

ANEXO II

GUÍA TÉCNICA PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE DISEÑO DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES

El “*Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería*” en su Artículo 35. *Contenido mínimo del Proyecto de Diseño*, hace referencia al cumplimiento de requisitos mínimos que Titular debe presentar como parte del Proyecto de Diseño y que se presentan a continuación además de algunas guías y lineamientos técnicos para su desarrollo.

1.- IDENTIFICACIÓN

REQUISITO 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO, DEL REPRESENTANTE LEGAL Y DE LA CONCESIÓN MINERA ASOCIADA AL PROYECTO DE DISEÑO

El Titular debe registrar la siguiente información: (i) nombre y RUC de la compañía, (ii) domicilio, (iii) número (s) telefónico de contacto convencional y celular, (iv) casillero judicial o correo electrónico para notificaciones.

Respecto a la concesión minera se debe indicar: (i) nombre, (ii) código catastral, (iii) ubicación del área; sector, parroquia, cantón, provincia, (iv) coordenadas Este/Norte de ubicación del área minera; coordenadas UTM PSAD 56 y WGS84, zona (16, 17 o 18), (v) tipo de mineral(es) a ser extraído(s), (vi) tipo de explotación (subterránea/cielo abierto), (vii) Gráfico respecto a la información catastral.

2.- INTRODUCCIÓN

REQUISITO 2.1 GENERALIDADES

Se debe indicar la provincia, el sector, la altitud (m.s.n.m), las vías de acceso terrestres principales, vías secundarias, distancia (km) a ciudades o pueblos cercanos al depósito de relaves.

REQUISITO 2.2 ALCANCE Y OBJETIVOS DEL INFORME

Indicar si la oficina de Ingeniería del Titular, o si algún consultor individual, firma consultora, o en forma conjunta con el Consultor se realizó la ingeniería de detalle del depósito de relaves. Informar cuál fue el alcance de los trabajos de cada una de las partes (si las hubiere) en términos de supervisar las investigaciones geotécnicas de campo, dirigir las pruebas de laboratorio, realizar análisis de ingeniería, desarrollar los planos de diseño a nivel de ingeniería de detalle, cálculos de los costos, cronograma de construcción, además de información relevante, medible y verificable en sitio relacionadas con las particularidades del diseño y construcción del o de todos los depósitos de relaves.

3.- UBICACIÓN Y ACCESOS

REQUISITO 3.1 UBICACIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES

Además de lo indicado en el Requisito 1.1 de esta Guía se debe complementar con información respecto al depósito de relaves, es decir, la ubicación del depósito; sector, parroquia, cantón, provincia. Las coordenadas Este/Norte de ubicación del depósito y obras anexas; coordenadas UTM PSAD 56, zona (16, 17 o 18). También se debe indicar:

1. Estudio de alternativas para la selección de la ubicación del Depósito de Relaves. El Titular debe demostrar que realizó este estudio antes de tomar la decisión final de la selección de sitio.

2. Planos de la ubicación del depósito de relaves, señalando las coordenadas UTM PSAD 56 y WGS 84 de sus principales vértices, en el formato indicado en el Requisito 16.1
3. Plano General donde se ubicará el depósito de relaves, que incluya las distancias a los centros poblados cercanos, infraestructura vial, eléctrica, ríos, vertientes, quebradas, entre otros. La infraestructura a la que se hace referencia será la existente en el área de interés, en el formato indicado en el Requisito 16.1;
4. Plano General del Proyecto Minero con todos los componentes de la obra, incluyendo las obras de explotación, beneficio, facilidades, accesos, entre otros, en el formato indicado en el Requisito 16.1.

REQUISITO 3.2 DEPÓSITOS DE RELAVES ADYACENTES

Para los depósitos adyacentes se debe considerar una codificación o catalogación de los mismos mostrando la ubicación de dichos depósitos de relaves en un plano a escala considerando todo lo indicado en el Requisito 1.1.

REQUISITO 3.3 CAMINOS DE ACCESO AL DEPÓSITO DE RELAVES

Indicar los caminos de acceso a la presa, al sitio de coronamiento, a las casetas de instrumentación, a los puntos de recolección de filtraciones y a toda otra instalación que se considere necesario mencionar. Debe contemplar planos con el trazado en planta, pendientes longitudinales y transversales de los caminos de acceso, su categorización según la Clasificación de los Manuales del MTOP. En el caso de que estos ocupen espacios públicos, las cunetas y encauzamientos serán construidas de acuerdo con el alineamiento, pendiente y sección transversal señalados en los planos de la ingeniería de detalle según las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del MTOP u otras normas internacionales que contengan los criterios y normas, especificadas en las normas ecuatorianas.

4.- ANTECEDENTES Y ESTUDIOS REALIZADOS

REQUISITO 4.1 TOPOGRAFÍA

La información topográfica de la zona del proyecto debe considerar planos a una escala 1:1000 o inferiores. La información topográfica debe incluir la zona del proyecto, la cual debe estar referida a las coordenadas UTM del sistema geodésico PSAD 56 y WGS 84. La información también debe incluir centros poblados cercanos, infraestructura vial, eléctrica, ríos, vertientes, quebradas, caminos o vías de acceso a los diferentes sitios de obras, cartografía general de la cuenca hidrográfica (dependiendo del sitio de emplazamiento del proyecto), entre otros.

REQUISITO 4.2 GEOLOGÍA REGIONAL

El motivo de realizar un estudio de carácter geológico regional, es dotar de un marco geológico, a las investigaciones geológico – geotécnicas del depósito de relaves que se va a construir, así como de correlacionar la zona del emplazamiento con las estructuras geológicas regionales para diversos aspectos como la sismicidad, esfuerzos in situ, entre otros. En zonas de sismicidad elevada el estudio geológico regional debe identificar fallas geológicas capaces de activar movimientos sísmicos.

REQUISITO 4.3 GEOLOGÍA LOCAL

Requisito 4.3.1 Geología de superficie

Las investigaciones geológicas incluirán la preparación de un mapa de los depósitos de rocas superficiales y cortes basados en el reconocimiento del área mediante geotravesías, también se pueden requerir estudios de imágenes aéreas (fotointerpretación – fotogeología). Se deben estudiar las posibilidades de deslizamientos a producirse en la futura obra. Se estudiarán las fallas existentes y las zonas de rocas débiles y permeables.

Requisito 4.3.2 Geología de subsuelo

Se deben ejecutar estudios de prospección geofísica en el terreno con el objetivo de proveer información indirecta de la configuración del terreno de cimentación de la presa, muro o dique de relaves. Estos estudios servirán para diseñar una campaña de perforación con recuperación de núcleos. Estas investigaciones se complementarán con excavaciones de trincheras a cielo abierto. Cuando se requieran, se efectuarán además mediciones de la resistencia in situ de los suelos y de la dureza de la roca, y de la determinación de los niveles de agua subterránea. De los estudios de prospección geofísica se determinarán las capas de agua en los diferentes sitios propuestos y las características de los estratos de cimentación, facilitando la selección y cuantificación del material adicional de las inmediaciones para la construcción de la presa inicial.

A partir de la geología de superficie y de subsuelo se deben realizar cortes geológicos en un número razonable transversalmente al sitio de la presa. Los cortes deben mostrar la disposición de las rocas, tanto en profundidad, como sobre la superficie topográfica con el objetivo de construir un modelo geológico coherente. En general, dicho modelo debe mostrar a detalle la configuración geológica, de las principales obras del proyecto (presa, túneles, obras de infraestructura, entre otros).

REQUISITO 4.4 GEOTECNIA

Los trabajos a realizarse deben tener como objetivo la caracterización física y mecánica de los materiales de roca y suelo que componen las diferentes unidades geotécnicas involucradas en el área del proyecto, así como también, definir los niveles de desplante de la cimentación de la presa, dique o muro de contención, diseño de los taludes de corte, potencias de los estratos e identificar los materiales de préstamo que se emplearán durante el proceso constructivo.

Las investigaciones para la cimentación incluirán investigaciones geológicas, mecánica de suelos y rocas con base en normativas nacionales e internacionales.

Requisito 4.4.1 Ensayos de Laboratorio

Las investigaciones de laboratorio proporcionarán las características físicas y mecánicas de los suelos y rocas de cimentación que soportará la presa para relaves y de otros puntos pertenecientes a las obras anexas (túneles, pozos, zanjas, entre otros), así como también de los materiales seleccionados (materiales de préstamo), para emplear en la construcción de las obras de infraestructura que componen el depósito de relaves. Para la caracterización de las muestras de suelo obtenidas de las calicatas y sondajes se deben realizar ensayos de laboratorio, siguiendo las normas de la American Society Testing Materials (ASTM) o su equivalente. En los casos que corresponda, se debe incluir su estadística (valores mínimos, promedios, valores máximos, desviación standard).

Requisito 4.4.2 Caracterización geotécnica

El objetivo de la caracterización geotécnica es proveer las propiedades físicas y mecánicas del terreno para el diseño de las diferentes obras que requiere el proyecto del depósito de relaves y obras anexas. La caracterización geotécnica implica la ejecución de trabajos de campo y de laboratorio necesario para definir las características geotécnicas de las unidades de suelo y roca que impactan sobre el diseño de la estructura proyectada y que pueden realizarse en función de las condiciones geológicas encontradas así como de los requerimientos de diseño, son:

1. Trabajos de campo: Descripción geotécnica de calicatas y afloramientos (litología, estratigrafía, niveles freáticos superficiales, entre otros)
2. Sondajes de perforación con recuperación de núcleos: clasificar, identificar y evaluar los parámetros de permeabilidad, densidad, compresibilidad, resistencia al corte, entre otros.
3. Investigaciones de prospección geofísica (tales como ensayos geofísicos de refracción sísmica y de medición de ondas de corte, MASW y MAM o resistividad eléctrica) a lo largo del eje de la presa y transversal a la misma para la investigación del subsuelo de apoyo de

los depósitos de relave a construirse, la definición del perfil de suelo puede realizarse con base en la Vs30, o velocidad de ondas de corte de los 30 primeros metros.

4. Investigaciones in situ: Los dos tipos de ensayos in-situ, realizados con perforaciones, son del tipo SPT o CPT, que proporcionan la capacidad del suelo a la penetración o capacidad de soporte, y el de permeabilidad, que permite obtener datos respecto a las características de los suelos o rocas de apoyo. Los ensayos SPT deben, en lo posible, estar calibrados con medición de la energía que libera el equipo.

REQUISITO 4.5 CLIMATOLOGÍA

El clima condiciona ciertas características asociadas a la geomorfología, a la red hidrográfica, al sistema de acuíferos. Con el objetivo de comprobar la influencia climatológica sobre el comportamiento del depósito de relaves, se debe elaborar un estudio climatológico, siendo las variables climáticas mínimas; la temperatura, la precipitación y la evapotranspiración. El estudio de estas variables puede realizarse a partir de información proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) así como por información generada por el Titular.

Requisito 4.5.1 Evapotranspiración Potencial (ETP)

1. Evapotranspiración Potencial ETP, (mm). Para el cálculo de este parámetro lo recomendable es contar con un registro de datos de al menos 10 años. Se deberán registrar las evaporaciones totales mensuales.

Requisito 4.5.2 Temperatura

1. Temperatura media (°C) mensual promedio para cada mes del año.

Requisito 4.5.3 Viento

1. Velocidad mayor mensual observada en m/s y su dirección (N, S, E o W).
2. Velocidad media mensual en km/h

Requisito 4.5.4 Humedad relativa mensual

1. Humedad relativa mensual promedio, (Porcentaje, %).

Requisito 4.5.5 Precipitaciones

Para el diseño de depósitos de relaves se debe presentar un análisis de curvas de intensidad duración frecuencia.

1. Estadística de las precipitaciones totales mensuales (mm), valor promedio, valor mínimo, valor máximo, desviación estándar.
2. Estadística de la precipitación máxima en 24 horas (mm), valor promedio, valor mínimo, valor máximo, desviación estándar.
3. Precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 horas (mm) para diferentes periodos de retorno.

Requisito 4.5.6 Selección del evento de tormenta

La selección del evento de tormenta debe ser definida en función de las potenciales consecuencias originadas por una falla del depósito de relaves y los controles que pueden ser establecidos durante la operación y una condición final durante el cierre. Para el caso de la selección de un evento de límite superior, como es la Precipitación Máxima Probable (PMP), el titular puede recurrir a una de las metodologías propuestas por la Organización Mundial de Meteorología (WMO).

REQUISITO 4.6 HIDROGEOLOGÍA

Las condiciones hidrogeológicas y el régimen de agua subterráneas de la zona donde se construirá el depósito de relaves estarán fuertemente influenciadas por la topografía, la geología y el clima. Esta condición natural puede a su vez ser influenciada por factores antrópicos provenientes de la actividad minera. Se debe presentar una caracterización hidrogeológica con la siguiente información:

1. Unidades hidrogeológicas;

2. Tipos de acuíferos presentes;
3. Inventario georeferenciado de cuerpos de agua superficial posiblemente influenciados por el agua subterránea;
4. Velocidad y dirección preferenciales del flujo subterráneo;
5. Determinación de los coeficientes de permeabilidad de las unidades hidrogeológicas;
6. Profundidad de los niveles freáticos;
7. Direcciones preferenciales del flujo subterráneo;
8. Modelo conceptual de la influencia de la presa en el abatimiento de aguas subterráneas. Análisis ex-ante y ex-post.
9. Calidad del agua subterránea.
10. Otros que el Titular crea conveniente analizar.

REQUISITO 4.7 PELIGRO SÍSMICO Y AMENAZA VOLCÁNICA

Requisito 4.7.1 Peligro sísmico

Se debe analizar la capacidad, o potencial, de daño del movimiento del terreno generado por terremotos en un lugar, para tal efecto se debe realizar la revisión y el análisis de la información de la actividad sísmica de la región en la cual se proyecta construir el depósito de relaves. El propósito de este estudio será la determinación de la aceleración máxima de campo libre (PGA) el cual es uno de los parámetros más necesario para caracterizar sismológicamente un sitio, y es más bien el espectro de peligro uniforme que lo representa de mejor manera y sobre el cual se trabaja la caracterización de respuesta de sitio. Este estudio deberá actualizarse cada cinco (5) años conforme lo indica el estándar de ANCOLD, señalado en el Artículo 4 del *“Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería”*.

1. Modelo tectónico regional;
2. Sismicidad en la zona de influencia;
3. Sismicidad histórica;
4. Sismicidad instrumental;
5. Análisis de peligro sísmico probabilístico;
6. Estimación probabilística del máximo sismo;
7. Análisis del peligro sísmico determinístico;
8. Estimación determinística del máximo sismo;
9. Mapa de peligrosidad sísmica.

Requisito 4.7.2 Amenaza volcánica

Se deben descartar los diferentes escenarios volcánicos a partir de la caída de ceniza, presencia de lahares y flujos piroclásticos.

1. Caracterización de la amenaza volcánica;
2. Mapa de amenaza volcánica.

REQUISITO 4.8 GEOQUIMICA

Geoquímica de rocas o unidades geometalúrgicas a explotar, que darán origen al relave, con una descripción que respalde la caracterización mineralógica y su comportamiento geoquímico.

REQUISITO 4.9 OTROS

Incluir información relevante al diseño y construcción de depósitos de relaves solicitas por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables o que el Titular considere necesarios, incluyendo ubicación, condiciones y características de los materiales de préstamo que serán usados en la Construcción, Operación, Mantenimiento del depósito.

5.- ANÁLISIS DEL RIESGO HIDROMETEREOLÓGICO

Es de suma importancia conocer el comportamiento hidrometeorológico de la cuenca de estudio en virtud de la variabilidad climática, con el propósito de evaluar los posibles riesgos que ésta generaría. Ante esto, surge la necesidad de verificar si la presa, muro o dique para relaves, diseñado, puede soportar incrementos en los caudales promedios mediante un análisis de riesgo hidrometeorológico.

REQUISITO 5.1 ESTUDIO HIDROMETEREOLÓGICO

El estudio hidrometeorológico tiene por objeto determinar los parámetros y características físicas e hidrológicas de las quebradas y cauces que incidirán en la zona de emplazamiento del depósito de relaves.

Requisito 5.1.1 Caracterización fisiográfica

Se requiere de la caracterización de la cuenca mediante el cálculo de parámetros geomorfológicos y de relieve que representan de manera numérica las tipologías de la forma y relieve de la cuenca, entre los que se mencionan.

1. Parámetros Geomorfológicos;
 - a. Superficie de la cuenca;
 - b. Perímetro de la cuenca;
 - c. Factor de forma de la cuenca;
 - d. Coeficiente de Gravellus o índice de compacidad;
 - e. Ancho medio.
 - f. Otros.
2. Parámetros de relieve
 - a. Pendiente media de la cuenca;
 - b. Pendiente media del cauce principal.
 - c. Otros.

Requisito 5.1.2 Análisis de precipitaciones

Las precipitaciones atmosféricas constituyen las entradas de agua en la cuenca, y la evolución de su llegada a un punto se registra mediante pluviómetros. En ese sentido, el Titular debe diseñar e instalar una red de pluviómetros que debe ser lo más adecuada posible considerando que en zonas de montaña, su densidad debe ser mayor. La red de pluviómetros debe ser automática, en tiempo real y debe estar operativa durante toda la vida útil del depósito de relaves. Los instrumentos deben cumplir con los parámetros de la Organización Mundial de Meteorología (WMO) y estar calibrados en dependencia del rango de intensidad de la lluvia del sitio en donde serán instalados. Los datos deben guardarse con intervalos de frecuencia menores a una hora, para poder presentar análisis de avenidas en zonas montañosas.

Mediante el análisis estadístico de los datos de las estaciones pluviométricas de la zona con base en los registros históricos de precipitación acumulada diaria se puede obtener la precipitación diaria. Además de la precipitación, se debe definir su distribución temporal.

Requisito 5.1.3 Utilización de las proyecciones de cambio climático

Como parte complementaria del análisis de precipitaciones se debe emplear la guía para la interpretación y uso de los escenarios de cambio climático para el territorio ecuatoriano (<http://suia.ambiente.gob.ec/documentos>), con base en la información generada en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador. En dicho informe se presenta el comportamiento de la precipitación y la temperatura media y los cambios que podrían darse en ella bajo dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 –escenario referencial para el Ecuador– y RCP 8.5 –Escenario pesimista–). También se presentan los niveles de amenaza actual y futura ante las principales amenazas climáticas (sequías, lluvias intensas, altas temperaturas y heladas).

Dichos análisis se realizaron para el periodo histórico 1981-2015 y para el periodo futuro 2016-2040.

Requisito 5.1.4 Modelo de transformación lluvia-escorrentía

Una vez realizado el análisis de precipitaciones, es necesario saber cómo éstas se transforman en caudal circulante (hidrograma) por el río o quebrada. Se debe obtener una función de transformación del hietograma en hidrograma de escorrentía. Se recomienda el uso de modelos conceptuales lluvia escorrentía a largo plazo o por eventos.

Para el cálculo de la Avenida Máxima Probable (PMF) se puede considerar la Precipitación Máxima Probable (PMP) así como su distribución temporal. Para el diseño de las avenidas que pueden afectar el depósito de relaves, el Titular debe considerar el estándar de diseño que haya seleccionado tal como se indica en el Artículo 4 del “Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería”. Como referencia se presenta a continuación los criterios propuestos por la Asociación Canadiense de Presas (CDA)

Tabla 1 - Criterio de diseño según riesgo de inundación (CDA, 2014)

Clasificación de la Presa ⁽¹⁾	Probabilidad de excedencia anual de Inundaciones
Baja	1/100
Significativa	1/100 – 1/1000
Alta	Entre 1/3 de 1/1000 y PMF
Muy alta	Entre 2/3 de 1/1000 y PMF
Extrema	PMF

(1) Clasificación de acuerdo con la Tabla 2

REQUISITO 5.2 ANÁLISIS DE RIESGO HIDROMETEREOLÓGICO

El análisis de riesgo hidrometeorológico debe identificar básicamente tres aspectos: 1) la solicitud hidrometeorológica, 2) la probabilidad de fallo y 3) las consecuencias de un probable fallo o rotura de la presa, muro o dique de contención para los relaves.

Requisito 5.2.1 Solicitud hidrometeorológica

Se considera el periodo de retorno de una máxima avenida entrante al depósito de relaves asumiendo que el nivel de los relaves antes de la llegada de la máxima avenida, para lo cual se puede suponer que en el nivel previo la presa se encuentra en su Nivel Máximo Normal (NMN). También se requiere un estudio de laminación para lo cual se debe considerar operativos los sistemas de desagüe así como los hidrogramas de entrada consideradas en el Requisito 5.1.4.

Requisito 5.2.2 Probabilidad de fallo

Se debe identificar los modos de fallo creíble de las estructuras como por ejemplo el cuerpo de la presa, los sistemas de drenaje, desagüe o de alivio, cada uno de esos modos de falla pueden propagarse y evolucionar hasta provocar la rotura final por sobrevertido o erosión interna de la presa. El estudio de la probabilidad de fallo es posterior a la identificación de los modos de fallo. Para la determinación de la probabilidad de fallo individual, se puede recurrir a técnicas diferentes como: de fiabilidad (Análisis de Monte Carlo), juicio experto o metodologías específicas (correlaciones entre el Factor de Seguridad y la Probabilidad de Fallo).

Requisito 5.2.3 Análisis de consecuencias

El cálculo de los hidrogramas de rotura debe integrarse al análisis de consecuencias. Pueden ser obtenidos a partir de la simulación de una brecha de rotura, para tal efecto se pueden emplear métodos paramétricos integrados en programas informáticos.

La rotura de la presa para relaves puede involucrar consecuencias en pérdidas económicas y de vidas. En la Tabla 2 se presenta un resumen de consecuencias que puede producir la rotura de una presa en función de la condición en la que se produce.

Este análisis debe incorporar también la elaboración de “Curvas de Consecuencias” que relacionen los hidrogramas de rotura con las consecuencias producidas de forma que se puedan evaluar los posibles riesgos. Para la construcción de dichas curvas se deben considerar caudales máximos (m³/seg) de inundación (eje de las abscisas) y costos de las consecuencias (eje de las ordenadas). El número de puntos que contenga dicha curva dependerá de los posibles escenarios que se consideren y que mínimo deben ser en número de cinco (5).

6.- CLASIFICACIÓN PRELIMINAR DE LA PRESA

Con el propósito de conducir el diseño del Depósito de Relaves, el Titular debe recurrir a uno de los estándares señalados en el Artículo 4 del “Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería” a fin de clasificar la presa para relaves según el riesgo de ésta. La clasificación que se realice servirá también para la selección de los parámetros de diseño. Como referencia, se presenta a continuación la clasificación propuesta por la Asociación Canadiense de Presas (CDA, 2014)

Tabla 2 - Clasificación de presas por consecuencias de rotura (CDA, 2014)

Clasificación de la Presa	Población en riesgo	Pérdidas de vida	Valores ambientales y culturales	Infraestructura
Baja	Ninguna	Ninguna	Mínimas pérdidas a corto plazo. Ninguna pérdida a largo plazo	Bajas pérdidas económicas. El área contiene limitada infraestructura o servicios.
Significativa	Solo temporal	No especificado	Pérdida no significativa o deterioro del hábitat silvestre o acuático Solo pérdida marginal del hábitat. Altamente posible la restauración o compensación de especies	Pérdidas en instalaciones recreacionales, lugares de trabajos estacionales y vías de transporte usadas con muy poca frecuencia.
Alta	Permanente	Menor a 10	Pérdida significativa o deterioro importante del hábitat silvestre o acuático. Altamente posible la restauración o compensación de especies.	Pérdidas económicas altas de la infraestructura, transporte público e infraestructura comercial.
Muy alta	Permanente	Menor a 100	Pérdida significativa o deterioro crítico del hábitat silvestre o acuático	Pérdidas económicas muy altas que afectan importantes infraestructuras y servicios (autopistas, infraestructura industrial, infraestructura de almacenamiento de sustancias peligrosas)
Extrema	Permanente	Mayor a 100	Gran pérdida y deterioro crítico del hábitat silvestre o	Extremas pérdidas económicas que afectan

			acuático. Restauración o compensación imposible	infraestructuras y/o servicios críticos (hospitales, grandes complejos industriales, grandes instalaciones de almacenamientos de sustancias peligrosas)
--	--	--	---	---

7.- DISEÑO DE INGENIERÍA DE DETALLE

El Titular debe seleccionar el estándar que utilizará para realizar sus diseños conforme lo señalado en el Artículo 4 del *“Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería”*

REQUISITO 7.1 CRITERIOS DE DISEÑO

A continuación se mencionan algunos criterios de diseño como referencia. El Titular debe detallar los que correspondan conforme sus propios requerimientos con la finalidad de cumplir los objetivos específicos del diseño de la presa para relaves así como los objetivos globales del proyecto durante el tiempo que demore su construcción, operación, mantenimiento y cierre.

Requisito 7.1.1 Criterios de Diseño Geométrico y General

1. Vida útil del depósito de relaves;
2. Capacidad total aproximada (toneladas y metros cúbicos);
3. Método de construcción (aguas abajo o, eje central);
4. Tipo de relave (porcentaje de sólidos y agua);
5. Ancho promedio del coronamiento (aguas abajo o línea central);
6. Altura promedio de la presa;
7. Angulo de inclinación del talud aguas abajo para el crecimiento de aguas abajo o línea central;
8. Borde libre hidráulico y operativo (m);
9. Capacidad de almacenamiento de avenidas o flujos de agua;
10. Especificaciones del sistema de impermeabilización;
11. En caso de que se vayan a emplear materiales provenientes de los relaves se debe indicar qué porcentaje de los mismos serán empleados en la construcción así como la forma en que se depositarán.
12. Niveles operativos de la poza, obtenidos a partir del cálculo del balance de agua.
13. Información adicional que el Titular crea conveniente;

Observaciones:

- 1) Ancho del coronamiento: Depende directamente del uso que se le pretenda dar, ya sea como vialidad o solo para mantenimiento. No obstante de lo anterior el ancho mínimo que se da a las presas en su corona obedece a los siguientes factores:
 - a. Dar mayor volumen a la presa para mejorar su seguridad y estabilidad. En zonas de alta sismicidad, un ancho mayor de coronamiento proveerá una mayor seguridad contra la rotura superior de la presa durante una sacudida por un terremoto de gran magnitud, el cual está directamente relacionado con los periodos de retorno que se use tanto para la etapa operativa como la etapa de cierre.
 - b. Establecer los servicios necesarios sobre la presa, utilizándola como vía de mantenimiento e inspección.
 - c. Facilitar la construcción con los equipos disponibles.
- 2) Altura de la presa: La altura de la presa, muro o dique, se obtendrá con base en el cálculo de la capacidad volumétrica del vaso de la presa, es decir del volumen total disponible para recibir y almacenar los relaves. También dependerá del estudio hidrológico y de climatología

para estimar los flujos grandes o avenidas de agua que pudieran ocasionar daños a la estructura.

- 3) Inclinación de los taludes aguas arriba y aguas abajo: No existe una guía para definir la pendiente de los taludes de forma directa. La inclinación de los mismos estará en función de la altura de la presa, de las propiedades de resistencia de los materiales que constituirán su relleno y de las fuerzas que actúan en los mismos incluyendo la acción sísmica. Lo más usual es pre dimensionar su inclinación, basándose en los datos de taludes de presas similares que hayan sido construidas y comprobar que el Factor de Seguridad mínimo de todos los posibles, sea mayor o igual al que se establece en este anexo (ver Tabla 6 y Tabla 7) para los diferentes estados de carga (estática y dinámica).
- 4) Borde libre hidráulico: Es la distancia vertical, a modo de resguardo en toda etapa de construcción y operación, entre el nivel máximo del embalse de relaves y la corona de la presa. Esta distancia sirve para evitar el rebosamiento del depósito en casos de:
 - a. Oleaje causado por el alcance de un deslizamiento dentro del vaso;
 - b. Oleaje y sobreelevación causado por viento;
 - c. Asentamientos calculados y previstos;
 - d. Asentamiento no previsto de la presa;
 - e. Efecto de sismos y asentamientos luego de un sismo de diseño;
 - f. Incertidumbre hidrológica.

Requisito 7.1.2 Criterios de Diseño Geotécnico

1. Modelo de estabilidad estática (tales como Spencer, Global, entre otros)
2. Código de modelo numérico (tales como elementos finitos, diferencias finitas)
3. Modelo constitutivo;
4. Criterio de falla;
5. Factor de zona;
6. Análisis de peligro sísmico local;
7. Aceleración horizontal máxima;
8. Coeficiente sísmico;
9. Factor de Seguridad (ver Requisito 9.6)
10. Deformaciones permanentes;
11. Otros que el Titular crea conveniente.

Observación:

- 1) La presa debe ser estable y no debe experimentar daños graves, durante una sacudida ni después de ésta, asociados con el sismo de diseño. La presa no debe tener deformaciones excesivas. Las deformaciones por sismos no deben provocar una pérdida significativa de la altura del borde libre a fin de mitigar los riesgos, el rebalse de la presa, o un resquebrajamiento de la presa o de su estructura.

Requisito 7.1.3 Criterios de Diseño Hidrológico e Hidráulico

1. Crecida o avenida de diseño;
2. Área del espejo de agua de la laguna de sedimentación;
3. Profundidad promedio (m) de la laguna de sedimentación;
4. Otros que el Titular crea conveniente.

REQUISITO 7.2 DISEÑOS REQUERIDOS

Se debe presentar como parte del diseño del depósito de relaves, como mínimo:

1. Presa de arranque;
2. Presa, muro o dique como estructura final de retención de relaves;

3. Sistema de descarga;
4. Sistema de recuperación de aguas sobrenadantes (aguas claras);
5. Sistema de tratamiento de aguas sobrenadantes (aguas claras), si es necesario;
6. Sistema de drenaje;
7. Sistema de Impermeabilización del vaso y parte interna del talud aguas arriba de la presa, muros o diques, piscinas, canaletas a construir;
8. Sistemas de control (auscultación) y de instrumentación que transmitan información en tiempo real, con el fin de generar alertas tempranas durante la construcción, operación y mantenimiento, cierre y post cierre del depósito de relaves
9. Sistema de detección de fugas permanente en la presa, muro o dique, piscinas, entre otros;
10. Construcción de muros de pie;
11. Construcción de vertederos de emergencia;
12. Construcción de canales de desvío de aguas lluvias, y;
13. Construcción de canal de contornos.
14. Otros que el Titular crea conveniente;

REQUISITO 7.3 DESCRIPCIÓN E ILUSTRACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE DISEÑO:

1. Tipo de transporte desde el área de beneficio al depósito de relaves, si es tubería, canal u otro;
2. Método de depósito de los relaves;
3. Sistema de descarga de arenas y lodos;
4. Sistemas de drenaje y recolección de las aguas infiltradas en la presa;
5. Sistemas de descarte o recirculación de las aguas decantadas desde la laguna o zona de poza;
6. Sistema de impermeabilización del fondo del vaso y su sistema de captación de las infiltraciones si se requiere y su disposición final;
7. Canales perimetrales para la contención de escorrentías, indicando sus dimensiones;
8. Obras importantes (túneles, canales de gran dimensión, entre otras) para la intercepción y desvío de cursos de aguas naturales existentes en el lugar de emplazamiento.
9. Otros que el Titular crea conveniente;

REQUISITO 7.4 GESTIÓN DE RELAVES

Requisito 7.4.1 Área, volumen y plan de crecimiento del depósito de relaves

A partir de la proyección de datos se deben presentar:

1. Cálculo del volumen de vaso necesario: La capacidad de almacenamiento será estimada en función de la producción de la mina y de las condiciones topográficas. A partir de esta información se estimará la capacidad del vaso para almacenar y el tiempo de almacenamiento en años.
2. Curva de elevación Área del embalse versus Volumen del embalse: Se desarrollará asumiendo la geometría aguas arriba de la presa, la topografía del vaso desde la presa.
3. Curva de elevación Área de la presa versus Volumen de la presa: Se desarrollará asumiendo la geometría de los taludes aguas arriba y aguas abajo, así como también la elevación de la presa, muro o dique desde la base aguas arriba hasta la elevación de la cresta de la presa sin sobrepasarlo.
4. Curva de elevación de la Altura de la presa versus Volumen almacenado de relaves y agua.

Tabla 3 - Crecimiento de la presa, dique o muro de contención a lo largo del periodo de construcción

Etapa	Tiempo de operación (años)	Elevación (msnm)	Área (m2)	Volumen (m3) parcial	Volumen (m3) acumulado
1					
2					
3					
-					
-					
Final					

Tabla 4 - Crecimiento del vaso a lo largo del periodo de operación

Etapa	Tiempo de operación (años)	Elevación (msnm)	Área (m2)	Volumen (m3) parcial relaves	Volumen (m3) acumulado relaves
1					
2					
3					
-					
-					
Final					

Requisito 7.4.2 Disposición de relaves en excavaciones mineras a cielo abierto

Las condicionantes para aplicar este método, estarán determinadas principalmente por las condiciones químicas de los relaves, siempre que se tomen en cuenta los siguientes aspectos:

1. Disposición de relaves en sitios alejados de cuerpos de agua natural y uso de estructuras especiales que eviten su infiltración al suelo y a aguas subterráneas.
2. Uso de materiales impermeables que eviten escapes desde las plataformas y estructuras de tuberías y canales de drenaje, por las cuales circulará el agua de filtración de los relaves.
3. Minimización del drenaje ácido mediante encapsulamiento de los depósitos de relaves en ambientes de poco oxígeno para minimizar la oxidación con materiales que tengan potencial de neutralización, o la adición de álcalis.
4. Para depósitos con alturas mayores a siete (7) m se deben adoptar medidas de estabilidad física, tales como muros de gaviones.

Requisito 7.4.3 Disposición de relaves en labores mineras subterráneas.

De manera general no tiene restricciones, y las condicionantes que pudieran surgir estarán en dependencia de los estudios hidrogeológicos y geomecánicos de la cavidad subterránea. En este sentido se prohíbe el depósito en las excavaciones mineras subterráneas que tengan flujos importantes de agua donde se puedan generar aguas ácidas que constituyan un riesgo ambiental. La estabilidad y seguridad de las labores subterráneas usadas para disposición de los relaves será de exclusiva responsabilidad del Titular.

REQUISITO 7.5 PREPARACIÓN DE LA CIMENTACIÓN

El estudio debe dejar claramente establecido las actividades que requerirá la preparación del lugar para la cimentación de la presa de arranque y presa final, muro o dique. Dichas actividades dependerán de las condiciones geológicas y tendrán como objetivo alcanzar una superficie de apoyo estable y de baja deformabilidad, siguiendo un procedimiento establecido de control de calidad, así como la remoción de árboles, malezas, monte bajo u otra vegetación, raíces largas, capa vegetal superior del suelo y suelos livianos u otros suelos objetables en virtud de que las investigaciones demuestren que no proveen un adecuado soporte para la presa o sus instalaciones complementarias. Asimismo, el diseño debe indicar si es necesaria la instalación de un sistema de drenaje debajo de la presa para controlar las filtraciones.

REQUISITO 7.6 FUENTES POTENCIALES DE MATERIAL DE PRÉSTAMO

Los materiales de préstamo necesarios para ser utilizados tanto en la presa de arranque como en la presa para relaves deben ser ensayados según corresponda al diseño de ingeniería a través de: la clasificación visual, la determinación de los límites de Atterberg, el análisis mecánico de clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, ensayos de compactación, compresión triaxial, consolidación y permeabilidad, sobre especímenes de suelos compactados a varias densidades y con contenidos de humedad variable, la determinación del peso específico, el análisis químico, entre otros. Se harán también los mismos ensayos realizados en los materiales de cimentación y los que el Titular crea conveniente.

REQUISITO 7.7 PORCENTAJES DE LOS MATERIALES DE PRESTAMO EN COMBINACIONES

En caso de ejecutar combinaciones de materiales de préstamo con material proveniente de los relaves podría haber variaciones en función del diseño geotécnico. La granulometría y el porcentaje de los relaves mineros con el cual se construye la presa, influirán notablemente en las relaciones de estabilidad de la presa. El Titular debe definir los porcentajes de composición de los diferentes materiales que usará para la construcción de la presa así como su espesor para compactación mediante la ejecución de los ensayos de campo y laboratorio necesarios que permitan establecer sus características mecánicas y de permeabilidad.

La mayoría de los proyectos mineros producen grandes volúmenes de material estéril que es necesario sacar para llegar a los niveles mineralizados. Ese material, en caso de cumplir con parámetros ambientales y geomecánicos con base en pruebas de laboratorio, puede claramente ser utilizado para la construcción de la presa de arranque así como de la presa final, muro o dique definitivo, así como también para muros de escollera para mejorar la estabilidad física del depósito.

REQUISITO 7.8 ANÁLISIS DE FILTRACIONES DE AGUA E IMPERMEABILIZACIÓN DEL TALUD AGUAS ARRIBA DE LA PRESA, MURO O DIQUE

El propósito de los análisis de infiltración es estimar el nivel freático dentro de la presa o muro de contención de los relaves así como estimar la cantidad de agua de infiltración con la finalidad de diseñar un sistema de recolección de infiltración adecuado. Para los fines de análisis de infiltración, se deben analizar al menos dos fases del proyecto: (1) nivel de relaves en la elevación de cresta de la presa o muro de arranque; y (2) nivel de relave en la cresta de la presa de relaves final.

Los análisis de filtración son necesarios como parte del diseño de la ingeniería de detalle para:

1. Definición de la presión de poro y nivel freático para los análisis de estabilidad física;
2. Determinación de los potenciales impactos que las filtraciones pueden causar en el ambiente circundante;
3. Para el diseño de los sistemas de drenaje y recolección.

En la actualidad se usan modelos computacionales para estimar la cantidad probable de filtración para lo cual será importante contar con datos de entrada para realizar simulaciones de flujo durante fases intermedias de construcción y operación. Estas simulaciones podrán también ser útiles para localizar instrumentación geotécnica a fin de monitorear el comportamiento de la presa o muro de contención.

8.- ANÁLISIS DE BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico es la diferencia entre la cantidad de agua que, por diferentes medios (precipitaciones, escorrentías) llega al depósito de relaves y las pérdidas o egresos de agua (evaporación, resaturación) que se producen. La resultante es el volumen o caudal de agua que queda disponible para el depósito de relaves en un determinado momento. Para el Proyecto de Diseño, el modelo de cálculo debe considerar el periodo de operación con intervalos mensualmente de modelación del balance hídrico, así como el crecimiento del depósito de relaves en función de la proyección de producción esperada y de la variación de la geometría del vaso conforme su llenado. El modelo debe identificar cuantitativamente flujos tales como:

1. Agua que ingresa con el relave;
2. Volumen de precipitación sobre el depósito de relaves;
3. Agua de escorrentía que ingresa al depósito de relaves;
4. Agua retenida en el relave depositado;
5. Agua de infiltración;
6. Pérdida de agua por resaturación de playas secas;
7. Evaporación desde la superficie de las playas activas;
8. Evaporación desde la superficie de la laguna;
9. Otros que el Titular crea conveniente.

Para tal efecto se debe considerar la información hidrológica de precipitación y evaporación requerida en el Requisito 4.5. También se debe identificar el nivel de agua máxima operativa (NAMO) en la poza de agua sobrenadante para cada año o para cada etapa de crecimiento de la presa. Adicionalmente, se debe mostrar una gráfica que muestre el NAMO, nivel del relave máximo, y nivel de corona de la presa en todo el periodo de operación del depósito de relaves.

9.- ANÁLISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA

El objetivo del diseño de una presa o muro de contención de los relaves mineros es asegurar que la estructura sea capaz de soportar las potenciales condiciones de carga que podrían ser esperadas de suceder durante la vida útil.

REQUISITO 9.1 MÉTODOS DE ANÁLISIS

Se debe emplear métodos de análisis de estabilidad basados en métodos de equilibrio límite entre los que resaltan los de Morgenstern & Price (1965), Spencer (1967), Chen & Morgenstern (1983), y Sarma (1973). Complementariamente se deben realizar modelaciones numéricas con base en técnicas de elementos finitos (MEF) o diferencias finitas (MDF) a fin de estimar las deformaciones y presiones de poro.

REQUISITO 9.2 CONDICIONES DE CARGA

Se debe considerar la condición de carga según la condición física o un escenario que requiere ser analizado con diferentes parámetros de resistencia, incluso para el mismo material. Las siguientes condiciones de carga deben ser analizadas:

1. Condiciones drenadas: Representa la estabilidad a largo plazo de una presa o muro de contención de los relaves bajo condiciones de flujo permanente. Sin cambios rápidos en la superficie del nivel freático.

Los escenarios o condiciones físicas que esta condición puede representar son:

- a. Estabilidad estática a largo plazo cuando se realiza la última fase de construcción, considerando la altura final de la presa o muro de contención;
- b. Estabilidad a largo plazo en la condición de post cierre.

Esta condición no se debe aplicar cuando se evalúe la estabilidad:

- a. Durante la construcción, donde la geometría y nivel de presión de poro está cambiando.
- b. En fases de sobre elevación en capas de taludes anteriores;
- c. Estabilidad en condiciones de post sismo cuando el evento es pequeño como para inducir la licuefacción pero suficiente como para inducir condiciones no drenadas.

2. Condiciones no drenadas: La condición de carga no drenada o parcialmente drenada representa la estabilidad de una presa, muro o dique de contención donde la carga y/o falla ocurre lo suficientemente rápido como para que no haya suficiente tiempo para el drenaje del exceso inducido de poro presiones de agua, o donde se desarrollan presiones de poro debido a la naturaleza contractiva de los relaves y/o presa y materiales de cimentación. Cierta drenaje puede ocurrir en el sitio, pero es difícil predecir cómo, en que cantidad y dónde ocurrirá a lo largo de la superficie de corte. Para resguardarse de esta incertidumbre, la práctica habitual es verificar la estabilidad de dichos materiales utilizando la envolvente de resistencia no drenada. Otro asunto a ser considerado en los análisis de resistencia no drenada es la ocurrencia de licuación estática.

REQUISITO 9.3 CARACTERIZACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE

El Titular debe seleccionar adecuadamente los parámetros de la resistencia al corte del material que constituirá el relleno de la presa, dique o muro de contención, considerando que tanto las investigaciones de campo como de laboratorio para caracterizar la misma deben ser compatibles con el análisis asociado y debe tomar en cuenta que la resistencia al corte de los materiales de origen geológico ya sea en condiciones drenadas o no drenadas está en función de los esfuerzos efectivos.

REQUISITO 9.4 CONSIDERACIONES DE CARÁCTER SÍSMICO

La posibilidad de que ocurran terremotos con impacto en la zona de emplazamiento de los depósitos de relaves es uno de los factores clave que debe considerarse con particular atención a la hora de establecer los principios del diseño. Se requiere que el depósito de relaves sea diseñado para resistir los efectos de posibles terremotos que pudieran ocurrir en su emplazamiento, de modo que sus sistemas y componentes importantes para la seguridad puedan seguir realizando sus funciones incluso en caso de ocurrencia de dichos fenómenos.

El Sismo Máximo Creíble (MCE por sus siglas en inglés) se considera como el sismo máximo que razonablemente se puede esperar con base en la información geológica y sísmológica.

El Titular debe en función del estándar que haya seleccionado conforme al Artículo 4 del *"Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería"*, determinar el criterio de diseño sísmico. Como referencia se presenta en la tabla siguiente los criterios propuestos por la Asociación Canadiense de Presas (CDA)

Tabla 5 – Criterio de diseño sísmico (CDA, 2014)

Clasificación de la Presa ⁽¹⁾	Probabilidad de excedencia anual sísmico ⁽²⁾
Baja	1/100
Significativa	1/100 – 1/1000
Alta	1/2475
Muy alta	½ de 1/2475 – 1/10000 ó MCE
Extrema	1/10000 ó MCE

(1) Clasificación de acuerdo con la Tabla 2

(2) Se requiere de un juicio experto de ingeniería para seleccionar un periodo de retorno adecuado considerando las condiciones sísmológicas del lugar de estudio.

REQUISITO 9.5 DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES SÍSMICOS

Para los análisis de estabilidad física, la determinación del coeficiente sísmico debe ajustarse a las características sísmicas del área y debe ser adoptado en forma criteriosa. La aceleración máxima de campo libre (PGA) debe obtenerse de un estudio de peligro sísmico según el Requisito 4.7.1. Como referencia puede consultarse la zonificación sísmica según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) en su versión más actualizada.

La magnitud del coeficiente sísmico debe simular la naturaleza del evento que depende de la intensidad o aceleración del sismo, duración del movimiento y frecuencia.

REQUISITO 9.6 FACTOR DE SEGURIDAD Y DEFORMACIONES PERMANENTES ADMISIBLES

El Titular minero debe calcular el Factor de Seguridad de la presa, dique o muro de contención de acuerdo con los criterios del estándar de diseño que haya seleccionado según el Artículo 4 del “Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería”. Como referencia de los Factores de Seguridad se presentan en la Tabla 6 y Tabla 7 los criterios propuestos por la Asociación Canadiense de Presas (CDA).

Para el caso del cálculo de las deformaciones permanentes, el Titular debe realizar los análisis observando que el rango de deformaciones aceptables es una condición que merece ser establecida sobre la base de que el desempeño de la estructura no se vea afectado luego de ocurridas las mismas y los riesgos asociados.

Tabla 6 - Factores de Seguridad durante la construcción, operación o fases de transición – Condición estática (CDA, 2014)

Condición de carga	Factor de Seguridad mínimo
Durante o al final de la construcción	Mayor a uno coma tres (1,3), dependiendo de la evaluación del riesgo durante la construcción
Largo plazo (flujo parmente)	Uno coma cinco (1,5)

Tabla 7 - Factor de Seguridad durante la construcción, operación o fases de transición – Condición sísmica (CDA, 2014)

Condición de carga	Factor de Seguridad mínimo
Pseudo estática	Uno (1,0)
Post sismo	Uno coma dos (1,2)

REQUISITO 9.7 REVISIÓN DEL DISEÑO POR TERCEROS

El Titular debe presentar una certificación de revisión técnica del análisis de la estabilidad física emitida por un tercero, el cual puede ser un profesional experto o equipo consultor independiente, que no haya participado en las fases de diseño y que certifique que el diseño revisado cumple con los requisitos solicitados en esta guía técnica para garantizar la estabilidad física del depósito de relaves.

10.- ANÁLISIS Y GESTIÓN DE RIESGOS

El propósito de esta sección es requerir al Titular un análisis de riesgos que puedan poner en una condición sub estándar la estabilidad física del depósito de relaves a fin de que estos sean conocidos y analizados antes de la construcción del mismo.

REQUISITO 10.1 ANÁLISIS DE RIESGOS

Requisito 10.1.1 Riegos geológicos

Se deben realizar el o los análisis de estabilidad de taludes por métodos de equilibrio límite o numéricos y cálculos volumétricos que permitan predecir los escenarios de riesgo para las distintas situaciones en que puede producirse la desestabilización de las laderas situadas en el límite del vaso del depósito y de la presa para relaves. La metodología utilizada para la realización de este requisito debe complementarse con un análisis geológico-geomorfológico de la zona de la presa, muro o dique de contención, centrado en los aspectos referentes a la posible inestabilidad de las laderas, contando para ello con un estudio topográfico a detalle.

Requisito 10.1.2 Licuación estática

La licuefacción de los materiales granulares constituye uno de los mecanismos de falla más importantes de las presas para relaves. Cuando dichos materiales granulares usualmente empleados en la construcción de presas para relaves se depositan bajo una combinación de condiciones que envuelven elevadas velocidades de construcción, saturación y densidades relativas bajas del material de relleno, éste se consolida sin suficiente tiempo para que el agua drene, por lo que la presión de poro hace que el material pierda su resistencia al corte pasando a un estado suelto.

Requisito 10.1.3 Licuación dinámica

Este proceso ocurre generalmente durante el desarrollo de terremotos, sobre todo en los relaves con un alto contenido de agua y material granular no cohesivo. Asimismo, el suelo por debajo de la cimentación también puede ser sujeto de sufrir licuefacción. Para tal efecto, el Titular debe realizar tanto análisis preliminares aplicando criterios geológico - morfológicos (la susceptibilidad de los depósitos geológicos antiguos es menor que en depósitos recientes, presencia de abanicos, depósitos fluviales y coluviales, entre otros) así como métodos semiempíricos que correlacionan los ensayos tipo SPT, CPT a la resistencia del suelo a la licuefacción, definida como la Razón de Resistencia Cíclica (CRR, por sus siglas en inglés) la cual debe ser comparada con la Razón de Esfuerzo Cíclico sísmicamente inducido (CSR) a fin de determinar si un proceso de licuefacción podría ocurrir.

Requisito 10.1.4 Rebalse (Overtopping)

Este fenómeno se presenta cuando el volumen de relaves embalsados excede la capacidad del depósito o si la poza de aguas sobrenadantes no es manejada de manera adecuada y se encuentra muy próxima a la parte superior de la presa o muro de contención, excediendo el borde libre.

El aumento progresivo del nivel de la poza de aguas sobrenadantes podría ser el resultado de un evento extraordinario de precipitaciones intensas, de un inadecuado diseño de las obras necesarias para evacuar las aguas provenientes de la escorrentía superficial. En menor medida, el nivel de la poza de aguas sobrenadantes también puede sobrepasar el borde libre en forma de olas generadas por vientos, sismos o deslizamientos de laderas al interior del vaso.

Requisito 10.1.5 Erosión interna

En depósitos de relaves, el fenómeno de erosión interna (piping o tubificación) se genera por un arrastre progresivo de las partículas más finas que conforman el material empleado para la construcción de la presa o muro de contención o aquel que constituye el suelo de cimentación del depósito. Dicha migración, da lugar a la formación de un conducto que permite la circulación de agua y/o relave. La cavidad resultante favorece el progreso de la erosión, la cual puede generar una falla local o global del depósito o de su suelo de cimentación. Para prevenir la erosión interna, el diseño debe enfocarse en generar gradaciones apropiadas entre los materiales que satisfagan los criterios de filtro, controlar la disminución de los gradientes hidráulicos, definir el tamaño de la playa y la posición del nivel freático.

Requisito 10.1.6 Falla del suelo de cimentación

Las fallas del suelo de cimentación, la mayoría de las veces se generan debido a una falta de información o malinterpretación de antecedentes del sector de emplazamiento del depósito de relaves (geología, hidrogeología y geotecnia, entre otros). El estudio debe analizar si existe intercalación de estratos débiles o blandos, situada a una reducida profundidad bajo la estructura, se podrían generar movimientos a lo largo de un plano de falla si el peso del depósito produce esfuerzos que superen la resistencia al corte de los suelos que conforman el estrato débil.

REQUISITO 10.2 GESTIÓN DE RIESGOS

El Titular debe describir como llevará a cabo la gestión de riesgos, la cual está relacionada con la identificación, desarrollo e implementación de controles críticos que deben implementarse de modo eficaz a fin de evitar que ocurra un evento de alta consecuencia o para mitigar las consecuencias relacionadas a este. La identificación y evaluación de riesgos y peligros potenciales, se debe realizar empleando alguna de las metodologías conocidas para ese fin, tales como Análisis de Modos de Fallos y Efectos (FMEA), Diagrama de Barreras (BowTie), Árboles de Sucesos, entre otros. También es recomendable que se siga los criterios técnicos definidos en los estándares de gestión de depósitos de relaves referidos en el Artículo 4 del *“Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería”*.

11.- DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA DE INUNDACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN**REQUISITO 11.1 DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA DE INUNDACIÓN**

Para definir la estimación de las consecuencias por una probable rotura de la presa se debe definir a través de modelaciones o cálculos hidráulicos la distancia de inundación y delimitación de la zona de inundación. También se deben estimar el tiempo de llegada y la velocidad máxima de la onda de inundación, el nivel máximo de inundación así como el tiempo en alcanzar dicho nivel.

REQUISITO 11.2 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN

Se debe contar con una adecuada caracterización del modelo digital del terreno que podría sufrir la inundación, generar adecuadamente los perfiles transversales y longitudinales de los posibles cauces de desfogue. La información obtenida debe servir para generar diferentes tipos de mapas de inundación según sea el escenario considerado.

Se prohíbe el diseño y construcción de depósitos de relaves en los casos que se identifique una zona poblada ubicada aguas abajo del mismo que pudiera ser afectada por la onda de inundación, la cual queda limitada por la mayor de las dos distancias:

1. A diez (10) kilómetros de distancia aguas abajo del pie de la presa a lo largo del curso del valle, o;
2. La porción de territorio que sea alcanzada por la onda de inundación en un plazo de 30 minutos

12.- PLAN DE EMERGENCIA

El Titular debe establecer la organización de los recursos humanos y materiales necesarios para el control de los factores de riesgo que pueden comprometer la seguridad y estabilidad física del depósito de relaves y para facilitar la puesta en práctica de los recursos que han de intervenir para la protección de la salud y vida de los trabajadores mineros y de las comunidades ubicadas en el perímetro del área. El Plan de Emergencia debe estar dividido en dos partes:

1. Plan de Preparación para Emergencia
2. Plan de Respuesta ante Emergencias.

REQUISITO 12.1 PLAN DE PREPARACIÓN PARA EMERGENCIA

El Titular minero puede desarrollar el Plan de Preparación Para Emergencia para el depósito de relaves con base en uno de los estándares citados en el Artículo 4 del *“Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería”*, no obstante de aquello debe incluir:

1. La identificación y evaluación de riesgos y peligros potenciales conforme lo señalado en el Requisito 10.2
2. El cálculo de la Distancia y Zona de Inundación en los términos señalados en la Sección 11 de este anexo, el cuál será realizado según varios escenarios de rotura de la presa, muro o dique para relaves. A partir de esas estimaciones se presentarán mapas de inundación. Cada escenario estará representado por una zona y ésta a un color en el mapa de inundación. Los mapas de inundación deben indicar caudales y tiempos de llegada a zonas e infraestructura de interés social y económico.
3. Flujogramas de notificaciones que demuestren como las situaciones de emergencia serán comunicadas por parte del Titular. En el flujograma se encontrarán los contactos de entidades de auxilio para la prestación de ayuda técnica y humana para prevención y atención de emergencias. Una vez que el Plan se actualice, la lista de los contactos de emergencia debe contener los nombres y apellidos, cargos, correos electrónicos y teléfonos de contacto.

REQUISITO 12.2 PLAN DE RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS.

Al igual que en el caso anterior, el Titular puede desarrollar el Plan de Respuesta Ante Emergencias para el depósito de relaves, con base en uno de los estándares citados en el Artículo 4 del *“Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería”*, no obstante de aquello se debe incluir en esta etapa del proceso los lineamientos generales, los cuales deberán ser actualizados y mejorados conforme avancen las etapas de construcción, operación y mantenimiento. Para el desarrollo de este plan se debe tomar en cuenta:

1. Preparación;
2. Evaluación;
3. Monitoreo;
4. Respuesta;
5. Recuperación.

13.- SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y MONITOREO

El Proyecto de Diseño presentado por el Titular debe considerar sistemas de auscultación y monitoreo de la instrumentación, que transmitan información en tiempo real, con el fin de generar alertas tempranas durante la construcción, operación y mantenimiento, cierre y postcierre del depósito de relaves.

REQUISITO 13.1 SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL

Como parte del diseño del sistema de control (auscultación) es necesario especificar la ubicación, así como los equipos e instrumentación que transmitan información en tiempo real, con el fin de generar alertas tempranas y generar mapas de riesgos. El sistema de monitoreo en tiempo real del depósito de relaves, debe demostrar una relación directa con los riesgos o circunstancias específicas del sitio.

Los instrumentos, sistemas de adquisición de datos, sistemas de telemetría y alerta, a ser instalados deben provenir de fabricantes reconocidos a nivel mundial con experiencia en este tipo de componentes mineros.

REQUISITO 13.2 MONITOREO GEODESICO

Consistirá en diseñar redes de estaciones monumentadas/hitos de medición (puntos de observación) para detectar y medir deformaciones de la infraestructura del proyecto. El monitoreo se realizará con base en métodos geodésicos convencionales y por métodos satelitales, tales como sistemas de radar, escaneo de taludes, equipos gps ó xps, entre otros.

REQUISITO 13.3 MONITOREO GEOTÉCNICO

El diseño tendrá como objetivo básico medir la respuesta del terreno frente a determinadas variaciones que puedan ocurrir en las condiciones de su entorno, las cuales pueden ser debidos a la ejecución de obras de ingeniería o a fenómenos naturales. El Titular debe seguir estándares (tales como ISO 18674 o similares) para la auscultación geotécnica mediante instrumentación de campo. Los parámetros a monitorear serán:

1. Movimientos horizontales: En las presas para relaves, estos movimientos tienden a generarse por los procesos de consolidación y acomodación debido al peso propio, así como también al empuje hidrostático que puede ejercer el embalse de relaves y a procesos de desestabilización de los taludes externos que conforman la presa, dique o muro de contención. El análisis de movimientos horizontales internos puede ser analizado principalmente mediante inclinómetros (fijos y portátiles).
2. Movimientos verticales: Se deben principalmente a los procesos de compactación debido al peso propio, erosión interna y asentamientos a nivel de la cimentación. La medición de movimientos verticales internos se realiza frecuentemente a partir de extensómetros o placas de asentamiento.
3. Presión de agua: El conocimiento del nivel de la superficie freática es de suma importancia en la determinación de la estabilidad física del depósito de relaves. El instrumento básico para la medición de la presión de agua o nivel de la superficie freática es el piezómetro, de manera particular se recomienda el de cuerda vibrante por la rapidez con la que proporciona la información y con un sistema de captura de datos dinámico que mida la señal de frecuencia, principalmente bajo condiciones de carga dinámica (sismos) que provoca un aumento súbito de la presión de poro al interior del depósito de relaves.
4. Carga sísmica: Para registrar las sacudidas fuertes del terreno bajo condiciones de carga sísmica se debe recurrir a la instalación de acelerógrafos. Estos dispositivos proporcionan una señal eléctrica según la variación física que miden, en este caso la variación física es la aceleración o la vibración. Para grandes presas, se recomienda considerar al menos uno (1) en coronamiento, uno (1) en roca basal y uno (1) en suelos de fundación.

REQUISITO 13.4 MONITOREO HIDROMETEREOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

Se debe realizar el diseño del registro de los parámetros que determinen el comportamiento hidrometeorológico tales como: precipitaciones, temperatura, humedad, caudales de ríos o quebradas, niveles de agua (limnómetros y limnógrafos), caudales de todos los flujos que entran y salen diariamente del depósito de relaves, entre otros, y conforme los requerimientos del diseño.

También se debe incluir instrumentación para infiltración y calidad de agua, los que deben ubicarse aguas abajo, para determinar procesos de infiltración y/o geotécnicos.

REQUISITO 13.5 LOCALIZACIÓN Y NÚMERO DE INSTRUMENTOS

Se requiere de un mínimo número de instrumentos para llevar a cabo los procesos de instrumentación. El diseño debe prever la ubicación y número de instrumentos de acuerdo con los modos de rotura que podrían ocurrir al interior del depósito de relaves. La ubicación de la instrumentación está en función de las características geológicas y de la disposición de la infraestructura a ser monitoreada. Se debe tomar en cuenta que ubicaciones próximas entre instrumentos puede ayudar a interpretar registros anómalos que alguno de ellos puede arrojar. La instrumentación dañada o mal instalada implica una pérdida económica para el proyecto y conduce a la obtención de datos erróneos o engañosos que generan una mala interpretación del comportamiento, y a situaciones que implican riesgo para la integridad de la estructura en estudio.

REQUISITO 13.6 RECOLECCIÓN DE DATOS

El sistema debe realizar mediciones en tiempo real, es decir, se deben obtener mediciones continuas y almacenadas en equipos que garanticen la seguridad y acceso a la información. El tipo de sistema de adquisición de datos debe ser automático con el propósito de realizar un monitoreo continuo en tiempo real y se debe transmitir en un formato compatible con el sistema de datos de la Entidad Adscrita que pueda designar el Ministerio Sectorial para tal efecto. También se debe tomar en cuenta la periodicidad con la que cada fase de obra demande, así se debe realizar los correspondientes reportes de seguimiento, en los que se analizará los resultados obtenidos, contrastándolos con los umbrales, y se propondrán actuaciones y medidas de ser necesario.

REQUISITO 13.7 NIVELES Y UMBRALES DE MONITOREO

Como parte del estudio de la Ingeniería de Detalle, el Titular debe presentar mediante tablas los parámetros a ser monitoreados, los valores esperados y los niveles y valores umbrales de alarma cuyo valor representará un porcentaje de variación con respecto al valor esperado para cada parámetro e instrumento que integra el sistema de auscultación.

14.- SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA

Todos las mediciones o sistemas de monitoreo indicados en esta guía se deben realizar obtener mediciones continuas y almacenadas en equipos que garanticen la seguridad y acceso a la información y se debe transmitir en un formato compatible con el sistema de datos de la Entidad Adscrita que pueda designar el Ministerio Sectorial para tal efecto.

El Titular, o sus consultores o contratistas que sean seleccionados para la instrumentación deben seguir normas establecidas para el efecto y vigentes al momento de su implementación, presentar experiencia demostrada en el ramo y una infraestructura local para atender los requerimientos de mantenimiento y seguimiento, dado que se trata de sistemas de alerta que deberán mantenerse a lo largo de la vida del depósito de relaves.

En lo referente a los niveles de alerta, se recomienda la aplicación de un sistema de Monitoreo y Plan de Acciones de Respuesta ante Activación (Trigger Action Response Plan, TARP, por sus siglas en inglés) con típicamente cuatro (4) niveles de alerta bien definidos y acciones a tomar en cada caso, con responsables y medidas por cada uno.

15.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

El Titular a través de su área de ingeniería o de diseño debe desarrollar las Especificaciones Técnicas, las cuales deben constituirse en el conjunto de disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones que se estipulan para la correcta ejecución del proyecto propuesto. El propósito de las Especificaciones Técnicas es el de puntualizar las obras a realizarse en cada uno de los rubros de trabajo que forman parte del mismo.

REQUISITO 15.1 NORMAS TÉCNICAS

Se establecerán las normas técnicas nacionales e internacionales con que se debe ejecutar cada uno de esos rubros de trabajo y todas las normas que permitan asegurar la consecución de resultados idóneos. Las notas y observaciones que se coloquen en los Planos de la Ingeniería de Detalle también deben hacer referencia a las normas técnicas.

Cuando en las Especificaciones Técnicas Particulares, no se establezca específicamente una norma técnica determinada para el diseño, fabricación, pruebas de los materiales, equipos y sistemas, la empresa minera o su Contratista deben adoptar normas técnicas que correspondan a entidades reconocidas internacionalmente, tales como:

Tabla 8 – Normativas y estándares nacionales e internacionales

ACI	Instituto Americano del Concreto
ANCOLD	Comité Nacional Australiano de Grandes Presas
AASHTO	Asociación Americana de Autoridades de Vialidad y Transporte
ASTM	Sociedad Americana para Ensayo de Materiales
ASME	Asociación Americana de Ingeniería Mecánica
AWWA	Asociación Americana para control de calidad del agua
CDA	Asociación Canadiense de Presas
ICOLD	Comisión Internacional de Grandes Presas
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	Organización Internacional de Normalización
MOP-001-F-2002	Especificaciones Generales del MTOP
NEC	Norma Ecuatoriana de Construcción
WMO	Organización Meteorológica Mundial
USBR	United States Bureau of Reclamation

Cuando el Titular proponga el uso de otras normas y códigos no indicados por instituciones u organismos internacionales, tendrá que presentar información completa sobre tales normas o códigos y demostrar previamente, que satisfacen los mismos requisitos que establecen las normas o códigos internacionalmente reconocidos. En este sentido, el Titular debe entregar en idioma español un documento en el cual se muestren las diferencias que puedan existir entre dichas normas y códigos.

REQUISITO 15.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES

Se debe referir a la descripción general de los trabajos que deben ser ejecutados y a las condiciones generales relacionadas con el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los trabajos en general.

Para la construcción del depósito de relaves, las Especificaciones Técnicas Generales no deben oponerse a las Especificaciones Técnicas Particulares. En caso de discrepancias, prevalecerán las disposiciones de las especificaciones particulares sobre las generales. El propósito de las Especificaciones Técnicas Generales será indicar al equipo o empresa encargada de la construcción, los aspectos constructivos, legales, ambientales, de seguridad y responsabilidades que debe ejecutar antes, durante y al término de la construcción.

REQUISITO 15.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARTICULARES

Las Especificaciones Técnicas Particulares complementan y detallan las Especificaciones Técnicas Generales con base en un conjunto de instrucciones para el desarrollo de las obras a que se refiere el proyecto de depósito de relaves y contiene las características técnicas normalizadas y deben cubrir como mínimo los siguientes aspectos:

1. Alcance;
2. Materiales, herramientas y equipo;
3. Método constructivo;
4. Medición o cubicación.

16.- PLANOS DE DISEÑO**REQUISITO 16.1 FORMATO E IDIOMA**

El Titular debe presentar los planos en idioma español, a escala adecuada y legible en formato A3, excepcionalmente se podrá presentar en formato A0.

REQUISITO 16.2 SISTEMA DE COORDENADAS

Se emplearán tanto el sistema PSAD 56 como el sistema WGS 84

REQUISITO 16.3 PLANOS DE REFERENCIA

En los planos que corresponda se debe colocar el respectivo código y descripción de los planos de referencia que vinculan al plano en mención.

REQUISITO 16.4 VERSIÓN DE PLANOS

Se debe colocar la versión del plano según la etapa de su elaboración y la fecha de su emisión. Siendo, Revisión A (Emisión para revisión interna), Revisión B (Emisión para revisión externa) y Revisión 0 (Emitido Para Construcción).

REQUISITO 16.5 FIRMA DE APROBACIÓN

Todos los planos de diseño deben contener en la información de la tarjeta las diferentes firmas de responsabilidad de proyectistas, dibujantes, revisores y de la aprobación por parte del Ingeniero de Registro en representación del Titular.

REQUISITO 16.6 INFORMACIÓN DE LA TARJETA

La información que debe constar en la tarjeta debe ser como mínimo la siguiente: nombre del proyecto, logos y nombre de la empresa y concesión minera, código catastral, nombre del consultor o diseñador si corresponde, título y subtítulo del plano, código del plano según la especialidad, número de plano con respecto al total de planos del asunto de diseño, nombre del archivo digital que debe coincidir con el código del plano y su versión.

REQUISITO 16.7 CAMBIOS Y PLANOS AS BUILT

El Titular debe indicar la metodología para la realización de cualquier modificación requerida para ajustarse a las condiciones encontradas en campo en concordancia con el Título IV del *"Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería"*. También debe indicar la metodología de cómo se realizarán los cambios hasta obtener los planos as built (como construidos) así como el encargado de su realización, ya sea la empresa contratista encargada de la construcción del depósito de relaves, una empresa consultora o el Titular a través de su personal técnico.

17.- PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD

El objetivo de este plan será asegurar que materiales y técnicas apropiados de construcción sean seguidos por el Titular o por sus contratistas y que el propósito del diseño sea alcanzado. Este

plan también proveerá los medios para solucionar problemas que podrían ocurrir durante la construcción a través de la elaboración de procedimientos de construcción y formatos de registro de control de la calidad, que en conjunto conformarán un dossier de calidad.

18.- MANUALES DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

REQUISITO 18.1 MANUAL DE CONSTRUCCIÓN

El Manual de Construcción debe establecer los requerimientos necesarios para la construcción del depósito de relaves, definir las responsabilidades, metodologías de construcción a fin de garantizar la construcción esperada durante y después de la ejecución de la obra. El manual de construcción debe estar más asociado a la gestión de calidad durante la construcción donde los planos as built (como construido) y el dossier de calidad son documentos necesarios para la elaboración del manual de operación.

REQUISITO 18.2 MANUAL DE OPERACIÓN

El objetivo de este requisito es obtener una descripción del proyecto y un documento de referencia para la operación del depósito de relaves, el cual será usado por el personal responsable de la operación por parte del Titular. Cuando este manual sea actualizado por el Titular deberá brindar una información integral y completa de las acciones y procedimientos operacionales. Este manual debe ser implementando por el Titular de acuerdo con sus requerimientos operacionales y según el estándar seleccionado de acuerdo con Artículo 4 del *"Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería"*, de manera particular se recomienda la revisión de la Guía de *"Desarrollo de un manual de operación, mantenimiento y monitoreo para el manejo de depósitos de relaves"*, de la Asociación Canadiense de Minería (MAC). No obstante de lo anterior, el Manual de Operación, debe ser desarrollado tomando como referencia la evaluación de riesgos y controles críticos identificados.

REQUISITO 18.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO

El programa de mantenimiento para un depósito de relaves mineros conlleva la identificación y descripción de sus instalaciones críticas, los procesos de mantenimiento pueden ser de rutina, de mantenimiento predictivo y mantenimiento motivado por incidentes y observaciones de operación y vigilancia para todos los componentes civiles, mecánicos, eléctricos y de componentes de instrumentación de una instalación. Este manual debe ser implementando por el Titular de acuerdo con sus requerimientos y según el estándar seleccionado de acuerdo con Artículo 4 del *"Instructivo Para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves Para la Mediana y Gran Minería"*.

19.- CRONOGRAMA VALORADO DE ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN

Para cada una de las etapas del proyecto, el Titular debe presentar los estimados de costos de construcción de las principales actividades involucradas con un diagrama de barras de gant a lo largo del tiempo, el cual representará la inversión durante el periodo de construcción.

Para tal efecto se deben estimar los volúmenes de obra de los rubros que comprenden cada actividad y de acuerdo con los precios unitarios correspondientes se obtendrán los subtotales parciales.

Tabla 9 – Tabla de cronograma valorado

Actividad generales	Etapas 1 USD	Etapas (n+1) USD	Etapas final USD
Actividad 1			
.			
Actividad (n)			



TOTAL			
-------	--	--	--

20.- OTROS

Es importante aclarar que esta Guía no es limitante por lo que el Titular puede incrementar los temas técnicos que considere necesario.