento C1 • Evento B2 --> Evento B3 --> Evento C1	

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.2. Condiciones asociadas a los escenarios de falla (Módulo 2)								
2.2.1	IT-01: "Inestabilidad por sismo y efectos adversos"					a) Evento D1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 1: • Evento gatillador: Sismo sensible (Evento B) Eventos Módulo 2: • Presiones de poros: (Evento B5 o superior) Adicionalmente se cumple al menos uno de los siguientes: Eventos Módulo 2: • Presencia de grietas en el muro del depósito: (Evento C2) • Presencia de filtraciones en el muro del depósito: (Evento C2) • Presiones de poros: (Evento B3)		
2.2.2	IT-02: "Inestabilidad por aumento de presión de poros con evidencia de deformación"					a) Evento D1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Presiones de poros: (Evento B5 o superior) Adicionalmente se cumple al menos uno de los siguientes: Eventos Módulo 2: • Desplazamiento o deformación del muro: (Evento C1, C2, C3, C4 o C5) • Deformación del coronamiento: (Evento C1, C2 o C3)		
2.2.3	IT-03: "Inestabilidad por licuación estática"				a) Evento C1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Módulo de rigidez y resistencia al corte del muro: (Evento C2) • Presiones de poro: (Evento C1 o superior)	a) Evento D1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Módulo de rigidez y resistencia al corte del muro: (Evento D1)		
2.2.4	IT-04: "Inestabilidad por solicitación cíclica"					a) Evento D1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 1: • Evento gatillador: Sismo sensible (Evento B) Eventos Módulo 2: • Módulo de rigidez y resistencia al corte del muro: (Evento C2) • Presiones de poro: (Evento B5 o superior)		

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos “Grupo A”	Eventos “Grupo B”	Eventos “Grupos C”	Eventos “Grupo D”	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.2.5	IT-05: “Inestabilidad por falta de integridad en estribos”					a) Evento D1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Integridad de los estribos: (Evento B2) • Integridad de los estribos: (Evento C1) Adicionalmente se cumple al menos uno de los siguientes: Eventos Módulo 2: • Presencia de filtraciones en el muro del depósito: (Evento C1 o C2) • Distancia mínima al muro de la laguna aguas claras: (Evento C1) • Presiones de poros: (Evento B5 o superior)		
2.2.6	IT-06: “Inestabilidad por deslizamiento del muro”				a) Protocolo C1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 1: • Evento gatillador: Deslizamiento superficial de un sector del talud del muro (Evento B) Eventos Módulo 2: • Evidencia de grietas en el muro del depósito: (Evento C3)	a) Protocolo D1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Escenario de falla IT-06: (Evento D1) Adicionalmente se cumple al menos uno de los siguientes: Eventos Módulo 2: • Distancia mínima al muro de la laguna aguas claras: (Evento C1) • Presiones de poros: (Evento C1 o superior) • Presencia de filtraciones en el muro del depósito: (Evento C1 o C2) b) Protocolo D2: (Por confirmación manual) Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Escenario de falla IT-06: (Evento D1) Adicionalmente se cumple al menos uno de los siguientes se debe solicitar confirmación manual de Alerta Roja: • Presiones de poros: (Protocolo B5 o superior) • Presiones de poros: (Protocolo B1 o B2)		
2.2.7	Re-01: “Rebalse por pérdida de revancha hidráulica durante lluvia intensa”				a) Evento C1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 1: • Evento gatillador: Lluvia en desarrollo (Evento B) Eventos Módulo 2: • Revancha hidráulica: (Evento B1) • Potencial de rebalse: (Evento B4)	a) Evento D1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Escenario de falla Re-01: Evento C1 • Potencial de rebalse: Evento B3		

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.2.8	Re-02: "Rebalse por ola debido a deslizamiento"					a) Evento D1: (Por confirmación manual) Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 1: • Evento gatillador: Deslizamiento inminente hacia el interior de la laguna (Evento C) b) Evento D2: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: • Evento gatillador: Deslizamiento inminente hacia el interior de la laguna (Evento C) Eventos Módulo 2: • Revancha hidráulica: (Evento B1)		
2.2.9	Re-03: "Rebalse de relaves producto de licuefacción de la cubeta"				a) Evento C1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Revancha operacional: Evento A2 • Pendiente de playa: Evento B1 • Nivel freático en la cubeta: Evento B1	a) Evento D1: (Por confirmación manual) Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Escenario de falla Re-03: Evento C1		
2.2.10	EI-01: "Erosión interna producto de filtración descontroladas"					a) Protocolo D1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Presencia de filtraciones en el muro del depósito: (Evento C1 o C2) Adicionalmente se cumple al menos uno de los siguientes: Eventos Módulo 2: • Distancia mínima al muro de la laguna aguas claras: (Evento B1 o superior) • Presión de poros: (Evento B5 o superior) • Turbiedad en el sistema de drenaje: (Evento B1, B2 o B3) • Presencia de grietas en el muro del depósito: (Evento C1 o C2)		

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.2.11	EI-02: "Erosión interna producto de subsidencias en la cubeta del muro"				a) Evento C1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Presencia subsidencia o socavón en el muro o cubeta del depósito: (Evento B2) • Distancia mínima al muro de la laguna aguas claras: (Evento B1 o superior)	a) Evento D1: (Por confirmación manual) Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Escenario de falla EI-02: Evento C1		
2.2.12	EI-03: "Erosión interna producto de aparición de subsidencias en el muro"					a) Protocolo D1: Se deben cumplir todos los eventos en un sector para activar el escenario de falla: Eventos Módulo 2: • Presencia de subsidencia o socavón en el muro o cubeta del depósito: (Evento C1 o C2) Adicionalmente se cumple al menos uno de los siguientes: Eventos Módulo 2: • Distancia mínima al muro de la laguna aguas claras: (Evento B1 o superior) • Presión de poros: (Evento B5 o superior) • Turbiedad en el sistema de drenaje: (Evento B1, B2 o B3) • Presencia de grietas en el muro del depósito: (Evento C1 o C2)		

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos "Grupo A"	Eventos "Grupo B"	Eventos "Grupos C"	Eventos "Grupo D"	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
2.3. Problemas de la instrumentación en línea								
2.3.1	Falla tipo 1	"La instrumentación deja de enviar información a la plataforma por un período de tiempo": Corresponde a cualquier periodo en que el instrumento disminuya su frecuencia normal de entrega de información.	Evento A1: (FI01 – A1) • Se activa un "Evento A1" asociado al parámetro crítico del instrumento. Si el instrumento vuelve a enviar información, a la frecuencia preestablecida, ésta no será considerada para el cálculo del IEF hasta que se verifique la causa de la pérdida de comunicación con el instrumento. (El Evento A1 se asocia a un evento por falla instrumental de tipo 1) Situación especial: • En caso de verificar que los intervalos donde el instrumento no envía información se deben a problemas sitio específico y que esto no afecta la información que entrega el instrumento, se puede asignar al instrumento una opción para que no active este tipo de protocolos y pueda funcionar de forma continua.					
2.2.2	Falla tipo 2	"La instrumentación comienza a enviar información repetida": En caso que algún instrumento repita el valor entregado en su medición anterior más de 3 veces.	Evento A2: (FI02 – A2) • Se activa un "Evento A2" asociado al parámetro crítico del instrumento. Los datos serán considerados para el cálculo del IEF, pero el evento seguirá activo hasta que se verifique la causa de la información repetida (El Evento A2 se asocia a un evento por falla instrumental de tipo 2). Situación especial: • En caso de verificar que el instrumento puede enviar información repetida dado condiciones sitio específicas y que esto no afecta la información que entrega el instrumento, se puede asignar al instrumento una opción para que no active este tipo de protocolos.					
2.3.3	Falla tipo 3	"La instrumentación comienza a enviar información carente de sentido físico o anormal": En caso que la información entregada por la instrumentación no cumpla con los criterios de filtro definidos para cada parámetro crítico.	Evento A3: (FI03 – A3) • Se activa un "Evento A3" asociado al parámetro crítico del instrumento. Los datos no serán considerados para el cálculo del IEF y el evento seguirá activo hasta que se verifique la causa de la información anómala (El Evento A3 se asocia a un evento por falla instrumental de tipo 3). Situación especial: • En caso de verificar que el instrumento puede enviar información anómala por condiciones sitio específicas y que esto no afecta la información que entrega el instrumento, se puede asignar al instrumento una opción para que no active este tipo de protocolos. Para esta situación el criterio de filtro asociado al sentido físico del parámetro seguirá siendo válida y los datos no serán evaluados por el IEF, pero en caso de tener información que sí cumple con los criterios, ésta podrá ser evaluada inmediatamente pues el protocolo no se activará.					

Codigo	Parámetro / Escenario	Datos de configuración	Eventos “Grupo A”	Eventos “Grupo B”	Eventos “Grupos C”	Eventos “Grupo D”	Escalamiento automático	Escalamiento Manual
3.4. Retraso en la información de entrada asociada al monitoreo manual Este grupo incluye todos los eventos que pueden implementarse como resultado de un retraso en la evaluación del Módulo 2. Está asociado con las variables de entrada manual de los parámetros críticos. Los retrasos pueden estar asociados con un Evento A1 o Evento B1 dependiendo del tiempo de retraso.								
2.4.1	Evento A1 (RI05 –A1)	Este evento corresponde a un retraso en la data de entrada: To[hr]: Tiempo actual desde la última actualización. T[hr]: Tiempo definido por el IEF para determinar el intervalo entre la actualización de los distintos parámetros. α: Coeficiente de retraso 1, con un valor propuesto de 0,5. β: Coeficiente de retraso 2, con un valor propuesto de 0,2.	Si el parámetro crítico tiene al menos un evento activo del tipo A y $T < To < \beta T + T$ Si el parámetro crítico tiene activo al menos un evento del tipo B y $T < To < \beta T + T$					
2.4.2	Evento B1 (RI06 –B1)	Este evento corresponde a un retraso en la data de entrada: To[hr]: Tiempo actual desde la última actualización. T[hr]: Tiempo definido por el IEF para determinar el intervalo entre la actualización de los distintos parámetros. α: Coeficiente de retraso 1, con un valor propuesto de 0,5. β: Coeficiente de retraso 2, con un valor propuesto de 0,2.		Si el parámetro crítico tiene al menos un evento activo del tipo B y $T < To$				