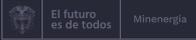




PRESAS DE RELAVE



La NUEVA ENERGÍA

Propuesta de Lineamientos Técnicos de Política de Buenas Prácticas para



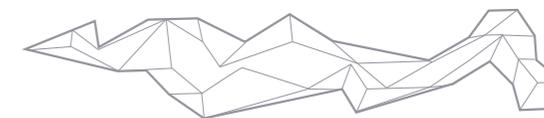
# Estandarizar los procesos relacionados con PRESAS DE RELAVE



**ATG** ASESORÍAS TÉCNICAS  
GEOLÓGICAS  
ATG LTDA.



Propuesta de **Lineamientos Técnicos**  
de **Política de Buenas Prácticas** para



# Estandarizar los procesos relacionados con **PRESAS DE RELAVES**

Contrato de Consulta **GGC-468-2020**

Ministerio de Minas y Energía  
Dirección de Minería Empresarial  
Asesorías Técnicas Geológicas ATG Ltda.

@ Propuesta de Lineamientos Técnicos de Política de Buenas Prácticas  
para Estandarizar los procesos relacionados con Presas de Relaves

## Elaboración

Equipo Técnico //

**Mauricio Alfonso R.** Gerencia del Proyecto  
**Olga López M.** Dirección del Proyecto  
**Paola Martínez A.** Ingeniería Ambiental  
**Ruber Teherán G.** Ingeniería de Minas  
**Nubia Barragán G.** Geotecnia  
**Rafael Meneses R.** Control y Aseguramiento  
de Calidad

**Oscar Herrán T.** Ingeniería Ambiental  
**Jorge Bonilla L.** Ingeniería Ambiental  
**Natalia Velandia P.** Profesional Transversal

Equipo Diseño Editorial e Ilustración //

**Daniel Jiménez** Dirección de Arte  
**Hansel Martínez** Diseño & Diagramación

Marzo de 2021

120 páginas : ilustraciones ; 21 x 18 cm

Contacto:  
[menenergia@minenergia.gov.co](mailto:menenergia@minenergia.gov.co)

© Prohibida la reproducción parcial en cualquier medio,  
sin permiso escrito de los titulares del copyright.



La **NUEVA**  
**ENERGÍA**

**ATG** ASESORÍAS TÉCNICAS  
GEOLÓGICAS  
ATG LTDA.

# CONTENIDO

01



## Presentación

Página 06

02



## ¿Qué es un Relave Minero (colas)?

Página 08

03



## ¿Qué es una Presa de Relaves (colas)?

Página 12

04



## Líneas Estratégicas

Página 18

05



## Metodología

Página 24

06



## Lineamientos

Página 26

07



## Conclusiones

Página 116

08



## Bibliografía

Página 118





# 01

## Presentación

### Un documento didáctico

Contrato de Consultoría  
GGC-468-2020



Minenergía



### Presentación: Cartilla de Lineamientos

La Dirección Empresarial del Ministerio de Minas y Energía en el marco del Contrato de Consultoría GGC-468-2020 celebrado con ATG Ltda., presenta la cartilla con los Lineamientos Técnicos de Política de Buenas Prácticas para Estandarizar los Procesos de la Actividad Minera relacionados con Presas de Relaves (colas), con el fin de establecer orientaciones y directrices para el manejo técnico y responsable de estas instalaciones o estructuras a lo largo de su ciclo de vida.

Para la construcción y elaboración de los lineamientos presentados en la cartilla se realizó la recopilación, revisión, análisis e interpretación de información nacional e internacional relacionada a mejores prácticas, técnicas disponibles y disposiciones relevantes en el manejo y gestión

de los relaves mineros. Información obtenida a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica e interacción con empresas mineras, actores institucionales, académicos y organizaciones en reuniones, mesas de trabajo y eventos de socialización desarrollados en el marco del proyecto.

En este documento se abordan conceptos e información básica respecto a la gestión y manejo de los relaves (colas) mineros, permitiendo contextualizar al lector sobre los lineamientos técnicos formulados para los procesos relacionados con presas de relaves (colas).

¿Dónde nace la necesidad de contar con Lineamientos Técnicos de Política de Buenas Prácticas relacionados con Presas de Relaves (colas)? El Plan Nacional de Desarrollo 2018 –

2022 “Pacto por Colombia, pacto por la equidad” y el Plan Estratégico Sectorial Minero elaborados por el gobierno nacional definen la hoja de ruta respecto a las políticas y enfoque del sector minero para los próximos años, donde se plantea mejorar la competitividad del sector y establecen la necesidad de normalizar procesos de la actividad minera teniendo en cuenta las características propias del territorio colombiano, adoptando una plataforma común de conceptos, criterios y prácticas, logrando la articulación entre los diferentes órganos de administración pública y el sector privado. Por lo anterior, se presenta la construcción de los lineamientos técnicos de política de buenas prácticas de los procesos relacionados con Presas de Relaves (colas).



Imagen tomada de: horizonteminero.com

*“En este documento se abordan conceptos e información básica respecto a la **gestión y manejo de los relaves (colas) mineros**, permitiendo contextualizar al lector sobre los lineamientos técnicos formulados para los procesos relacionados con presas de relaves (colas).”*



# 02

## ¿Qué es un Relave Minero (colas)?



### Relaves Mineros

Los relaves (colas) mineros se definen como un desecho de los procesos de beneficio y transformación del mineral compuesto por una fase sólida, líquida y gaseosa, (Figura 1); que dependiendo de sus características físicas y químicas debe someterse a diferentes tratamientos para su transporte y posterior disposición en presas, depósitos, o en otros países se usan como sub-productos a través de alternativas de economía circular en retrolenado de labores subterráneas, producción de postes, bloques, cemento, etc., (Figura 2).

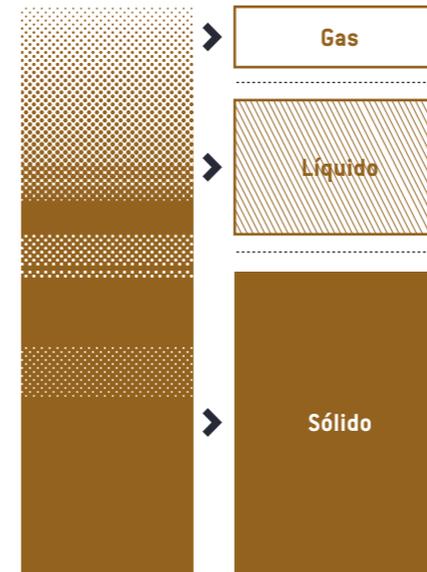


Figura 1

Fracciones de un relave (cola) minero. Fuente: Adaptado por ATG Ltda., Tomado de Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 2006.

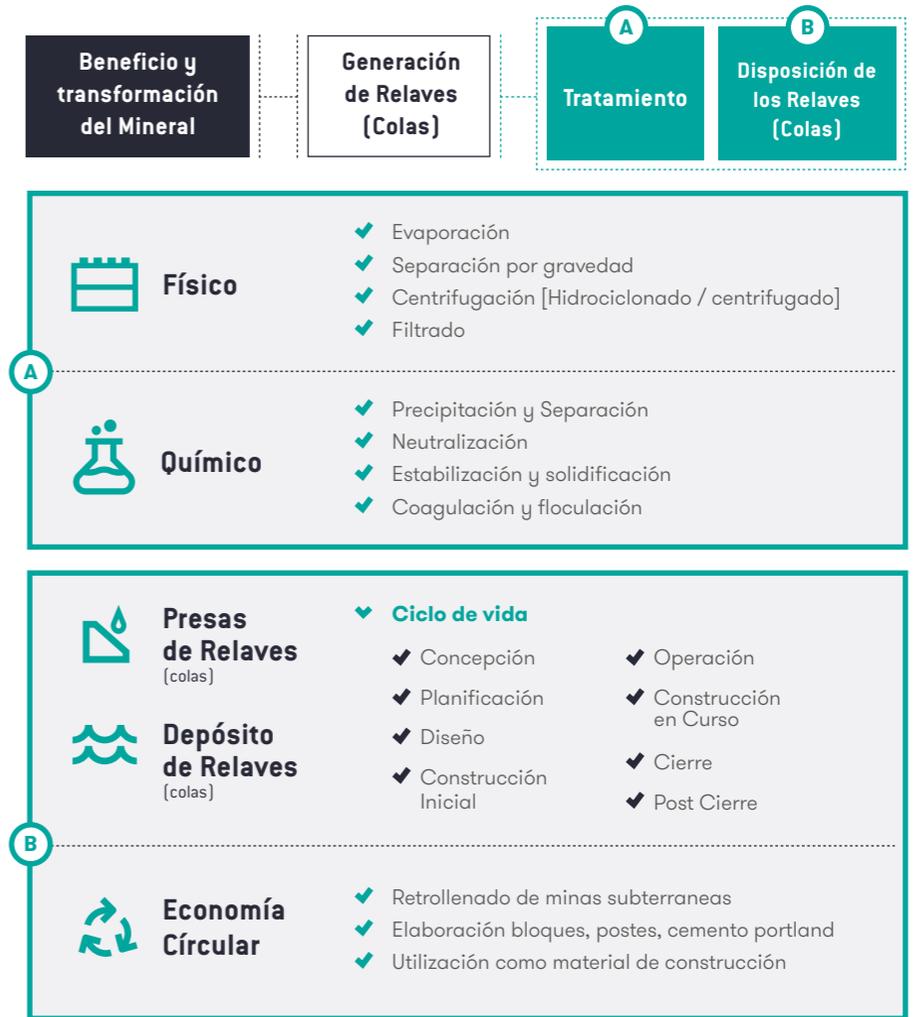


Figura 2

Generación, tratamiento y disposición de los relaves (colas) Fuente: ATG Ltda. 2020

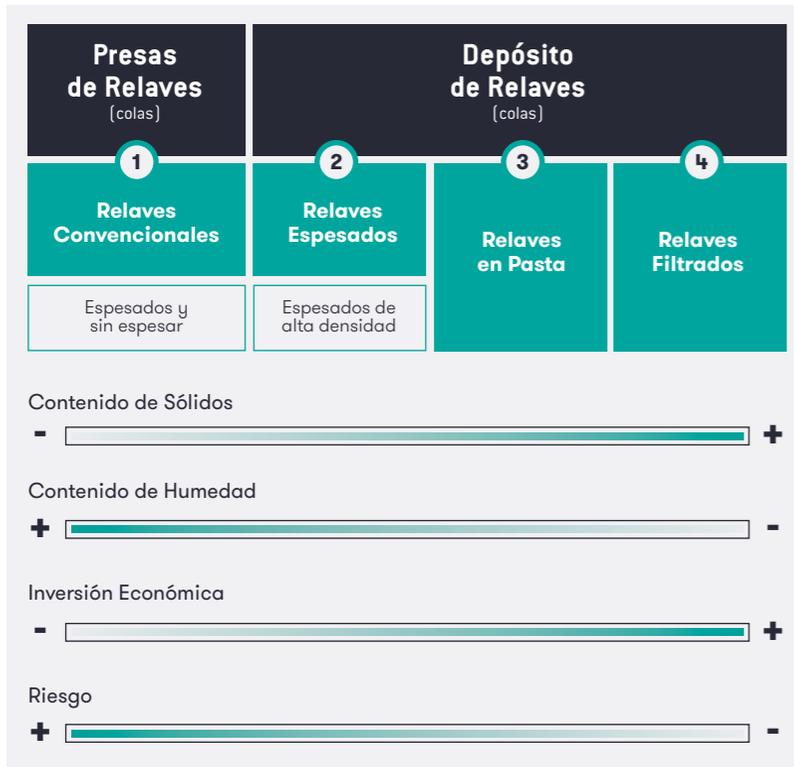


Figura 3

Tratamiento y disposición de los relaves (colas) Fuente: ATG Ltda. 2020



Relaves Convencionales



Relaves Espesados



Relaves Filtrados

## Manejo, tratamiento y disposición de relaves (colas)

¿Cuáles son las alternativas para el manejo de los relaves (colas)? Las alternativas de manejo y disposición de los relaves (colas) están ligadas estrechamente a las características particulares de cada proyecto, respecto a sus procesos, ubicación, condiciones ambientales, sociales, recursos (humano, económico) y riesgos, a los que está expuesto el proyecto.

Los relaves (colas) pueden clasificarse según su proporción de fase sólida y fase líquida, correspondiendo a relaves convencionales, espesados, filtrados y en pasta, a partir de esta clasificación se disponen generalmente en presas o en depósitos (Figura 3).

En las presas se disponen relaves (colas) convencionales con una fase sólida entre el 20 y 40% y espesados entre el 60% y 65%, en los depósitos se pueden disponer relaves espesados, ultra espesados con fase sólida entre 60% y 75%, y filtrados con un mínimo del 80%. En los depósitos se almacenan relaves con menor contenido de humedad que representan un menor riesgo en su gestión y manejo. Es de resaltar que la puesta en marcha y mantenimiento de los tratamientos de deshidratación necesarios representa una alta inversión económica a comparación del manejo de los relaves convencionales en presas, inversión que evaluada a largo plazo se ve retribuida en minimización de costos de mantenimiento y riesgos, y manejo durante el cierre y post cierre (Figura 3).



Imagen 1

Relave de Mesapata, plano general hacia la esquina sureste. [Julio 20 / 2019]  
Autor: Dickens Rondán de Wikimedia Commons



# 03

## ¿Qué es una Presa de Relaves (colas)?

### Presas de Relaves (colas)

Las presas de relaves (colas) son obras de infraestructura para almacenar o represar los relaves (colas), construidas a partir de un muro inicial conformado por material de préstamo, estéril y/o material grueso del relave previamente separado en procesos de tratamiento físico (hidrociclonado y centrifugado). El muro inicial y el suelo de fundación de la presa deben estar impermeabili-

zados con el objetivo de evitar infiltraciones que influyan en la estabilidad física o contaminen las fuentes hídricas subterráneas. Estas estructuras cuentan por lo general con canales perimetrales, sistemas de drenajes subsuperficiales y tuberías de desagüe para minimizar la saturación de los relaves, con aguas del proceso, aguas superficiales, y aguas lluvias. El agua captada se conduce por

lo general a sistemas de sedimentación y tratamiento, para realizar posteriormente procesos de recirculación, siendo reutilizada en la operación minera o es vertida según los parámetros estipulados por la normatividad vigente.

A continuación, se observa un esquema básico de una presa de relaves (colas), vista de planta (Figura 4) y perfil (Figura 5).

#### Convenciones

-  Aguas claras (laguna de decantación)
-  Material Fino
-  Material Grueso
-  Tubería (relaveducto / canal)
-  Muro de contención (material de relaves grueso, estéril, préstamo)
-  Tratamiento al agua
-  Lagunas de Sedimentación
-  Recirculación Vertimento

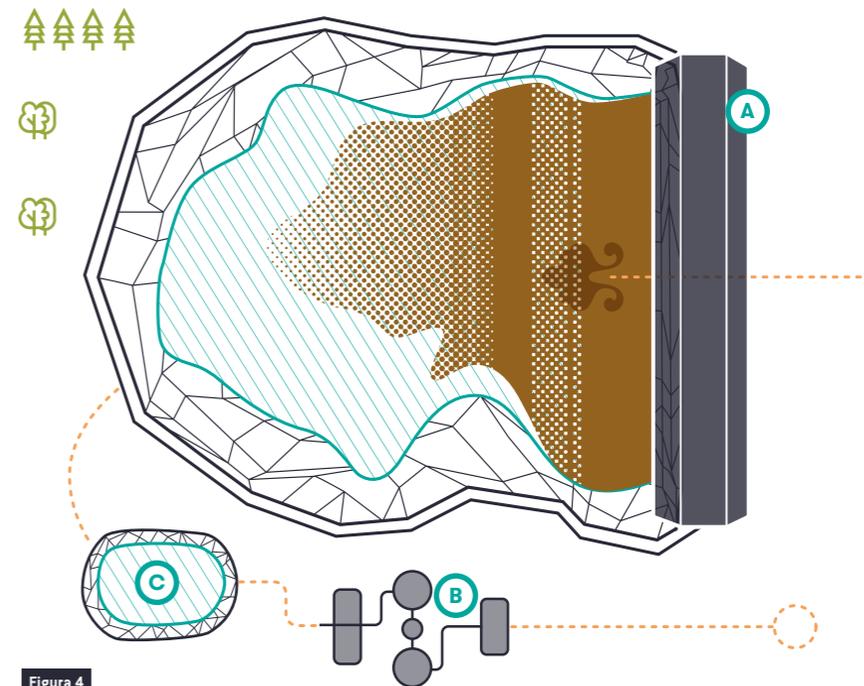
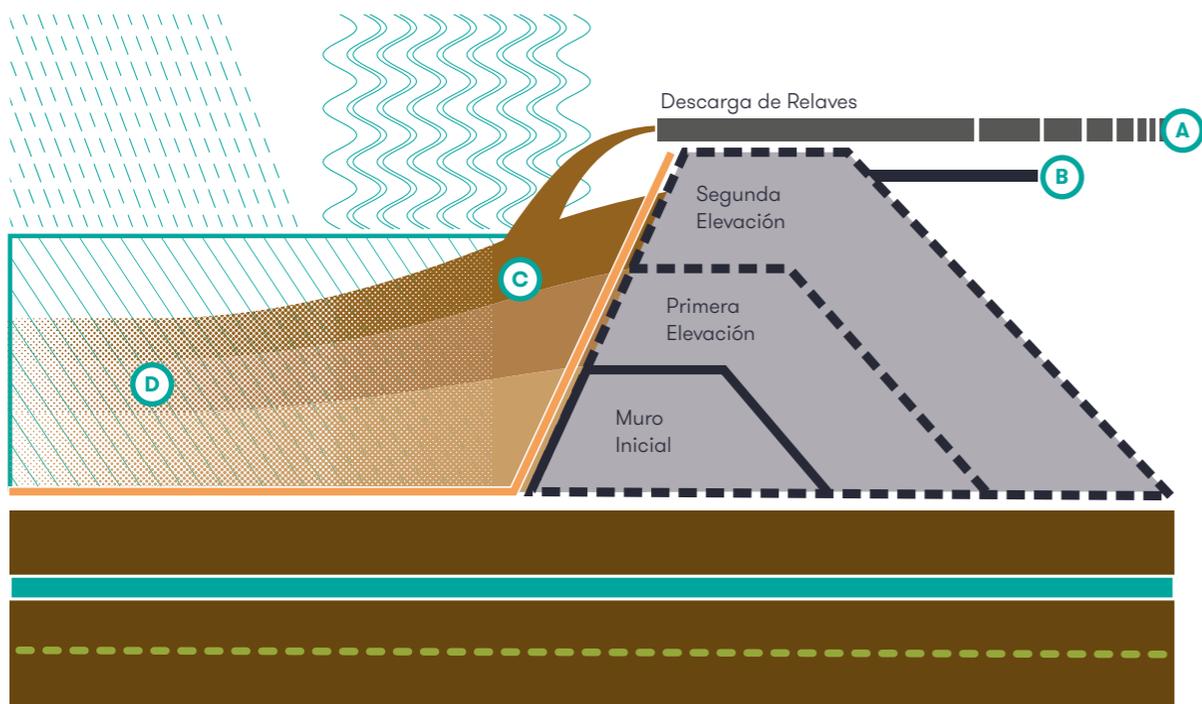


Figura 4  
Esquema básico en planta de presa de relaves (colas). Fuente: ATG Ltda. 2020

## Convenciones

	Aguas claras (laguna de decantación)		Precipitación		Relaveducto		Cubeta
	Material Fino		Evaporación		Rebose de Emergencia		Sistema de drenaje
	Material Grueso		Geomembrana		Playa activa		Nivel Freático



**Figura 5**  
Esquema perfil de una presa de relaves (colas), vista de perfil.  
Fuente: ATG Ltda. 2020

## Canal Perimetral<sup>1</sup>

Canal de desvío de las aguas de la cuenca que captan y desvían las escorrentías superficiales, impidiendo el ingreso a la cubeta de la presa de relaves (colas).

## Cubeta<sup>2</sup>

Corresponde al **volumen físico** disponible para el depósito y/o presa de relaves (colas), junto con gran parte del agua de los relaves. En la cubeta, el agua se localiza en la laguna de aguas claras.

## Laguna de aguas claras<sup>3</sup>

La depositación de relaves (colas) en la cubeta, que llega en una mezcla del sólido con agua para su transporte, en tanto los sólidos se sedimentan en capas, el agua forma esta laguna de aguas claras debido a la **sedimentación del material fino**.

## Muro de inicio o muro de partida<sup>4</sup>

Es el **muro de empréstito** para permitir la contención inicial de los relaves en condiciones de estabilidad. Sobre este muro se continúa la depositación de las arenas gruesas.

## Playa activa<sup>5</sup>

**Zona donde se descargan** los relaves en la cubeta, se le denomina playa porque usualmente esta seca en la superficie y se asemeja a una playa de arenas finas. Es la parte de la presa de relaves (colas) situada en las cercanías de la línea de vaciado.

## Sistema de drenaje<sup>6</sup>

Sistema utilizado para retirar al grado adecuado el agua del interior del muro, con el objetivo de **deprimir al máximo** el nivel freático en el interior del cuerpo del muro.

**1** Tomado y modificado de Ministerio de Minas y Energía Chile, *Preguntas frecuentes sobre relaves*.

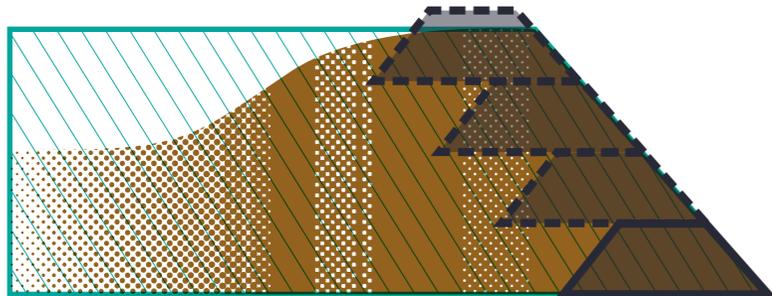
**2** Tomado y modificado de Ministerio de Minas y Energía Chile, *Preguntas frecuentes sobre relaves*.

**3** Preguntas frecuentes sobre relaves.

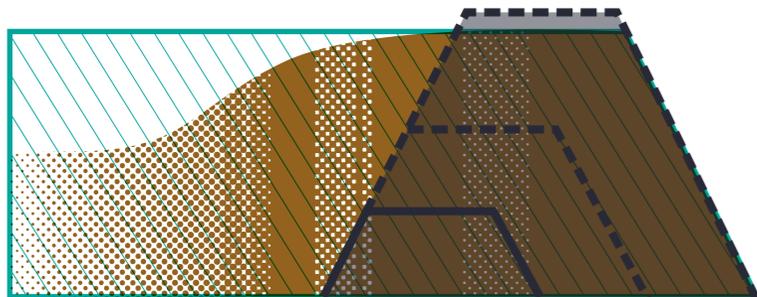
**4** Chile, *Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes*, Ministerio de Minería, 2018.

**5** Preguntas frecuentes sobre relaves.

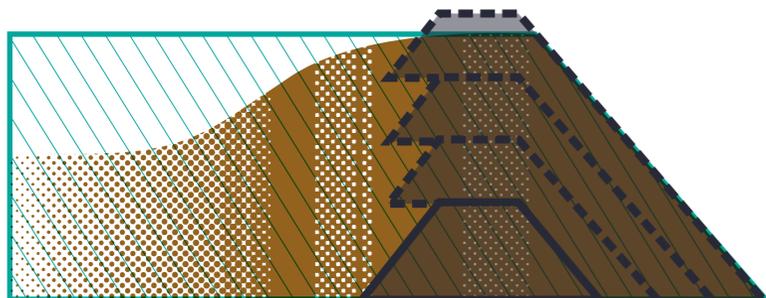
**6** Preguntas frecuentes sobre relaves.



**Figura 6**  
Método constructivo presa de relaves (colas) aguas arriba.  
Fuente: Tomado de Vick 1983, adaptado por ATG Ltda., 2020.



**Figura 7**  
Método constructivo presa de relaves (colas) aguas abajo.  
Fuente: Tomado de Vick 1983, adaptado por ATG Ltda., 2020.



**Figura 8**  
Método constructivo presa de relaves (colas) eje central.  
Fuente: Tomado de Vick 1983, adaptado por ATG Ltda., 2020.

## Métodos de Construcción

Las presas de relaves (colas) pueden ser construidas a partir de tres métodos: **aguas arriba** (Figura 6), **aguas abajo** (Figura 7), **eje central o mixto** (Figura 8)².

En la actualidad el método constructivo aguas arriba está siendo revaluado, ya que las presas concebidas a partir de este, son las que más han presentado fallas o eventos de colapso. La mayoría de nuevas presas construidas se hacen mediante los métodos aguas abajo y eje central, ya que proporcionan mayor estabilidad física y menor riesgo asociado.

### Convenciones

- Aguas claras
- Relaves
- Construcción Progresiva
- Muro inicial

²

Servicio Nacional de Geología y Minería,  
Departamento de Seguridad Minera.  
*Guía Técnica de Operación y Control de Depósitos de Relaves*, 2007.

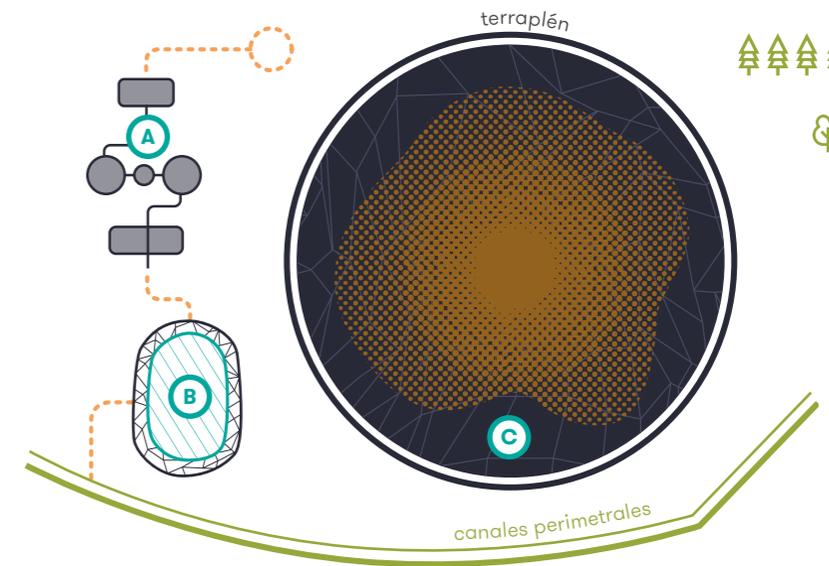
## Convenciones

- Tratamiento de agua
- Lagunas de Sedimentación
- Depósito
- Recirculación / Vertimiento
- Relaves (espesados filtrados o en pasta)

## Depósitos de Relaves

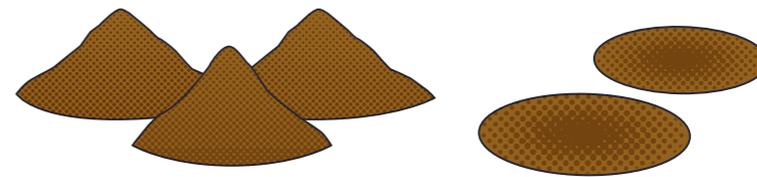
Los depósitos de relaves son estructuras que albergan relaves (colas) con contenidos de humedad bajos en comparación a los relaves (colas) convencionales dispuestos en presas, lo que permite que las estructuras de contención no requieran infraestructura tan elaborada, cuenta con un terraplén para evitar el desborde o movimiento de los relaves almacenados. Estas estructuras cuentan por lo general con canales perimetrales, sistemas de drenajes subsuperficiales para evitar la saturación de agua de los relaves. El agua captada en estos sistemas se conduce por lo general a sistemas de sedimentación y tratamiento, para realizar posteriormente procesos de recirculación de agua o vertimiento (ver Figura 9).

Los relaves almacenados en los depósitos son sometidos previamente a procesos de deshidratación de agua, lo que permite disminuir su volumen disminuyendo las áreas necesarias para su disposición. Generalmente la descarga de estos se realiza de manera cónica teniendo uno o varios puntos de descarga (ver Figura 10).



**Figura 9**  
Esquema básico en planta de depósito de relaves (colas).  
Fuente: ATG Ltda., 2020.

### Descarga Central Espesada



### Base Ovoidal

**Figura 10**  
Descarga relaves (colas) en depósito. Fuente: Tomado de SERNAGEOMIN 2007. Adaptado por ATG Ltda., 2020.



# 04

## Líneas Estratégicas

### Aspectos fundamentales para el manejo de Relaves

¿Qué aspectos son fundamentales al momento de contemplar el manejo de los relaves (colas) a través de una presa? Cada proyecto minero es único, por las características del yacimiento a explotar, producción proyectada, tiempo de operación o por su ubicación geográfica determinan aspectos técnicos, ambientales, sociales y de gestión del riesgo y condicionan propiedades intrínsecas de la presa de relaves (colas). En la *Figura 11* se pueden observar enlistados y clasificados los aspectos relevantes a la hora de manejar relaves a través de presas.

Aspectos del Proyecto Minero	Aspectos del Área de Ubicación de la Presa
Tipo de yacimiento	Topografía
Tiempo de vida del proyecto	Geología
Producción de relaves proyectada	Geomorfología
Recursos económicos disponibles	Hidrogeología
Tecnologías a emplear	Hidrología
Geoquímica de los relaves	Sismicidad
Geotecnia (estabilidad de la estructura y geomecánica de los relaves)	Uso y tipo de suelos
Parámetros geohidráulicos de los relaves	Climatología
	Restricciones ambientales
	Socioeconómicos y culturales

Figura 11

Tabla de clasificación de aspectos fundamentales según Proyecto Minero y Área de ubicación. Fuente: ATG Ltda., 2020.

## Líneas Estratégicas

Las presas de relaves (colas) deben estar construidas bajo estándares que garanticen su operatividad, funcionalidad y estabilidad, permitiendo almacenar o disponer los relaves (colas) generados durante la operación minera; estas estructuras deben estar construidas teniendo en cuenta las siguientes etapas, o líneas estratégicas de su ciclo de vida (Figura 12).

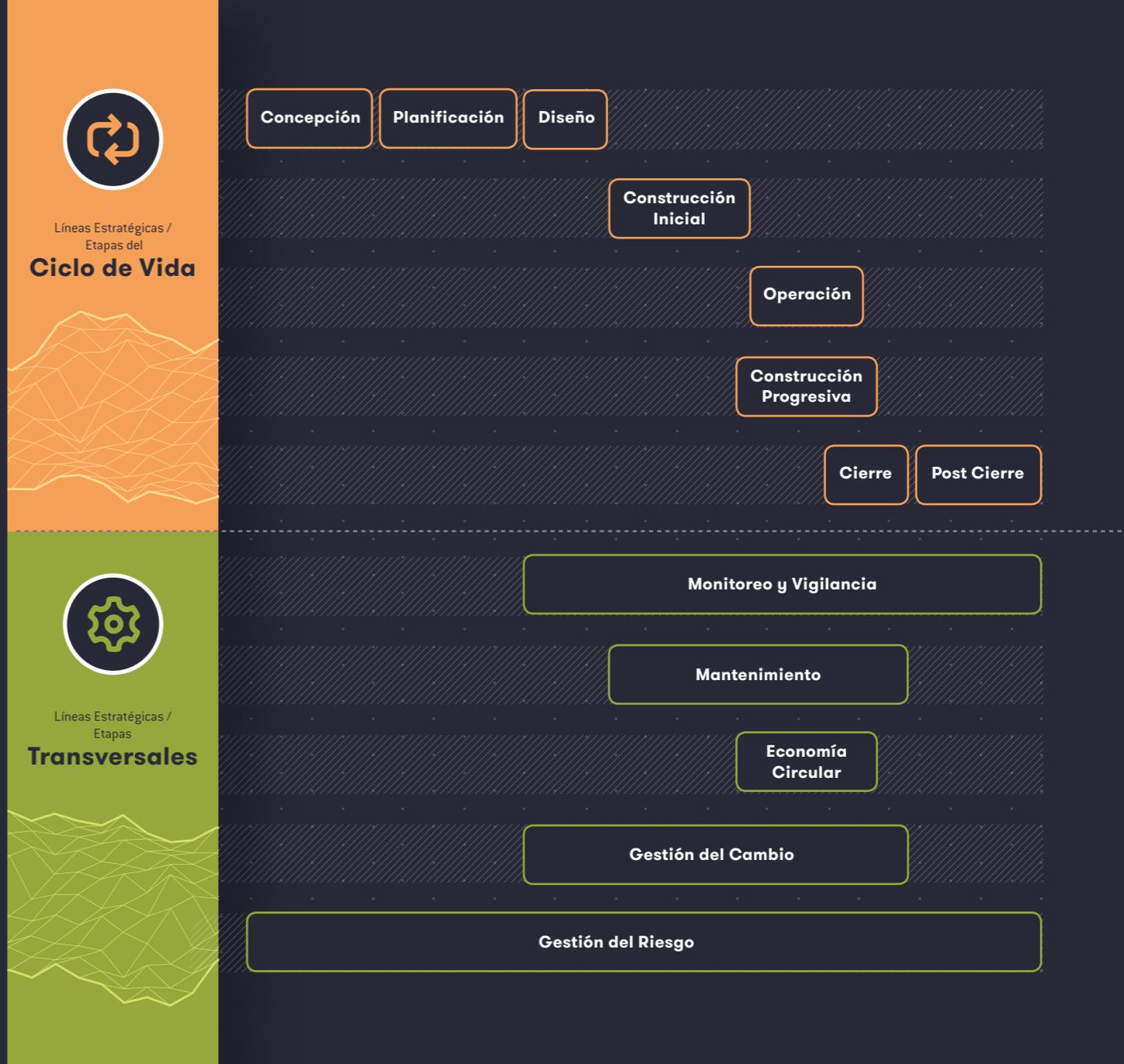
En la práctica cada Etapa o Línea Estratégica debe estar respaldada con análisis integrales (técnicos, ambientales y socio económicos), así como contar con elementos y recursos necesarios para su desarrollo, que garanticen que la estructura construida sea segura, sostenible y capaz de lograr el objetivo que se busca: almacenar los relaves (colas) por un tiempo indefinido (Figura 13). Es imperante estructurar el diseño de las presas de relaves (colas) a partir de una concepción, y planificación adecuada en donde se contemple la dinámica de la operación, su construcción progresiva, un mantenimiento, el monitoreo y vigilancia hasta las etapas de cierre y post cierre.

El **post cierre** hace referencia al uso posterior del área ocupada por la presa o depósito en donde se deben determinar varias posibilidades, teniendo en cuenta que en el cierre de una presa convencional permanece o se debe convivir con su contenido y la sostenibilidad de la estructura. Si esto no es posible, es importante inducir al titular u operador minero en el estudio del desecho generado para buscar alternativas en otros usos, como arenas para construcción, materiales de relleno, elaboración estructuras (ladrillo-postes), conformación de vías, artesanías, entre otros; es decir, un desecho convertirlo en un subproducto.

La **gestión del riesgo** es un aspecto transversal imprescindible a tener en cuenta en cada una de las Etapas o Líneas Estratégicas del ciclo de vida de una presa de relaves (colas), ya que permite identificar, analizar, manejar, gestionar y responder a los riesgos generados a través de directrices, mecanismos, actividades y medidas, consignadas en políticas, normas, planes de emergencia, contingencias y de respuesta para la gestión de desastres.

Figura 12

Relación de Líneas Estratégicas asociadas a los depósitos y presas de relaves (colas). Fuente: ATG Ltda., 2020.



## Manejo & Gestión

¿Cómo se articulan las Líneas Estratégicas de los procesos relacionados con presas de relaves (colas) con el ciclo de vida del proyecto minero?

Las Líneas Estratégicas definidas para la gestión y manejo de los procesos relacionados con presas o depósitos de relaves (colas) deben desarrollarse paralelamente a la explotación, construcción y montaje, explotación, cierre y post cierre, etapas del ciclo de vida de un proyecto minero; lo que permite obtener y utilizar una línea base de información que incorpore los requerimientos para la gestión de los relaves e información necesaria en el desarrollo del proyecto minero. Lo anterior, a su vez convierte el manejo de los relaves en un aspecto intrínseco al momento de concebir un proyecto minero (Figura 14).

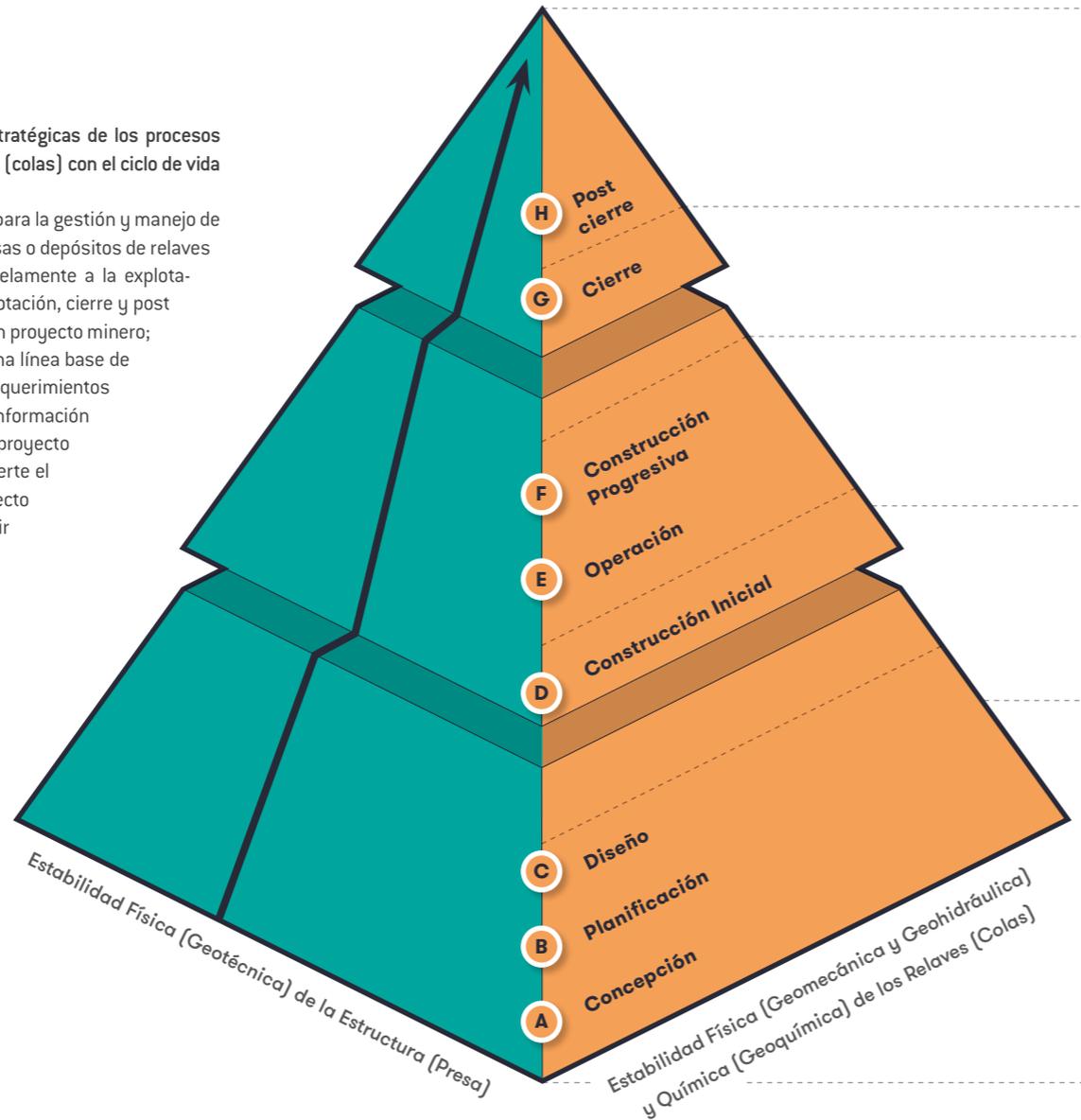


Figura 13

Estructura de manejo y gestión presas de relaves (colas). Fuente: ATG Ltda., 2020.

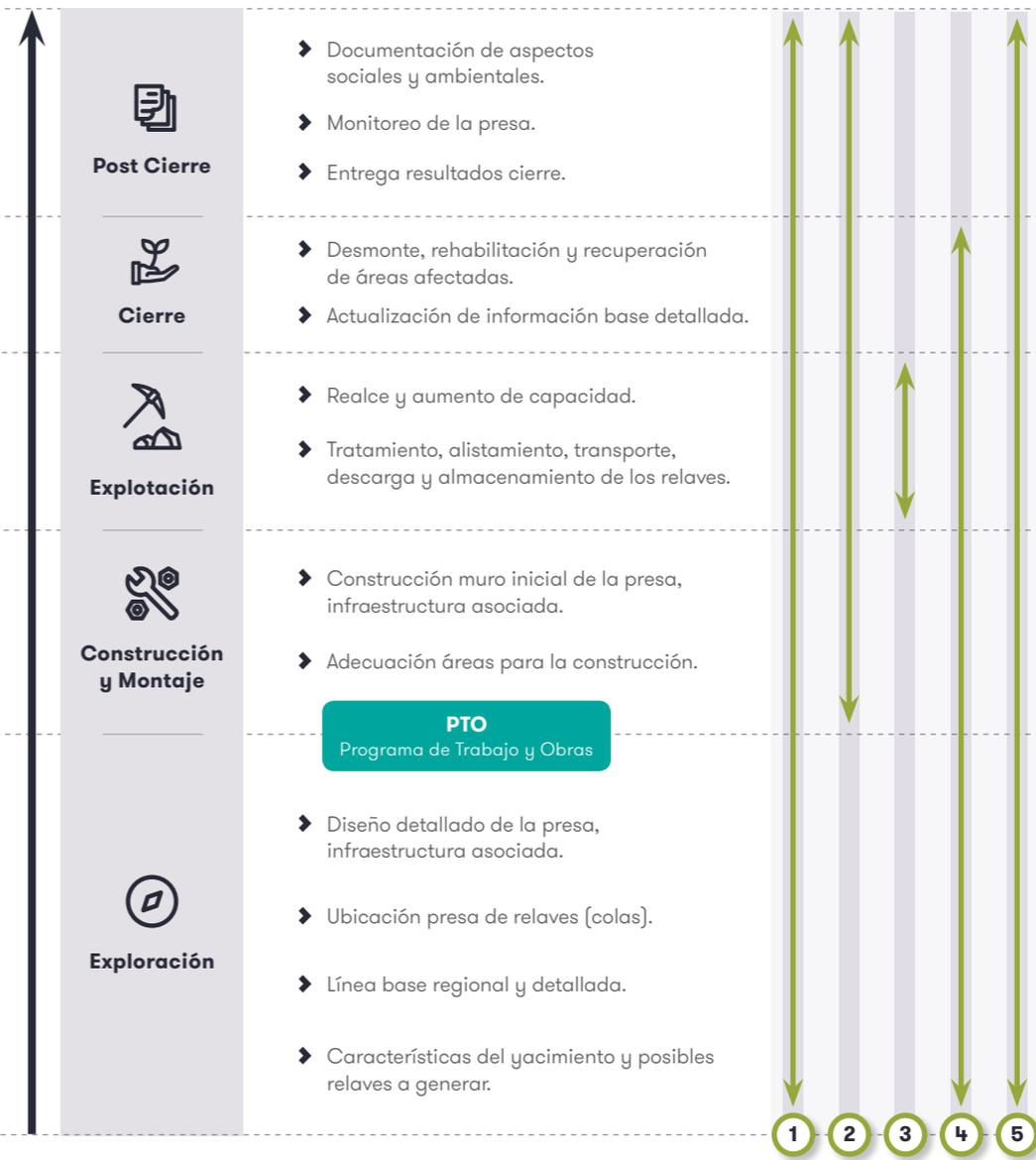


Figura 14

Presas de Relaves (Colas) en el Ciclo de Vida del Proyecto Minero. Fuente: ATG Ltda., 2020.

## Conveniones

### 1 Monitoreo y Vigilancia

Estabilidad física de la presa y estabilidad física y química de los relaves almacenados.

### 2 Mantenimiento

Preventivo, predictivo y correctivo.

### 3 Economía Circular

Aprovechamiento y/o reúso de los relaves.

### 4 Gestión del Cambio

Contemplar, prever y responder adecuadamente a cambios y modificaciones.

### 5 Gestión del Riesgo

Conocimiento, reducción y manejo del riesgo.



# 05

## Metodología: Estructuración de los Líneamientos

### Lineamientos: ¿Qué y cómo?

¿Qué enfoque tienen los Lineamientos? Los Lineamientos se enfocan en la toma de decisiones para el manejo y gestión de las presas o depósitos de relaves (colas), teniendo como objetivo la estabilidad física de las estructuras, y la estabilidad física y química de los relaves depositados a lo largo de su ciclo de vida, en el marco de la identificación, prevención y manejo del riesgo, desde su Concepción hasta el Cierre y Post Cierre, sustentándose en la verificación de resultados y análisis integrales de aspectos técnicos, ambientales y sociales, garantizando que las estructuras construidas sean seguras, estables, funcionales y sostenibles en el tiempo.

¿Cómo se estructuran los Lineamientos? Se formularon cuestionamientos respecto a un proyecto minero que involucrase la generación de relaves, para satisfacer un paso a paso para cada Línea Estratégica; con base en estos planteamien-

tos a modo de inquietudes, se fueron creando los Lineamientos, otorgando a cada lineamiento específico el enfoque de directriz; posteriormente se generó un Componente, es decir, que se necesita? o qué se quiere conocer?; cada componente debe tener un propósito o Alcance, bajo el interrogante, ¿para qué necesitamos conocer ese componente?; pregunta que se resuelve con la Actividad o Información Requerida, que sintetiza el cómo logramos construir dicha información para satisfacer el lineamiento planteado (Figura 15).

En síntesis, los Lineamientos se estructuraron a partir de Componentes, que corresponden a la información a conocer para su aplicación; para cada componente se estableció un Alcance, y unas Actividades específicas que permitirán su desarrollo; lo que en conjunto estructura lineamientos sólidos y consistentes que dan respuesta a necesidades y requerimientos para cada Línea Estratégica.

*“Los Lineamientos se enfocan en la toma de decisiones para el manejo y gestión de las presas o depósitos de relaves, teniendo como objetivo la estabilidad física de las estructuras, y la estabilidad física y química de los relaves depositados a lo largo de su ciclo de vida.”*

Atributos de cada Línea Estratégica					
	Lineamiento	Componente	Alcance	Información Requerida	Actividades
Significado	Orientación, Disposición, Directriz	¿Qué se necesita conocer?	¿Para qué?	¿Cómo?	¿Cómo?

Figura 15

Estructura de Líneas Estratégicas y Lineamientos para los depósitos y presas de relaves (colas). Fuente: ATG Ltda., 2020.



# 06

## Lineamientos

L = Lineamiento

A B C D E F G H I J = Componentes de un mismo Lineamiento



Lineas Estratégicas del  
Ciclo de Vida

1	<b>Concepción</b> pág 28	L1 pág 29	A B	L2 pág 31	A B C D E F G H I J	L3 pág 41		
2	<b>Planificación</b> pág 42	L1 pág 43	A B C D E F	L2 pág 50				
3	<b>Diseño</b> pág 52	L1 pág 53	L2 pág 54	A B C D E F G H I				
4	<b>Construcción Inicial</b> pág 64	L1 pág 65	L2 pág 66	A B	L3 pág 68	A B	L4 pág 70	A B C
5	<b>Operación y Construcción Progresiva</b> pág 74	L1 pág 75	A B	L2 pág 77	L3 pág 78	L4 pág 79		
6	<b>Cierre</b> pág 80	L1 pág 81	A B C D	L2 pág 85	A B	L3 pág 87	A B	L4 pág 89
7	<b>Post Cierre</b> pág 90	L1 pág 91	L2 pág 92					



Lineas Estratégicas  
Transversales

1	<b>Mantenimiento</b> pág 94	L1 pág 95	A B C		
2	<b>Monitoreo y Vigilancia</b> pág 98	L1 pág 99	A B C D E		
3	<b>Gestión del Riesgo</b> pág 104	L1 pág 105	A B C		
4	<b>Gestión del Cambio</b> pág 108	L1 pág 109			
5	<b>Economía Circular</b> pág 110	L1 pág 111	L2 pág 112	L3 pág 113	L4 pág 114

# Concepción

El nacimiento de un proyecto relacionado con la disposición de relaves (colas) comienza con la fase cero del proyecto minero, y se relaciona con el tipo de minerales a explorar y explotar y sus procesos de beneficio y transformación, en los que se generan relaves (colas), y por ende requieren de un lugar en donde se almacenen, ya sea de manera temporal o definitiva.

La concepción del proyecto corresponde a la prefactibilidad (ingeniería conceptual) donde se generan alternativas y se selecciona la más adecuada, en este caso, la futura ubicación de la presa o depósito de relaves (colas). Las temá-

ticas analizadas a nivel regional se encaminan a revisar los impactos que la presa o depósito generaría en el ambiente, así como un estimado de las necesidades para su puesta en marcha, y por lo tanto se determinan de manera general los costos de inversión y aspectos técnicos del futuro proyecto.

En conclusión, esta fase implica el uso de herramientas rigurosas para la toma de decisiones que permitan respaldar la selección de la ubicación definitiva de la presa o depósito que se empleará para el almacenamiento y manejo de relaves.

*“La concepción del proyecto corresponde a la **prefactibilidad** donde se generan alternativas y se selecciona la más adecuada, en este caso, la futura ubicación de la presa o depósito de relaves”*



## Lineamiento 1

Definir las características del yacimiento minero asociadas a la generación y volumen de relaves (colas)



### Componente

Tipo de Yacimiento a Explotar (tipo de roca encajante, minerales de mena y asociados a explotar)



### Alcance

Conocer el potencial de generación colas; y de drenajes ácidos y procesos de lixiviación a partir de relaves (colas)



### Información Requerida

- Ensayos físico-químicos, mineralógicos, geoquímicos y metalúrgicos de la roca encajante, y de los minerales de mena y asociados
- Clasificación por tamaño y gravedad específica de los relaves (colas).
- Evaluación de la capacidad de generación de acidez/alcalinidad, y de neutralización tanto de la mena como de los minerales ganga. Identificación mineralógica (min. generadores de acidez/alcalinidad y min. neutralizantes).
- Determinación de concentraciones de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) (metales y metaloides).



### Actividad

Realizar el análisis geoquímico de la roca encajante, y de los minerales de mena y ganga asociados al proyecto minero, mediante la recolección de muestras de núcleos, afloramientos y túneles exploratorios, determinando pH, concentración de sulfuros y minerales con el fin de disponer de un análisis ácido-base descriptivo de minerales capaces de producir drenaje ácido o alcalino minero, potencial de procesos de lixiviación.

1 Concepción

B



### Lineamiento 1

Definir las características del yacimiento minero asociadas a la generación y volúmen de relaves (colas)



#### Componente

Categorización de Recursos y Reservas (Volúmenes de material a explotar)



#### Alcance

Calcular el volumen proyectado de generación de relaves (colas)



#### Información Requerida

Cálculo de producción anual y volumen de producción total de relaves (colas) durante el ciclo de vida del proyecto minero (aproximación a disposición mensual o anual en la presa o depósito de relaves (colas)).



#### Actividad

Diseñar y ejecutar un método de prospección en el que se incluya como mínimo un método (geoelectrónico, por ejemplo) y se confirme su interpretación con un método de exploración directa, que incluya perforaciones con recuperación de núcleos para verificar la disposición del depósito, las zonas enriquecidas con el mineral objeto de explotación y calcular las reservas probadas del mineral, así como la roca encajante que será necesaria remover. De esta manera y calculando el tenor del depósito (posterior yacimiento), se calculará el volumen de relaves (colas) a manejar y de acuerdo con la capacidad instalada tanto de explotación como de beneficio y transformación, determinar los volúmenes de producción anual y total de relaves.

1 Concepción

A



### Lineamiento 2

Levantar línea base a nivel regional para seleccionar y jerarquizar alternativas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



#### Componente

Topografía



#### Alcance

Definir rasgos topográficos, existencia de depresiones o morfologías adecuadas para ubicar la presa o depósito de relaves (colas).



#### Información Requerida

Cartografía a escala 1:25.000 o mayor, en donde se referenciará la infraestructura existente (construcciones, carreteras, líneas eléctricas, etc.), accidentes geográficos (quebradas, cerros, etc.), labores exploratorias y mineras; y las potenciales áreas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas).



#### Actividad

Verificar a través de la cartografía existente como información de uso público a través de las entidades del gobierno (por ejemplo, el Instituto Colombiano Agustín Codazzi – IGAC), con una escala que permita identificar los accidentes geográficos susceptibles de base, para definir la ubicación de la presa o depósito de relaves. De no ser posible la obtención de la topografía, se ejecutará a través de una comisión topográfica o con el uso de dron, a la escala requerida.



## Lineamiento 2

Levantar línea base a nivel regional para seleccionar y jerarquizar alternativas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Geología



### Alcance

Definir rasgos geológicos y estructurales regionales, características composicionales del subsuelo y su relación con la favorabilidad para ubicar la presa o depósito de relaves (colas).



### Información Requerida

Mapa fotogeológico y geológico de las áreas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas), a escala 1:25.000 o mayor, con descripción de la estratigrafía y cartografía de las unidades geológicas aflorantes con estructuras (orientación de estratos, fallas, pliegues, etc.), con base en estudios existentes de la zona; ajustada con el respectivo control de campo.



### Actividad

Consultar la información disponible en las entidades del gobierno colombiano como el Servicio Geológico Colombiano – SGC; donde se determine la escala requerida, la geología regional, con la descripción de las unidades presentes a través de columnas estratigráficas y la geología estructural.



## Lineamiento 2

Levantar línea base a nivel regional para seleccionar y jerarquizar alternativas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Geomorfología



### Alcance

Identificar procesos de inestabilidad de laderas, con énfasis en remoción en masa y erosión e intervenciones antrópicas que afecten la ubicación de la presa o depósito de relaves (colas).



### Información Requerida

Mapa geomorfológico de las áreas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas), a escala 1:25.000 o mayor, con la cartografía de las geoformas y de su dinámica; incluyendo la génesis de las diferentes unidades y su evolución, rangos de pendientes, patrón y densidad de drenaje, etc.



### Actividad

A través de la información existente en entidades oficiales (Servicio Geológico Colombiano – SGC), ubicar la cartografía que contenga los rasgos fisiográficos que identifiquen eventos de inestabilidad tanto en el pasado como los posibles eventos que puedan presentarse a raíz de la dinámica existente.



### Lineamiento 2

Levantar línea base a nivel regional para seleccionar y jerarquizar alternativas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



#### Componente

Hidrogeología



#### Alcance

Identificar y caracterizar el agua subterránea - acuíferos sobre las áreas potenciales en donde se ubicará la presa o depósito de relaves (colas).



#### Información Requerida

Mapa hidrogeológico de las áreas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas), a escala 1:25.000 o mayor, con la cartografía de unidades hidrogeológicas, inventario de puntos de agua; línea base cantidad y calidad del agua subterránea; y el modelo hidrogeológico conceptual.



#### Actividad

Con base en la información oficial existente o de otro tipo de estudios en la zona, identificar las unidades hidrogeológicas presentes, así como la presencia de aljibes. Con base en la información primaria obtenida, desarrollar un modelo hidrogeológico conceptual que permita definir la dirección de los flujos de agua subterránea a través de las unidades hidrogeológicas identificadas.



### Lineamiento 2

Levantar línea base a nivel regional para seleccionar y jerarquizar alternativas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



#### Componente

Sismicidad



#### Alcance

Definir las condiciones de amenaza sísmica de las áreas en las que potencialmente se ubicará la construcción de la presa o depósito de relaves (colas).



#### Información Requerida

Evaluación de amenaza sísmica, teniendo en cuenta las normas de sismo resistencia vigentes NSR 201015 o la que las reemplace o modifique; y/o estudios locales de microzonificación sísmica.



#### Actividad

Verificar en la información oficial existente o de estudios en la zona, la cartografía que defina el nivel de amenaza sísmica del área objeto de estudio. Asimismo, hacer el inventario de eventos sísmicos ocurridos en el área de influencia y el grado de afectación en la misma.



## Lineamiento 2

Levantar línea base a nivel regional para seleccionar y jerarquizar alternativas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Hidrología e Hidráulica



### Alcance

Proveer la información hidrológica e hidráulica necesaria para diseñar obras y sistemas para el manejo de las aguas superficiales que permitan una eficiente operación de la presa o depósito de relaves (colas).



### Información Requerida

Recopilación, evaluación y procesamiento de información hidroclimatológica de máximos y mínimos a tener en cuenta (series de caudal, precipitación, evapotranspiración, temperatura, índices de retorno, entre otras); caracterizar el comportamiento hidráulico de los cuerpos de agua cercanos a las áreas potenciales en donde se ubicará la presa o depósito de relaves (colas), delimitación y extensión de cuencas hidrográficas, patrones de drenaje, volúmenes de agua por efecto de la escorrentía superficial, y periodos de retorno de inundaciones.



### Actividad

Ubicar la información oficial derivada de estaciones hidrometeorológicas presentes en el área de estudio que contenga parámetros como precipitaciones, temperaturas, caudales y otros que apoyen la toma de decisión respecto a la ubicación de la presa o depósito de relaves (colas). Asimismo, verificar con cartografía multitemporal, el comportamiento de los cuerpos de agua presentes en la zona de estudio, con el fin de determinar la envolvente de divagación.



## Lineamiento 2

Levantar línea base a nivel regional para seleccionar y jerarquizar alternativas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Usos y Tipos de Suelos



### Alcance

Realizar un análisis de suelos con base en su vocación, servicios y estado actual de las áreas sobre las que potencialmente se ubicará la presa o depósito de relaves (colas).



### Información Requerida

Cartografía de suelos de las áreas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas), a escala 1:25.000 o mayor, con sus respectivos análisis que incluyan vocación, servicios (provisión, regulación, soporte y cultural) y el estado actual (fertilidad, contaminación, compactación, degradación por erosión) con base en información primaria y secundaria.



### Actividad

Diseñar un plan de muestreos en el área objeto del estudio con el fin de llevar a cabo una campaña de toma de muestras y de ensayos de laboratorio con el fin de verificar su estado y contrastar lo recopilado con los usos actuales del suelo y el marco legal a través de los instrumentos de ordenamiento territorial, estableciendo la correlación o conflicto de uso.



## Lineamiento 2

Levantar línea base a nivel regional para seleccionar y jerarquizar alternativas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Evaluación Geotécnica



### Alcance

Definir el grado de estabilidad de los suelos y susceptibilidad por procesos morfodinámicos e hidrodinámicos de las áreas sobre las que potencialmente se ubicará la presa o depósito de relaves (colas).



### Información Requerida

Evaluación cartográfica de las temáticas de geología (condición geológico estructural y geomecánica), sísmica, geomorfología, hidrogeología, suelos, hidrología y meteorología, como resultado de la homogenización de polígonos.



### Actividad

Con base en la topografía y los análisis de laboratorio de los materiales sobre los que se soportará la presa o depósito de relaves (colas) modelar a través de software, la estabilidad geotécnica de la zona, identificando factores de seguridad que permitan establecer un mapa cinemático del área de estudio y las condiciones que favorezcan la construcción de la estructura.



## Lineamiento 2

Levantar línea base a nivel regional para seleccionar y jerarquizar alternativas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Restricciones Ambientales



### Alcance

Determinar Áreas de Importancia Ecológica, Áreas Protegidas y Zonas de Exclusión Minera, expresamente designadas en la normatividad colombiana.



### Información Requerida

Evaluación de prohibiciones, limitaciones y restricciones mineras y ambientales conforme a la verificación en el SINAP, RUNAP y lo establecido por las entidades territoriales.



### Actividad

Con base en la información oficial existente, determinar si el área objeto de estudio corresponde a áreas ambientales protegidas por el Estado Colombiano, (zonas de reserva, parques nacionales, bosques primarios, reservas de la sociedad civil, entre otros).

1 Concepción

J



## Lineamiento 2

Levantar línea base a nivel regional para seleccionar y jerarquizar alternativas de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Socioeconómico y Cultural



### Alcance

Identificar las principales características socioeconómicas de la población y su relación con el proyecto de presa o depósito de relaves (colas).



### Información Requerida

Identificación de grupos de interés, centros poblados; y ubicar la infraestructura de interés arqueológico, espiritual, cultural y social.



### Actividad

Verificar en el instrumento de ordenamiento territorial que tenga el municipio donde se proyecta construir la presa o depósito de relaves (colas), la información sociodemográfica donde se identifiquen los centros poblados y los grupos de interés, así como las partes interesadas en la ejecución del proyecto. Asimismo, identificar la infraestructura que represente para la comunidad un específico interés por su significado (arqueología, religión, entre otros).

1 Concepción



## Lineamiento 3

Definir ubicación de la presa o depósito de relaves (colas) con base en una análisis integral técnico y socioeconómico



### Componente

Ubicación de la Presa o depósito de relaves (colas)



### Alcance

Analizar de manera integral involucrando las temáticas evaluadas desde los componentes técnicos, ambientales y socio económicos a escala regional.



### Información Requerida

Se debe presentar un análisis sobre la alternativa de disposición final de relaves (colas) seleccionada, justificando su elección y las ventajas técnicas y socio-ambientales que esta tiene sobre las demás alternativas existentes.



### Actividad

Los resultados obtenidos de las diferentes temáticas deben ser integrados contemplando aspectos de carácter técnico, ambiental, social, económico y de gestión del riesgo, lo que sustentará la ubicación seleccionada para la construcción de la presa o depósito de relaves (colas). Esta selección debe garantizar la estabilidad de la estructura a lo largo de su ciclo de vida.

# Planificación

El inicio de la planificación comienza con el conocimiento de la ubicación definitiva de la presa o depósito de relaves (colas) y se ejecuta al finalizar la concepción del proyecto hasta el inicio del diseño de la estructura. La planificación busca orientar y detallar cada una de las temáticas básicas necesarias e imprescindibles en un orden específico con el fin de lograr la toma de decisiones acertada; y por consiguiente, un diseño adecuado y seguro de la presa o depósito de relaves (colas) que se busca materializar.

La planificación puede considerarse como la

línea base y es punto de referencia para tomar decisiones frente al diseño, la construcción y el monitoreo de la estructura.

Por lo anterior, la planificación incluye la obtención de información relevante a escala detallada que permita conocer de manera específica el sitio de disposición de los relaves, realizar una nueva caracterización de los relaves (colas), y la selección de los materiales con los que se construirá la estructura. De esta forma, se permitirá garantizar la estabilidad y disminuir los riesgos asociados a la operación.

*“La planificación puede considerarse como la línea base y es punto de referencia para **tomar decisiones** frente al diseño, la construcción y el monitoreo de la estructura.”*



## Lineamiento 1

Elaborar línea base de conocimiento a escala detallada del área de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Topografía



### Alcance

Realizar y presentar el levantamiento topográfico del sitio de ubicación seleccionado para la presa o depósito de relaves (colas) de forma esquemática y detallada, donde se ubique el proyecto sus obras soporte y complementarios, sirviendo de base para el desarrollo de cartografías temáticas, con el fin de dimensionar los respectivos diseños de la infraestructura a construir y/o adecuar.



### Información Requerida

Levantamiento topográfico detallado, a escala 1:2000 o mayor, con curvas de nivel cada dos (2) metros, con inclusión de la infraestructura superficial existente (vías, líneas eléctricas, construcciones, centros poblados, etc.), accidentes geográficos principales (quebradas, cerros, etc.) incluyendo todo lo que pueda servir y soportar la planificación del proyecto, incluyendo la ubicación de la estructura de la presa o depósito con el volumen y la capacidad de almacenamiento.



### Actividad

El levantamiento topográfico se puede lograr a través de una comisión con un equipo de topografía de detalle (GPS GNSS RTK) que tenga la capacidad de tomar la cantidad de puntos para lograr la ubicación de manera precisa y con todos los elementos existentes tanto de infraestructura como de accidentes geográficos. La topografía de detalle también se puede lograr con sobrevuelos a través de drones que tomen la información necesaria y suficiente a detalle para la toma de decisiones.



### Lineamiento 1

Elaborar línea base de conocimiento a escala detallada del área de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



#### Componente

Geología



#### Alcance

Elaborar el modelo geológico detallado como insumo para la construcción del modelo geológico-geotécnico local.



#### Información Requerida

Cartografía detallada a escala 1:2000 o mayor que contenga las unidades de roca, suelos y depósitos; con descripción composicional (estratigrafía local); definición de rasgos geológicos y estructurales locales (fallas, pliegues, características y estado del macizo rocoso, etc.); y toda aquella información relacionada que sirva de soporte para la planificación del proyecto.



#### Actividad

Con base en los estudios de prospección y exploración, así como con la cartografía regional y una campaña liderada por geólogos e ingenieros geólogos, determinar la geología local del área donde se construirá la presa o depósito de relaves (colas). La geología local debe contener a nivel de detalle, información como estratigrafía, geología estructural, geomorfología y análisis de laboratorio de la roca que permita desde la petrografía y la mineralogía, definir de manera certera las rocas y los minerales presentes, así como su disposición.



### Lineamiento 1

Elaborar línea base de conocimiento a escala detallada del área de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



#### Componente

Hidrogeología



#### Alcance

Elaborar un modelo hidrogeológico numérico que sirva como punto de referencia para el posterior monitoreo del recurso en términos de calidad y cantidad, así como la evaluación hidrogeoquímica, hidráulica, e hidrodinámica del área de la presa o depósito de relaves (colas).



#### Información Requerida

Cartografía detallada a escala 1:2000 o mayor de unidades hidrogeológicas y tipos de acuíferos presentes sobre el área de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas); inventario de puntos de agua; parámetros geo hidráulicos, usos del agua (si los hay); zonas de recarga y descarga y direcciones de flujo, así como la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación. Incluir el análisis del balance hídrico (entradas y salidas) con la operación de la presa o depósito de relaves (colas).



#### Actividad

El modelo hidrogeológico deberá ser una representación en tres dimensiones de las condiciones estáticas y dinámicas de las unidades hidrogeológicas presentes en el área objeto de estudio y ubicación de la presa o depósito de relaves (colas). La información con la que se elabora el modelo se basa en la geología y su descripción. Con esto se puede definir la posibilidad de almacenar y transmitir agua, y determinar la posición de los niveles piezométricos (es necesario instalar piezómetros para el modelo, que pueden servir en el futuro para el monitoreo a la presa de relaves (colas)). La modelación contiene valores de recarga, condiciones de los flujos, inventario de puntos de agua, características hidráulicas como conductividad; y definición de formaciones.



## Lineamiento 1

Elaborar línea base de conocimiento a escala detallada del área de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Análisis Geotécnico y Estudio de Sismicidad



### Alcance

Ejecutar la caracterización geomecánica de los materiales del subsuelo con el fin de consolidar el modelo geológico-geotécnico y realizar un análisis de estabilidad en condición estática y dinámica (lluvia, sismo) del área donde se planifica la construcción de la presa o depósito de relaves (colas).



### Actividad

Con la topografía detallada y los análisis de laboratorio del suelo de fundación de la presa o depósito de relaves (colas) se procede a través de software, a realizar la modelación geotécnica donde se obtengan factores de seguridad en condición estática y dinámica (lluvia o sismo), con el fin de determinar la idoneidad del área seleccionada identificando a su vez procesos que deriven en inestabilidad.



### Información Requerida

- Ensayos de laboratorio (parámetros geomecánicos como resistencia al corte, resistencia a la tracción y corte directo y todos aquellos que se consideren necesarios como soporte a la planificación del proyecto).
- Caracterización y análisis cinemático del macizo para establecer la posibilidad de falla (grietas, movimientos, discontinuidades).
- Cartografía detallada a escala 1:2000 o mayor de unidades geológico-geotécnicas y unidades de sismicidad.
- Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza, del área de ubicación de la posible presa o depósito de relaves (colas).
- Hacer una relación de eventos sísmicos del área de estudio para determinar su frecuencia y periodicidad y asociarla al modelo geotécnico a construir.

## Lineamiento 1



### Componente

Hidrología e Hidrografía



### Alcance

Procesar la información hidroclimatológica (caudal, precipitación, evaporación); régimen hidrológico predominante (máximos, mínimos y dominantes) e identificar los cuerpos de agua susceptibles de ser impactados, para determinar su influencia en la planificación de la presa o depósito de relaves (colas).



### Actividad

Los datos obtenidos de las estaciones oficiales (hidrometeorología) deben contener información de picos presentes en escalas de tiempo (como mínimo debe contener un periodo de retorno en los que se puede incluir información de 50 años en adelante. Esto con el fin de analizar y verificar la periodicidad de eventos extremos climáticos y su influencia en los cuerpos de agua presentes en la zona de estudio. Asimismo, relacionar el análisis con el comportamiento de los cuerpos de agua existentes, si serán fuentes receptoras de vertimientos de las aguas de la presa o depósito de relaves (colas).



### Información Requerida

- Cartografía detallada a escala 1:2000 o mayor que incluya la identificación de cuerpos lénticos y lóticos (envolvente de divagación) y sus zonas de recarga (si existen los cuerpos de agua).
- Descripción de los patrones de drenaje, régimen hidrológico y caudales característicos de cuerpos cercanos o a intervenir.
- Caracterización fisicoquímica e hidrobiológica de las corrientes hídras del área de influencia, susceptibles de ser intervenidas por la construcción de la presa o depósito. Mediante la toma de muestras que permitan determinar parámetros establecidos de acuerdo con el Decreto 1076 de 26 de mayo de 2015 - Decreto Único Reglamentario Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS y los mencionados en la Resolución 631 de 17 de marzo de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS (valores límites para vertimientos puntuales en cuerpos de agua).
- Si se determina la necesidad de realizar vertimientos a un cuerpo de agua, verificar su histórico su estado inicial respecto a parámetros fisicoquímicos e hidrobiológicos, para realizar la comparación con los resultados que contemple el vertimiento definiendo el impacto del mismo al cuerpo de agua.
- Usos actuales y proyectados del agua que se pueden ver afectados por la construcción y operación de la presa o depósito (captación, generación de energía, riego, recreación, etc.).
- Conflictos actuales sobre disponibilidad y uso del agua, índice de escasez.
- Planificar la gestión del agua sobrenadante en la presa o depósito, así como la proveniente de filtraciones y determinar las actividades de manejo de erosión ocasionada por el manejo del agua.

2 Planificación

F



### Lineamiento 1

Elaborar línea base de conocimiento a escala detallada del área de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



#### Componente

Infraestructura Existente y por Construir



#### Alcance

Identificar y caracterizar vías de acceso, estado y clasificación. Asimismo, definir la infraestructura existente asociada al proyecto, y la infraestructura por construir para la operación de una presa o depósito de relaves (colas).



#### Información Requerida

Cartografía detallada a escala 1:2000 o mayor donde se ubique la infraestructura existente y la que se implementará a raíz de la construcción y operación de la presa o depósito de relaves (colas) (línea de conducción de colas, tratamiento de colas, filtrado, prensado, secado de colas, canales de contingencia, ubicación de puntos de bombeo, filtros, terraplenes de acceso, entre otros).



#### Actividad

A través de la topografía de detalle, verificar las construcciones que puedan servir para la presa o depósito de relaves, así como la línea de conducción de los relaves (en el caso que sea por tubería, por canales, por ejemplo). De la misma manera, ubicar la planta de transformación del mineral y el área de tratamiento de los relaves, si se tiene estimado hacerlo (relaves secos, filtrados, espesados, entre otros).

2 Planificación

G



### Lineamiento 1

Elaborar línea base de conocimiento a escala detallada del área de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas)



#### Componente

Oferta de Materiales para Construcción



#### Alcance

Calcular los volúmenes disponibles, la competencia de los materiales (caracterización física y geomecánica) para identificar los que serán aptos para ser utilizados en la construcción de las diferentes obras; entre ellas la estructura de contención de la presa o los terraplenes del depósito.



#### Actividad

Identificar las posibles fuentes de materiales competentes que sirvan para construir la presa de relaves (colas) en el área de influencia del proyecto (para disminuir costos de transporte). Dichos materiales deberán someterse a análisis físico y químico con el fin de determinar su competencia. Así mismo, se debe determinar el volumen disponible que existe con posibilidad de entrega durante el tiempo que dure la construcción de la presa o depósito de relaves (colas).



#### Información Requerida

- A. Disponibilidad de materiales para la construcción, mantenimiento y rehabilitación de la presa o depósito en las fases posteriores al diseño (construcción, cierre, post-cierre).
- B. Ensayos de laboratorio para determinar las características ingenieriles, la competencia de los materiales disponibles para construir la presa o el depósito de relaves (colas) (estériles del yacimiento, materiales de préstamo, relaves secos, entre otros). Los ensayos deben incluir parámetros como resistencia al corte, conductividad hidráulica, de erosionabilidad, tamaño de grano, densidad, permeabilidad, entre otros.
- C. Determinar posibles efectos de los relaves (colas) y del agua en la presa o depósito con los materiales elegidos para la construcción de la presa o depósito como, por ejemplo, potencial de generación de drenaje ácido-alcalino, potencial de erosión eólica e hídrica, entre otros.



## Lineamiento 2

Definir características asociadas al beneficio y transformación del mineral para evaluar alternativas sobre el tipo de relaves (colas) y disposición (presa o depósito), transporte de relaves (colas) y método constructivo de la estructura de contención.



### Componente

Análisis del Proceso de Beneficio y Transformación Incluyendo el Transporte de los relaves (colas) y la Infraestructura de Disposición.



### Alcance

Analizar el proceso de beneficio y transformación al que se someterá el material extraído del yacimiento, con el fin de conocer las características del relave y el proceso detallado para llegar a él (cola); y con base en sus características, definir el medio transporte utilizado para llevarlas al destino temporal-final, el tipo de cola según disposición y tipo de presa o de depósito de relaves (colas) para finalizar la etapa de planificación.



### Actividad

Con el proceso de beneficio y transformación ya definido, determinar las características físicas y químicas del relave para considerar el tratamiento que se le dará para su disposición final (convencionales, espesados, filtrados, secos, entre otros). De esta manera se puede definir el tipo de presa a construir y el tipo de transporte a utilizar para llevar los relaves desde el proceso de transformación hasta la presa o depósito.



### Información Requerida

- Detalle del proceso de transformación del mineral a través de prueba a escala para crear el relave (cola) a nivel de laboratorio con su correspondiente análisis mineralógico y geoquímico, y verificación del potencial de drenaje ácido/alcalino. Estos resultados deberán ser verificados y calibrados en las etapas de operación, monitoreo, cierre y post-cierre de la estructura.
- Disponibilidad de acceso a elementos para recuperación de mineral y neutralización de relaves (colas).
- Medio de transporte de los relaves (colas) con el fin de planificar las obras necesarias para su diseño y construcción (canales, tuberías, relaveductos, bandas, vía aérea, entre otros).
- Método de disposición de relaves (colas) (presa o depósito) con el diseño preliminar de la estructura y el método constructivo: (si es Presa: aguas arriba; aguas abajo; llenado central).
- Tipo de disposición de los relaves (colas): convencionales, espesadas, filtradas-secas y en pasta.



Imagen 2

Presa de Relaves de Huancapetf  
(Julio 20 / 2019)  
Autor: Dickens Rondán  
de Wikimedia Commons

# Diseño

La etapa de diseño comienza una vez se realicen los estudios detallados relacionados con el levantamiento de una línea base detallada de conocimiento del sitio seleccionado y definitivo para la ubicación de la presa o depósito de relaves (colas); se realiza paralelamente con la planificación de todos los aspectos y elementos a considerar para la gestión y manejo de los relaves en el desarrollo del proyecto minero.

En esta etapa se elaboran todos los diseños de ingeniería detallada para la construcción, operación, monitoreo y vigilancia, cierre y post cierre de la presa o depósito de relaves e infraestructura asociada.

Los diseños pueden presentar cambios a lo largo del ciclo de vida de la presa o depósito de relaves (colas), que deben sustentarse técnicamente, y ser aprobados por la autoridad minera.

*“En esta etapa se elaboran todos los diseños de **ingeniería detallada** para la construcción, operación, monitoreo y vigilancia, cierre y post cierre de la presa o depósito de relaves e infraestructura asociada.”*



## Lineamiento 1

Establecer criterios para garantizar la estabilidad física de la presa o depósito y estabilidad física y química de los relaves (colas)



### Componente

Estabilidad Física y Química



### Alcance

Los diseños deben realizarse teniendo como objetivo garantizar la estabilidad física de la presa o depósito de relaves (colas), infraestructura asociada, área de influencia y estabilidad física y química de los relaves (colas) almacenados.



### Actividad

Los diseños de ingeniería deben ser ejecutados con base en la información obtenida en la línea base y descrita en los lineamientos de Concepción y Planificación. Una vez se tengan los diseños, el equipo idóneo deberá someterlos a pruebas a través de software que permitan garantizar la estabilidad de la estructura a construir.



### Información Requerida

- Resultados de los estudios de línea base que definieron características químicas de los relaves (colas), materiales de construcción, área de influencia y factores que pueden influir en la ocurrencia de reacciones químicas que causen acidez o generen contaminación del suelo, aire, agua superficial y subterránea.
- Resultados de los estudios de línea base que definieron características físicas de los relaves (colas), materiales de construcción área de influencia donde se realizará la construcción de esta infraestructura y factores identificados que pudiesen afectar la estabilidad física.
- Factores de carga máxima, categoría de consecuencia de falla de la presa o depósito, estabilidad en condiciones estáticas y dinámicas, exposición a eventos (sismos, precipitaciones críticas) proyectados durante todo el ciclo de vida de las estructuras, características del suelo como: resistencia al corte, compresibilidad, permeabilidad, granulometría, entre otros.
- Modelación de escenarios de fallas o procesos que pudiesen generar inestabilidad de la presa o depósito de relaves (colas) e infraestructura asociada, correspondientes a: licuación sísmica, inestabilidad de taludes, deformaciones sísmicamente inducidas, falla por rebose, erosión interna, falla por licuación estática, fallas del suelo de fundación.



## Lineamiento 2

Realizar el diseño de la estructura de contención (presa) o de los terraplenes del depósito, instalaciones, sistemas y tratamientos para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineros



### Componente

Diseños con enfoque hacia el cierre y post cierre.



### Alcance

Elaborar diseños enfocados a las etapas de cierre y post cierre de la presa o depósito de relaves (colas), de tal manera que se cuente con la resistencia requerida para soportar los empujes y cargas durante toda la vida útil del proyecto.



### Información Requerida

- Aspectos preliminares como: identificación de técnicas de recubrimiento, técnicas para prevenir y controlar la erosión hídrica y eólica, estrategias de rehabilitación progresiva durante la etapa de operación y análisis de estabilidad física a largo plazo.
- Vida útil proyectada de la presa o depósito, cantidad de relaves (colas) a disponer, factores sociales y ambientales que se pueden ver afectados a largo plazo.



### Actividad

Los diseños deben ser sometidos a pruebas en software que garanticen su estabilidad a través de los años y específicamente a perpetuidad. Esto implica hacer las simulaciones con eventos climatológicos extremos, así como con fenómenos de sismicidad. Tener en cuenta que el diseño de la presa o depósito se hará para un volumen determinado de relaves y no resulta prudente sobredimensionar la estructura en volumen almacenado.



## Lineamiento 2

Realizar el diseño de la estructura de contención (presa) o de los terraplenes del depósito, instalaciones, sistemas y tratamientos para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineros



### Componente

Capacidad para el Manejo y Gestión de Relaves.



### Alcance

Elaborar diseños que estén acordes al volumen proyectado de generación de relaves (colas) y capacidad de almacenamiento de la presa o depósito.



### Información Requerida

- Tasa de generación y características de los relaves (colas).
- Márgenes de seguridad respecto a condiciones climáticas extremas que generen eventos como precipitación o avenidas torrenciales.
- Capacidad de almacenamiento estimada a partir de la generación proyectada en donde se contemple la construcción progresiva de la presa o depósito de relaves (colas)



### Actividad

La presa o depósito de relaves (colas) deberán diseñarse para un volumen manejado a una periodicidad definida [años por ejemplo]. Por tal motivo, no es conveniente diseñar una presa o depósito en la que se disminuya y en el peor de los casos, se aumente el volumen de almacenamiento bajo el cual fue diseñada la estructura o terraplén. El equipo humano garantizará que el diseño es acorde a los datos de entrada obtenidos en los lineamientos de Concepción y Planificación.



## Lineamiento 2

Realizar el diseño de la estructura de contención (presa) o de los terraplenes del depósito, instalaciones, sistemas y tratamientos para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineros



### Componente

Adecuación del Terreno.



### Alcance

Definir los diseños de las obras relacionadas con la adecuación del terreno para la construcción de la presa o depósito de relaves (colas) e infraestructura asociada.



### Información Requerida

Definición de las obras de adecuación del terreno para la construcción de la presa o depósito de relaves (colas) e infraestructura asociada, las cuales pueden corresponder a excavaciones, perfilamiento de taludes, cortes, rellenos, nivelación del terreno, movimientos de tierra, etc.



### Actividad

La adecuación del terreno corresponde a la excavación, explanación, impermeabilización, rellenos que sean necesarios para sentar la presa o depósito de relaves (colas) en el sitio seleccionado. La adecuación del terreno es clave para garantizar que el diseño cumple con las condiciones de estabilidad en el tiempo que por lo general, puede ser a perpetuidad.



## Lineamiento 2

Realizar el diseño de la estructura de contención (presa) o de los terraplenes del depósito, instalaciones, sistemas y tratamientos para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineros



### Componente

Método Constructivo de la Presa o Depósito de Relaves (Colas)



### Alcance

Realizar el diseño del método seleccionado para la construcción de la presa o depósito de relaves (colas).



### Información Requerida

- Línea base de conocimiento detallada y regional, ubicación seleccionada y criterios definidos para garantizar la estabilidad física de la presa o depósito de relaves (colas).
- En el diseño del método de construcción de la presa o depósito de relaves (colas) se realizará la ingeniería de detalle de las estructuras y obras necesarias según el método seleccionado.
- Diseño del método de impermeabilización que eviten la infiltración de agua en el muro inicial y superficie del suelo de fundación de la presa o depósito de relaves (colas).



### Actividad

Ya conociendo el tipo de relaves que se van a generar, se determinará el tipo de presa que se construirá. Por consiguiente, se definirá el método de construcción, si será aguas arriba, aguas abajo, eje central. Una vez se defina el método, en los diseños se incluirán la ingeniería de detalle con los aspectos base para su construcción como, por ejemplo, altura del muro, borde libre, método de impermeabilización que eviten la infiltración de agua en el muro inicial y superficie del suelo de fundación de la presa o depósito de relaves (colas), afectación por evento hidráulico diseño, aceleración sísmica, simulaciones de estabilidad.



## Lineamiento 2

Realizar el diseño de la estructura de contención (presa) o de los terraplenes del depósito, instalaciones, sistemas y tratamientos para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineros



### Componente

Método de Transporte y Descarga de Relaves (Colas).



### Alcance

Elaborar los diseños de los sistemas de transporte y descarga para la disposición de los relaves (colas).



### Información Requerida

Sistema de transporte y descarga de relaves (colas) definido donde se presente en detalle equipos, componentes, capacidad de transporte, distancia entre los puntos de generación de relaves (colas) y áreas de disposición, y obras necesarias para la puesta en marcha de los sistemas de transporte.



### Actividad

A partir de la información obtenida como línea base en los lineamientos de Concepción y Planificación y buscando la mejor alternativa de transporte y descarga del relave (colas), se diseñará el medio de transporte adecuado, teniendo en cuenta la mínima afectación, la menor distancia y la disposición correcta en la presa o depósito con el fin de evitar que las aguas claras toquen el muro de contención y sean únicamente los sólidos, los que tengan dicho contacto.



## Lineamiento 2

Realizar el diseño de la estructura de contención (presa) o de los terraplenes del depósito, instalaciones, sistemas y tratamientos para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineros



### Componente

Método de Tratamiento de los Relaves (Colas)



### Alcance

Realizar el diseño de los sistemas de tratamiento de relaves (colas) según el tipo de disposición seleccionada, áreas disponibles y manejo planteado.



### Información Requerida

Tratamiento de los relaves (colas) definido donde se garantice la remoción de contaminantes, reducción de humedad y aprovechamiento de agua. Mediante la aplicación de tratamientos como el espesamiento o filtrado de los relaves (colas) donde se contemplan equipos y recursos como: circuito de espesamiento, espesadores, filtros, bandas, bombas centrífugas, alimentador, tanque de almacenamiento temporal y alimentación.



### Actividad

De acuerdo con la caracterización del proceso de beneficio y transformación, se definirá el tipo de tratamiento acorde a los diseños de la estructura de contención y su estabilidad. Se debe tener en cuenta que si los relaves son sometidos a algún tipo de tratamiento (espesados, filtrados, secos, entre otros), disminuye la posibilidad de ruptura de la presa o depósito o muro de contención al liberar el relave del agua con la que sale del proceso de transformación.



## Lineamiento 2

Realizar el diseño de la estructura de contención (presa) o de los terraplenes del depósito, instalaciones, sistemas y tratamientos para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineros



### Componente

Manejo de Aguas Subterráneas y Superficiales.



### Alcance

Diseñar los sistemas de drenaje y recirculación para el manejo de las aguas subterráneas y superficiales.



### Información Requerida

Resultados de los estudios climatológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, hidráulicos, topográficos realizados en la concepción y planificación.



### Actividad

Con base en los caudales que deben manejarse y obtenidos como línea base en los lineamientos de Concepción y Planificación, diseñar las obras de encauzamiento y manejo de las aguas tanto superficiales, provenientes de lluvia y escorrentía como las subterráneas. Lo anterior para garantizar el aislamiento del agua en la estructura de contención de los relaves y minimizando la ocurrencia de eventos de inestabilidad. También es necesario prever los sistemas necesarios para la recirculación del agua proveniente de la laguna de aguas claras.



## Lineamiento 2

Realizar el diseño de la estructura de contención (presa) o de los terraplenes del depósito, instalaciones, sistemas y tratamientos para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineros



### Componente

Métodos de Tratamiento de Agua.



### Alcance

Realizar el diseño de los sistemas de tratamiento de las aguas superficiales y subterráneas, recolectadas en los sistemas de drenaje o la recirculada provenientes de la laguna de decantación de la presa o depósito de relaves (colas).



### Información Requerida

- Resultados de caracterización de agua.
- Caudales.
- Identificación y características de los sistemas de recolección de agua subterránea, superficial y la recirculada de la laguna de decantación de la presa o depósito de relaves (colas).



### Actividad

Los diseños deben tener en cuenta el volumen a manejar y con el análisis fisicoquímico de las aguas, determinar el tratamiento adecuado, ya sea para vertimiento o para reutilización en el proceso de transformación.



## Lineamiento 2

Realizar el diseño de la estructura de contención (presa) o de los terraplenes del depósito, instalaciones, sistemas y tratamientos para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineros



### Componente

Sistemas de Monitoreo.



### Alcance

Realizar el diseño de los sistemas de monitoreo y vigilancia de la estabilidad física de la presa o depósito de relaves (colas).



### Información Requerida

- Características de los equipos, sistemas e instrumentos de monitoreo y vigilancia disponibles.
- Ubicación propuesta de equipos, sistemas e instrumentos tales como mojones topográficos, piezómetros, inclinómetros.
- Características físicas del terreno.



### Actividad

Con base en la información obtenida en los lineamientos de Concepción y Planificación, así como en el diseño de la presa o depósito de relaves (colas) se determinará la instrumentación necesaria a instalar de acuerdo con los riesgos propios de la operación, de la ubicación y de la misma estructura. Asimismo, se definirá su ubicación que permita la toma de datos para las decisiones que se deban tomar en caso de observar algún tipo de anomalía a través de los instrumentos instalados (piezómetros, inclinómetros, mojones de topografía, sensores remotos, entre otros)..



## Lineamiento 2

Realizar el diseño de la estructura de contención (presa) o de los terraplenes del depósito, instalaciones, sistemas y tratamientos para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineros



### Componente

Instalaciones Complementarias.



### Alcance

Realizar diseños de las instalaciones y sistemas complementarios, necesarios para la gestión de la presa o depósito de relaves (colas) e infraestructura asociada.



### Información Requerida

- Áreas de almacenamiento, mantenimiento y monitoreo destinados al manejo y gestión de la presa o depósito de relaves (colas) propuestas.
- Necesidad de instalaciones eléctricas y mecánicas que garanticen la operatividad de los diferentes equipos y sistemas propuestos en la operación de la presa o depósito de relaves (colas) e infraestructura asociada.



### Actividad

Con base en las necesidades de operación de la presa o depósito tales como bombeo, energía, acceso a repuestos e insumos, se debe diseñar la infraestructura para ubicación de bombas, (casetas, obras de captación y vertimiento de aguas), acceso a energía (eléctrica, solar, energía alterna, entre otras), disponibilidad de repuestos (almacén) que permitan la operación de manera permanente e ininterrumpida.

# Construcción Inicial

Se refiere a la construcción de estructuras e infraestructura que deben estar conformadas antes de que comience el descargue de relaves. Esto incluye, por ejemplo, el retiro de vegetación y suelo orgánico, además de la construcción de la presa inicial, tuberías para transporte de relaves, rutas de acceso e infraestructura asociada para el manejo de aguas.<sup>8</sup>

La fase de construcción puede iniciar una vez se tenga la aprobación del instrumento ambiental (licencia ambiental o la aprobación del Plan de Manejo Ambiental PMA) y el documento técnico

minero donde se validen los diseños de las obras a construir, relacionadas con la presa o depósito de relaves (colas).

La construcción inicial corresponde a la ingeniería de terreno donde entra en juego la factibilidad de la alternativa seleccionada, y se completa el diseño detallado de lo que se proyecta construir; se deben cotejar los documentos que contengan los diseños aprobados junto al programa de avance y ejecución de la obra, para lograr un desarrollo ingenieril integral sobre la mejor alternativa de construcción para generar la mayor estabilidad.

8

Tomado y modificado de Canadá - Guía para el Manejo de Depósitos de Relaves. The Mining Association of Canada, 2019.



## Lineamiento 1

Realizar el replanteo de la topografía con inclusión de obras de diseño



### Componente

Validación del Diseño Geométrico, Respecto a la Topografía, Localización de las Estructuras y Obras a Construir



### Alcance

Simular el diseño con base en el replanteo topográfico con énfasis en la ubicación de obras y estructuras a realizar.



### Información Requerida

La comisión de topografía debe materializar en el terreno y en tamaño natural todos los puntos, alineaciones, rasantes, curvas y niveles correspondiente a la infraestructura diseñada, que se extraen de los planos de diseño, para la correcta ejecución del proyecto.



### Actividad

Para materializar los diseños del lineamiento anterior, es necesario que se haga el replanteo y la ubicación de la infraestructura junto con las obras de soporte a la presa o depósito de relaves (colas). La comisión deberá marcar en el terreno, los puntos de inicio de la construcción.



## Lineamiento 2

Adecuar el área de la presa o depósito de relaves (colas) para la implementación de obras.



### Componente

Retiro de la Infraestructura Existente en el Área del Proyecto.



### Alcance

Demoler la infraestructura existente y retirar los residuos.



### Información Requerida

- A. Área de ubicación de la presa o depósito de relaves e infraestructura asociada establecida en los diseños.
- B. Infraestructura existente a demoler.
- C. Área de acopio de residuos y escombros a disponer.
- D. Disponibilidad de empresas encargadas de la gestión y disposición de los residuos generados.



### Actividad

Se debe garantizar que el área objeto de construcción de la presa o depósito y sus obras anexas estén aptas para la actividad. Esto implica retirar, remover o demoler según sea el caso, la infraestructura existente que no sea necesaria para la presa de relaves. Una vez se remueva o se demuela la infraestructura existente, debe disponerse adecuadamente, según la corriente del residuo.



## Lineamiento 2

Adecuar el área de la presa o depósito de relaves (colas) para la implementación de obras.



### Componente

Retiro y acopio de Vegetación y Descapote.



### Alcance

Despejar el área del proyecto para la implementación de las obras e instalaciones relacionadas con la presa o el depósito de relaves (colas) mediante el retiró de vegetación y descapote del suelo que será acopiado para su uso futuro uso en los procesos de revegetalización de las áreas de influencia o ubicación de la presa o deposito de relaves (colas).



### Información Requerida

- A. Área para el almacenamiento y conservación de la capa vegetal..
- B. Características del suelo y vegetación del área.



### Actividad

La presa o depósito debe construirse sobre el suelo de fundación debidamente limpio. La ausencia de material orgánico como capa vegetal y residuos de desmonte de especies arbóreas, arbustivas permitirá dar la estabilidad a las obras que se construirán tales como el muro de contención, las obras complementarias como canales, cunetas, zanjas, entre otros. El material vegetal debe almacenarse en un sitio adecuado que lo preserve para futuras labores de reconformación, restauración y adecuaciones paisajísticas.



### Lineamiento 3

Construir obras de recolección y canalización de aguas superficiales, subsuperficiales y subterráneas.



#### Componente

Construcción de Drenajes Subsuperficiales (Filtros).



#### Alcance

Evacuar mediante un sistema de subdrenaje las aguas freáticas y de infiltración que fluyen a través de los relaves (colas) o por el subsuelo del vaso de la presa o depósito.



#### Información Requerida

Diseño de las obras de encauzamiento de las aguas subsuperficiales



#### Actividad

Para la construcción de los filtros se deberá realizar una excavación acorde con las dimensiones indicadas en el diseño, que se recubrirá con un geotextil no tejido, sobre el cual se dispondrá una tubería perforada y el material pétreo, que deberá quedar completamente "empaquetado".



### Lineamiento 3

Construir obras de recolección y canalización de aguas superficiales, subsuperficiales y subterráneas.



#### Componente

Retiro y acopio de Vegetación y Descapote.



#### Alcance

Despejar el área del proyecto para la implementación de las obras e instalaciones relacionadas con la presa o el depósito de relaves (colas) mediante el retiró de vegetación y descapote del suelo que será acopiado para su uso futuro uso en los procesos de revegetalización de las áreas de influencia o ubicación de la presa o deposito de relaves (colas).



#### Información Requerida

- A. Área para el almacenamiento y conservación de la capa vegetal.
- B. Características del suelo y vegetación del área.



#### Actividad

La presa o depósito debe construirse sobre el suelo de fundación debidamente limpio. La ausencia de material orgánico como capa vegetal y residuos de desmonte de especies arbóreas, arbustivas permitirá dar la estabilidad a las obras que se construirán tales como el muro de contención, las obras complementarias como canales, cunetas, zanjas, entre otros. El material vegetal debe almacenarse en un sitio adecuado que lo preserve para futuras labores de reconformación, restauración y adecuaciones paisajísticas.



### Lineamiento 4

Construcción de la presa o depósito de relaves (colas) con énfasis en la estabilidad física del muro de contención.



#### Componente

Construcción de la Presa o Depósito de Relaves (Colas).



#### Alcance

Conformar el muro de arranque de tal manera que tenga la capacidad requerida para el almacenaje de las colas y la resistencia para soportarlos empujes.



#### Información Requerida

Diseño del muro de arranque que incluya medidas y materiales a ser utilizados en la construcción.



#### Actividad

Construir un muro con material de préstamo analizado y aprobado, el cual se conformará por capas debidamente compactadas y con la humedad indicada en los planos de diseño. En su defecto se puede reemplazar por un muro en concreto ciclópeo, o de gaviones.



### Lineamiento 4

Construcción de la presa o depósito de relaves (colas) con énfasis en la estabilidad física del muro de contención.



#### Componente

Protección de las Caras de los Taludes del Muro de Contención de la Erosión.



#### Alcance

Revestir todas las caras de los muros de contención de la presa o depósito de relaves (colas) para evitar la erosión.



#### Información Requerida

Disponibilidad de materiales y/o técnicas de revestimiento e/o impermeabilización de la presa o depósito.



#### Actividad

Para el revestimiento de la superficie externa de la presa o depósito se pueden utilizar métodos como el de hidrosiembras o concreto lanzado con malla.



### Lineamiento 4

Construcción de la presa o depósito de relaves (colas) con énfasis en la estabilidad física del muro de contención.



#### Componente

Construcción de las Obras de Monitoreo y Control.



#### Alcance

Instalar piezómetros, inclinómetros y mojones de topografía.



#### Información Requerida

Diseños de sistemas de monitoreo y vigilancia.



#### Actividad

A partir de los diseños realizados de los sistemas de monitoreo y vigilancia de la presa o depósito de relaves se deberá realizar la instalación de piezómetros, inclinómetros, mojones de topografía y demás sistemas o equipos definidos para esta actividad.



Imagen 3

Area de presa y mina de Jales  
[Marzo 30 / 2009]  
de Wikimedia Commons

# Operación & Construcción Progresiva

La operación incluye las actividades relacionadas con el transporte, la descarga y el almacenamiento permanente de relaves y, cuando corresponda, efluentes y residuos, y la recuperación del agua de proceso.<sup>9</sup>

En cuanto a la construcción progresiva o en curso, se refiere a como se transportan los relaves y como se descargan en la presa de relaves,

elevando o realizando la presa o estructura de contención de los relaves; o en el caso de las presas se relaciona a cómo se pueden agregar nuevas celdas para relaves según el diseño, o realizar los respectivos muros o diques que contienen la presa, o terraplenes [depósitos]; asimismo, el acondicionamiento del medio de transporte de los relaves en caso que sea necesario.

9

Tomado y modificado de Canadá - Guía para el Manejo de Depósitos de Relaves. The Mining Association of Canada, 2019.



## Lineamiento 1

Caracterización asociada a la estabilidad física de la presa o depósito y a la estabilidad física y química de los relaves (colas).



### Componente

Estabilidad Física (geomecánica y geohidráulica) de los relaves (Colas)



### Alcance

Determinar los parámetros geomecánicos y geohidráulicos de los materiales de la estructura de contención y de los relaves (colas).



### Información Requerida

- A. Estudio geotécnico.
- B. Resultados muestras de los relaves.
- C. Modelo hidrogeológico conceptual y numérico.
- D. Contenido de sólidos, y distribución de tamaños, reología, plasticidad, propiedades de consolidación de los materiales que constituyen la estructura de contención (presa), o del terraplén y de los relaves.



### Actividad

- Realizar el estudio geotécnico enfocado a la estructura de contención (presa) o terraplén (depósito) y a parámetros geomecánicos de los relaves (colas).
- Es necesaria la toma de muestras de los relaves y de varios puntos de la presa o terraplén con el fin de enviar a laboratorio y puedan caracterizarse físicamente (granulometría, humedad, compactación, consolidación, reología).
- Modelo hidrogeológico conceptual y numérico que establezca el comportamiento y la incidencia de las aguas subterráneas sobre la estructura de contención (presa), sobre el terraplén (depósito) y sobre los relaves (colas) almacenados.



### Lineamiento 1

Caracterización asociada a la estabilidad física de la presa o depósito y a la estabilidad física y química de los relaves (colas).



#### Componente

Estabilidad Química (geoquímica) de los relaves (Colas)



#### Alcance

Determinar los parámetros geoquímicos de los relaves (colas).



#### Información Requerida

Mineralogía, manejo del potencial de generación de ácido (p. ej.: cobertura con material húmedo, nivel freático elevado, segregación de sulfuros); y manejo de la lixiviación con pH neutro de metales, metales y no metales.



#### Actividad

Es necesaria la toma de muestras de los relaves y de varios puntos de la presa o del terraplén (depósito) con el fin de enviar a laboratorio y puedan caracterizarse químicamente (contenido de minerales, capacidad de reacción con otros elementos, entre otros).



### Lineamiento 2

Realizar el alistamiento, transporte y descarga de los relaves (colas)



#### Componente

Alistamiento, Transporte y Descarga De Los Relaves (Colas)



#### Alcance

Realizar el alistamiento, transporte y descarga de los relaves (colas) según el método seleccionado para su disposición.



#### Información Requerida

- A. Tratamientos físicos y químicos definidos previo al transporte de los relaves.
- B. Operación del método de transporte definido para la descarga de los relaves hacia la presa o depósito. Esto en caso de ser por tubería, banda, etc. si es por transporte de carga, establecer la ruta y la vía por la que se movilizarán los vehículos con los relaves (colas).
- C. Métodos de descarga.



#### Actividad

Las opciones disponibles para el transporte de relaves incluyen: tuberías (por gravedad o bombeadas), canales, descarga directa (la cabecera del almacenamiento o en un canal natural que conduce al almacenamiento), transportado (para material "seco" o deshidratado mecánicamente) y/o sistemas especializados de transporte. Durante la descarga se debe buscar que el material grueso de los relaves (colas) se deposite en el área continua al muro de contención mejorando la estabilidad de la estructura, el material fino debe encontrarse lo más alejado posible del muro de contención con el fin de minimizar riesgos asociados a inestabilidad de la presa o depósito.



### Lineamiento 3

Revisar el porcentaje de humedad de los relaves almacenados en la presa o depósito.



#### Componente

Volumen de agua y porcentaje de humedad de los relaves (colas) almacenados en la presa o depósito de relaves.



#### Alcance

Controlar periódicamente el volumen del agua y la humedad de los relaves (colas) almacenados, respecto a las especificaciones de diseño definidas.



#### Información Requerida

- A. Volumen y nivel de agua almacenada en la laguna de decantación o aguas claras.
- B. Caracterización periódica de los relaves (colas)



#### Actividad

- A través de inspección visual periódica y de los sistemas de monitoreo y vigilancia establecer la variación en el nivel de agua en la presa o depósito de relaves (colas).
- A partir de las caracterizaciones físico-químicas periódicas de los relaves establecer su contenido de húmedas



### Lineamiento 4

Aumentar la altura y capacidad de la presa o depósito de relaves (colas).



#### Componente

Realce de la presa o depósito de Relaves (Colas)



#### Alcance

Levantar el muro de contención de la presa o el terraplén del depósito según el método constructivo seleccionado durante el diseño.



#### Información Requerida

Definición del método constructivo para continuar con el realce de la presa o depósito de relaves (colas).



#### Actividad

Para llevar a cabo el realce de la presa o del terraplén (depósito) se cuenta con tres métodos constructivos: Aguas arriba, aguas abajo o eje central.

# Cierre

El cierre comienza cuando el descargue o vertimiento de relaves en la cubeta o vaso de la presa o depósito se interrumpe permanentemente. La presa e infraestructura asociada se retiran de servicio y se implementa el plan de cierre, que incluye:

- La transición de las operaciones al cierre permanente.

- Retiro de la infraestructura.
- Cambios en la gestión o el tratamiento de las aguas.
- Reconformación y manejo paisajístico de estructuras de contención y otros elementos.<sup>10</sup>

10

Tomado y modificado de Canadá - Guía para el Manejo de Depósitos de Relaves. The Mining Association of Canada, 2019.



## Lineamiento 1

Actualizar línea base de conocimiento detallada relacionada con la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Topografía



### Alcance

Levantamiento topográfico del sitio de ubicación y área de influencia de la presa o depósito de relaves (colas) de forma detallada, que incluya todos los puntos de ubicación correspondientes a los elementos de la instrumentación y a los mojones de control, para obtener una referencia adecuada precisa para la lectura de información de instrumentación e instalaciones en la etapa de cierre.



### Información Requerida

Actualización del levantamiento topográfico detallado, a escala 1:2000 o mayor, con curvas de nivel cada dos (2) metros, con inclusión de la infraestructura superficial existente (vías, líneas eléctricas, construcciones, etc.), relacionada con la presa o depósitos de relaves (colas).



### Actividad

El levantamiento topográfico se puede lograr a través de una comisión con un equipo de topografía de detalle (GPS GNSS RTK) que tenga la capacidad de tomar la cantidad de puntos para lograr de manera precisa y con todos los elementos existentes tanto de infraestructura como de accidentes geográficos. La topografía de detalle también se puede lograr con sobrevuelos a través de drones tomen la información necesaria y suficiente a detalle para la toma de decisiones.



## Lineamiento 1

Actualizar línea base de conocimiento detallada relacionada con la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Hidrogeología



### Alcance

Actualizar el modelo hidrogeológico numérico como punto de referencia para el monitoreo del recurso hídrico subterráneo en términos de calidad y cantidad, así como la evaluación hidrogeoquímica, hidráulica, e hidrodinámica del área de la presa o depósito de relaves (colas).



### Información Requerida

Actualización de la cartografía detallada a escala 1:2000 o mayor de unidades hidrogeológicas y tipos de acuíferos presentes sobre el área de ubicación de la presa o depósito de relaves (colas); inventario de puntos de agua; parámetros geo hidráulicos (conductividad hidráulica y anisotropía de relaves nuevos y compactados), usos del agua (si los hay); zonas de recarga y descarga y direcciones de flujo, así como la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación.



### Actividad

El modelo hidrogeológico deberá ser una representación en tres dimensiones de las condiciones estáticas y dinámicas de las unidades hidrogeológicas presentes en el área objeto de estudio, junto con la interacción que la presa o depósito de relaves (colas) puede tener con la hidrogeología. La información con la que se elabora el modelo se basa en la geología y su descripción. Con esto queda establecida la posición de los niveles piezométricos. La modelación contiene valores de recarga, las condiciones de los flujos, inventario de puntos de agua, las características hidráulicas como conductividad y si las formaciones son explotadas para otro uso (agricultura, por ejemplo). Esta información debe actualizarse periódicamente.



## Lineamiento 1

Actualizar línea base de conocimiento detallada relacionada con la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Evaluación Geotécnica



### Alcance

Actualizar la caracterización geomecánica con el fin de consolidar el modelo geológico-geotécnico, y simular un análisis de estabilidad en condición estática y dinámica (lluvia, sismo) de los materiales de presa o terraplén (depósito) en su estado de cierre.



### Información Requerida

- Ensayos de laboratorio (parámetros geomecánicos como resistencia al corte, tracción y corte directo y todos aquellos que se consideren necesarios como soporte al cierre del proyecto).
- Caracterización y análisis cinemático para establecer la posibilidad de falla (grietas, movimientos, discontinuidades) para el caso de presas.
- Cartografía detallada a escala 1:2000 o mayor de unidades geológico-geotécnicas.
- Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza, del área de ubicación de la presa o del terraplén (depósito).



### Actividad

Con la topografía detallada que está validada a lo largo de los años y los análisis de laboratorio del suelo de fundación de la presa o depósito de relaves (colas) se procede a través de software, una modelación geotécnica donde se obtengan factores de seguridad en condición estática y dinámica (lluvia o sismo) con el fin de detectar posible inestabilidad de manera temprana y determinar la conveniencia de obras de estabilización de la presa o depósito de relaves (colas) una vez se termina la disposición de los relaves (colas) en la presa o depósito.



## Lineamiento 1

Actualizar línea base de conocimiento detallada relacionada con la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Hidrología  
e Hidrografía



### Alcance

Actualizar la información hidroclimatológica (caudal, precipitación, evaporación); y la correspondiente al régimen hidrológico predominante (máximos, mínimos y dominantes); e identificar cuerpos de agua impactados para determinar su influencia en la presa o depósito de relaves (colas).



### Información Requerida

- Actualización de la cartografía detallada a escala 1:2000 o mayor que incluya la identificación de cuerpos lénticos y lóticos (corriente de divagación) y sus zonas de recarga (si existen los cuerpos de agua).
- Caracterización fisicoquímica e hidrobiológica de las corrientes hídricas del área de influencia.
- Tomar parámetros de acuerdo con el uso final establecido (agrícola, recreativo, etc. de acuerdo con el Decreto 1076 de 2015) y los mencionados en la Resolución 631 de 2015. (vertimientos) como información base para determinar su estado.
- Usos proyectados del agua que se pueden ver afectados por el cierre de la presa o depósito (captación, generación de energía, riego, recreación, etc.).
- Identificar y solucionar conflictos sobre disponibilidad y uso del agua.



### Actividad

Los datos obtenidos de las estaciones oficiales (hidrometeorología) a lo largo de los años de operación de la presa o depósito de relaves e incluso, años antes de construida la presa (información recolectada en el lineamiento de Planificación) deben contener información de picos presentes en escalas de tiempo (como mínimo debe contener un periodo de retorno en los que se puede incluir información de 50 años en adelante. Esto con el fin de analizar y verificar la periodicidad de eventos extremos climáticos y su influencia en los cuerpos de agua presentes en la zona de estudio. Asimismo, relacionar el análisis con el comportamiento de los cuerpos de agua existentes y que fueron fuentes receptoras de vertimientos de las aguas de la presa o depósito de relaves (colas).



## Lineamiento 2

Actualizar la caracterización asociada a la estabilidad física y química de los relaves (colas)



### Componente

Estabilidad Física  
(geomecánica y geohidráulica)  
de los relaves (Colas)



### Alcance

Determinar los parámetros geomecánicos y geohidráulicos de los materiales de la estructura de contención y de los relaves (colas).



### Información Requerida

Contenido de sólidos, y distribución de tamaños, reología, plasticidad, propiedades de consolidación de los materiales que constituyen la estructura de contención (presa) o terraplén (depósito) y de los relaves.



### Actividad

- Estudio geotécnico enfocado a la estructura de contención (presa) o terraplén (depósito).
- Estudio geotécnico enfocado a conocer los parámetros geomecánicos de los relaves (colas).
- Es necesaria la toma de muestras de los relaves y de varios puntos de la presa o del terraplén (depósito) con el fin de enviar a laboratorio y puedan caracterizarse físicamente (granulometría, humedad, compactación, consolidación, reología).
- Modelo hidrogeológico conceptual y numérico que establezca el comportamiento y la incidencia de las aguas subterráneas sobre la estructura de contención (presa), sobre el terraplén (depósito) y sobre los relaves (colas) almacenados.



## Lineamiento 2

Actualizar la caracterización asociada a la estabilidad física y química de los relaves (colas)



### Componente

Estabilidad Química (geoquímica) de los Relaves (Colas)



### Alcance

Determinar los parámetros geoquímicos de los relaves (colas).



### Información Requerida

Mineralogía, manejo del potencial de generación de ácido (p. ej.: cobertura con material húmedo, nivel freático elevado, segregación de sulfuros); y manejo de la lixiviación con pH neutro de metales, metaloides y no metales.



### Actividad

Es necesaria la toma de muestras de los relaves y de varios puntos de la presa o del terraplén (depósito) con el fin de enviar a laboratorio y puedan caracterizarse químicamente (contenido de minerales, capacidad de reacción con otros elementos, entre otros).



## Lineamiento 3

Desmantelar, rehabilitar y recuperar áreas afectadas



### Componente

Construcción de Obras Adicionales (zanjas con ductos, derivaciones del agua)



### Alcance

Garantizar que las obras hidráulicas construidas durante la operación estén conformadas adecuadamente o en su defecto construir ampliaciones, derivaciones y todas las obras que sean necesarias para prevenir eventos de riesgo.



### Información Requerida

Definir obras para robustecer la eficiencia del drenaje superficial para concentrar los flujos, y para minimizar la erosión (vía roca cubierta y / o vegetación).



### Actividad

Es necesario ejecutar diseños de las obras complementarias para garantizar un cierre exitoso de la presa o depósito. Los diseños se ejecutarán con base en el estado de la presa o depósito al momento del cierre y teniendo en cuenta los volúmenes de agua a manejar. Con el diseño disponible, se procederá a construir las obras adicionales para manejo de aguas en la etapa de cierre de la presa o depósito de relaves (colas).



### Lineamiento 3

Desmantelar, rehabilitar y recuperar áreas afectadas



#### Componente

Desmantelamiento y Demolición



#### Alcance

Demolición de las estructuras remanentes después del desmantelamiento.



#### Información Requerida

Establecer la necesidad de demoler obras e instalaciones asociadas directamente a la presa o depósito de relaves (colas) que no hagan parte del uso futuro en el plan de cierre.



#### Actividad

Las obras que no servirán a la presa o depósito en su fase de cierre deben ser demolidas con el objeto de disminuir y en lo posible, eliminar el impacto paisajístico que puedan generar. De acuerdo con su ubicación y su tamaño, se utilizará maquinaria o serán demolidas de manera manual. Los residuos generados en la demolición deben ser dispuestos según el tipo de corriente del mismo.



### Lineamiento 4

Documentar la información técnica, ambiental y socio económica relacionada con el cierre de la presa o depósito de relaves (colas)



#### Componente

Entrega de Registro y Soportes Documentales del Cierre de la Presa o Depósito de Relaves



#### Alcance

Elaborar un documento que integre la información técnica sobre la etapa de cierre de la presa o depósito de relaves (colas) como soporte ante una rendición de cuentas al público general y a la institucionalidad local, regional y nacional.



#### Información Requerida

Estrategias de cierre para la presa o depósito que incluyan el uso planificado del terreno luego del cierre e información de seguimiento requerida, recopilación de datos, gestión de análisis y registros, problemas específicos y responsables.



#### Actividad

El documento técnico debe contener el soporte de ingeniería bajo el cual se construyó y se operó la presa o el depósito, de tal manera que se considere como una línea base para la nueva etapa de cierre por la que pasará la estructura o terraplén. El soporte de ingeniería será validado por el equipo técnico que planificó, diseñó, construyó y cerró la presa o el depósito de relaves (colas).

# Post Cierre

El post cierre se refiere al período posterior al cierre de la mina donde se espera que la presa o depósito de relaves logre una estabilidad física; y los relaves obtengan su propia estabilidad física y química, y se entregue la instalación a un entorno bajo parámetros de seguridad y sostenibilidad en el largo plazo.



## Lineamiento 1

Entrega de actividades, instalaciones, obras y resultados de la etapa de cierre



### Componente

Mitigar, Controlar y Compensar Impactos Socioeconómicos Causados por el Cierre



### Alcance

Definir junto con las autoridades locales y comunidades, los resultados de la etapa de cierre; y evaluar la efectividad de la propuesta del uso futuro, que podrían tener las áreas intervenidas. Además, se debe establecer lo correspondiente a la recepción de áreas y acordar las responsabilidades.



### Información Requerida

- A. Información obtenida desde la planificación, diseño, operación y cierre de la presa o depósito de relaves.
- B. Registros de vigilancia y monitoreo.
- C. Datos históricos de la presa o depósito de relaves.
- D. Actividades desarrolladas.



### Actividad

Con base en la información obtenida desde la planificación, diseño, operación y cierre de la presa o depósito de relaves, así como las actividades de monitoreo necesarias en la etapa de post cierre, se entrega un documento técnico que incluya la historia de la presa o depósito de relaves (colas) y las actividades, junto con la periodicidad de las mismas, relacionadas con monitoreo y mantenimiento que deben ejecutarse, de acuerdo al uso post minero dado a la presa o depósito de relaves.



## Lineamiento 2

Actualizar la información técnica, ambiental y socio económica relacionada con el post- cierre de las presas o depósito de relaves (colas)



### Componente

Entrega de Registro y Soportes Documentales del Post Cierre de la Presa o Depósito de Relaves



### Alcance

Elaborar un documento que integre la información técnica sobre la etapa de post cierre de la presa o depósito de relaves (colas) como soporte ante una rendición de cuentas al público general y a la institucionalidad local, regional y nacional.



### Información Requerida

Documento técnico que incluya la hoja de vida de la presa o depósito de relaves (colas). Esto incluye, memorias de diseño, de construcción, de operación, mantenimiento y monitoreo, así como del cierre.



### Actividad

Documentar la estrategia del post cierre para la presa, que incluya el uso planificado del terreno luego del cierre e información de seguimiento requerida, recopilación de datos, gestión de análisis y registros, problemas específicos y responsables.



Imagen 4

Presas de relaves de Antamina, Perú  
(Mayo 29 / 2010)  
Autor: Paulo Tomaz / Xtremizta [flickr]  
de [Wikimedia Commons](#)



# Mantenimiento

El mantenimiento se realiza desde la construcción inicial hasta el cierre y post cierre de las presas o depósitos de relaves (colas), este incluye actividades preventivas, predictivas y correctivas que se llevan a cabo para facilitar la operación correcta y continua de toda la infraestructura con el fin de garantizar la estabilidad física de las estructuras, y la estabilidad física y química de los relaves depositados.

*“Este incluye **actividades preventivas, predictivas y correctivas** que se llevan a cabo para facilitar la operación correcta y continua de toda la infraestructura [...]”*



## Lineamiento 1

Realizar actividades de mantenimiento para preservar la operatividad y estabilidad de la presa o depósito de relaves (colas) e infraestructura asociada a lo largo de su ciclo de vida



### Componente

Mantenimiento Preventivo



### Alcance

Realizar el mantenimiento preventivo de las estructuras, equipos, sistemas necesarios para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineras.



### Información Requerida

Plan de mantenimiento preventivo.



### Actividad

Desarrollar actividades de mantenimiento preventivo a partir de información de hojas de vida de equipos, vida útil de los mismos, especificaciones del fabricante o proveedor, con el fin de facilitar la operación correcta y continua de toda la infraestructura (civil, mecánica, eléctrica, de instrumentación, etc.). Por ejemplo, se entiende por mantenimiento preventivo el realizado a bombas eléctricas, y calibración de equipos de monitoreo.



### Lineamiento 1

Realizar actividades de mantenimiento para preservar la operatividad y estabilidad de la presa o depósito de relaves (colas) e infraestructura asociada a lo largo de su ciclo de vida



#### Componente

Mantenimiento Predictivo



#### Alcance

Realizar el mantenimiento predictivo de las estructuras, equipos, sistemas necesarios para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineras.



#### Información Requerida

Plan de mantenimiento predictivo.



#### Actividad

Desarrollar actividades de mantenimiento predictivo llevado a cabo en respuesta a los resultados de las actividades de monitoreo que miden la condición de un componente específico en comparación con los criterios de desempeño; por ejemplo, el remplazo de una tubería para el transporte de relaves (colas) que no cuenta con el espesor mínimo permitido, retiro de vegetación de las presas, terraplenes y otros tipos de estructuras.



### Lineamiento 1

Realizar actividades de mantenimiento para preservar la operatividad y estabilidad de la presa o depósito de relaves (colas) e infraestructura asociada a lo largo de su ciclo de vida



#### Componente

Mantenimiento Correctivo



#### Alcance

Realizar el mantenimiento correctivo de las estructuras, equipos, sistemas necesarios para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineras.



#### Información Requerida

Plan de mantenimiento correctivo



#### Actividad

Desarrollar las actividades de mantenimiento correctivo como respuesta al hallazgo de fallas, daños, desgastes, realizados durante el monitoreo y vigilancia cuya ejecución según lo evidenciado puede ser de carácter inmediato.

# Monitoreo y Vigilancia

El monitoreo incluye la inspección y en sí, lo que se denomina monitoreo (es decir, la recopilación de observaciones y datos cualitativos y cuantitativos) de las actividades y la infraestructura en relación con el manejo de relaves. El monitoreo también incluye la documentación, el análisis y la comunicación oportuna de los resultados del monitoreo para aportar información a la toma de decisiones y verificar si se cumple con los objetivos de desempeño y de gestión del riesgo, incluidos los controles críticos.<sup>11</sup>

El monitoreo del comportamiento de una pre-

sa o depósito de relaves (colas) inicia a partir del diseño de los instrumentos que se instalarán en la fase de construcción inicial; y la recolección de datos se da desde la misma construcción, pasando por la operación hasta el cierre y post-cierre.

El monitoreo no solo incluye instrumentación y toma de datos; también involucra ensayos de laboratorio periódicos; y toda la información debe integrarse en un análisis multitemporal que conlleve a la construcción de modelos, generando alertas tempranas, para garantizar la estabilidad de la estructura.

11

Canadá. Guía para el Manejo de Depósitos de Relaves. The Mining Association of Canadá, 2019.



## Lineamiento 1

Diseñar y ejecutar un programa de monitoreo, vigilancia y verificación periódica mediante la toma de datos que permitan controlar la estabilidad física la presa o depósito de relaves y estabilidad física y química de los relaves durante su ciclo de vida



### Componente

Monitoreo y Vigilancia a la Presa o Depósito de Relaves (Colas)



### Alcance

Diseñar un documento técnico que describa cada uno de los procedimientos para la toma de datos relacionados con la actualización y realimentación del análisis de estabilidad de la estructura de contención (dique, muro, cimientos, obras hidráulicas) o terraplenes perimetrales (depósitos), así como la periodicidad tanto de la toma de datos como de su análisis integral.



### Actividad

Con base en la información requerida, es necesario hacer un plan que defina los instrumentos a instalar, la cantidad, la periodicidad con la que se tomarán los datos, y frecuencia de análisis de los mismos. Dicho análisis permitirá la toma de decisiones en caso de encontrar datos anómalos, adversos a la operación de la presa o depósito.



### Información Requerida

- Control topográfico periódico.
- Toma periódica de datos de instrumentación: inclinómetros, piezómetros, extensómetros, acelerómetros, medidores de asentamiento y los que se consideren necesarios para obtener información.
- Verificación periódica de las características geomecánicas de la estructura que compone la presa o terraplén (depósito) (ensayos de laboratorio).
- Modelación geotécnica que incluya el análisis de estabilidad en condición estática y dinámica (lluvia o sismo) como alerta temprana para evitar eventos no deseados (flujos de colas por ruptura de la presa o depósito); remoción en masa por inestabilidad.
- El manual de operación, monitoreo y vigilancia debe contener los formatos de registro de los datos tomados con su correspondiente análisis para discusión interna, presentación ante las autoridades, partes interesadas y comunidad en general.

2 Monitoreo y Vigilancia

B



### Lineamiento 1

Diseñar y ejecutar un programa de monitoreo, vigilancia y verificación periódica mediante la toma de datos que permitan controlar la estabilidad física la presa o depósito de relaves y estabilidad física y química de los relaves durante su ciclo de vida



#### Componente

Monitoreo y Vigilancia a las Características Físicas y Químicas de los Relaves (Colas)



#### Alcance

Ejecutar la caracterización fisicoquímica de los relaves (colas) almacenadas y de las aguas en la presa o depósito (decantadas).



#### Actividad

Estructurar un plan de monitoreo a los relaves donde se definan los parámetros a monitorear, la frecuencia de toma de datos, así como la frecuencia del análisis por parte del equipo técnico de manejo y operación de la presa o depósito. Esto permitirá garantizar que los relaves se mantienen en cuanto su composición [propender por convertirlos en un residuo y no en subproductos que sea necesario reprocesarlos para obtener más mineral].



#### Información Requerida

- A. Batimetría para calcular volumen de sólidos sedimentados y espejo de agua.
- B. Características físicas asociadas a la mineralogía, granulometría, compactación, reología y humedad de los relaves (colas).
- C. Alimentación del modelo hidrogeológico para prevenir o minimizar una potencial afectación a las aguas subterráneas. Este debe soportarse en las características hidrogeoquímicas de los relaves (colas) y su potencial de generación de drenaje ácido o alcalino.
- D. Detección de filtraciones.

2 Monitoreo y Vigilancia

C



### Lineamiento 1

Diseñar y ejecutar un programa de monitoreo, vigilancia y verificación periódica mediante la toma de datos que permitan controlar la estabilidad física la presa o depósito de relaves y estabilidad física y química de los relaves durante su ciclo de vida



#### Componente

Monitoreo y vigilancia a las aguas superficiales y subterráneas.



#### Alcance

Ejecutar periódicamente un balance hídrico y analizar los resultados. El balance deberá contener la información relacionada con aguas superficiales (entradas y salidas, cuerpos de agua, precipitaciones, escorrentías, obras de encauzamiento de aguas), y las aguas subterráneas (direcciones de flujo, nivel freático, aguas subsuperficiales) de tal manera que se conozca de manera específica los volúmenes de agua que interactúan con la operación de la presa o depósito, así como su manejo en condiciones de rutina y ante eventos relacionados con Cambio Climático (Fenómeno del Niño, o de la Niña).



#### Actividad

Ejecutar periódicamente un balance hídrico y analizar los resultados. El balance deberá contener la información relacionada con aguas superficiales (entradas y salidas, cuerpos de agua, precipitaciones, escorrentías, obras de encauzamiento de aguas), y las aguas subterráneas (direcciones de flujo, nivel freático, aguas subsuperficiales) de tal manera que se conozca de manera específica los volúmenes de agua que interactúan con la operación de la presa o depósito, así como su manejo en condiciones de rutina y ante eventos relacionados con Cambio Climático (Fenómeno del Niño, o de la Niña).



#### Información Requerida

- A. Resultados del balance hídrico que debe contener la información de entradas y salidas, cuerpos de agua, precipitaciones, escorrentías, obras de encauzamiento de aguas (aguas superficiales) y también debe contener la información relacionada con las direcciones de flujo subterráneas, nivel freático, flujos de aguas subsuperficiales (aguas subterráneas) con el fin de conocer el volumen de agua que entra en el inventario de la operación de la presa o depósito.
- B. Registros y proyecciones eventos extremos relacionados con el Cambio Climático (Fenómeno Niño, Niña).



### Lineamiento 1

Diseñar y ejecutar un programa de monitoreo, vigilancia y verificación periódica mediante la toma de datos que permitan controlar la estabilidad física la presa o depósito de relaves y estabilidad física y química de los relaves durante su ciclo de vida



#### Componente

Monitoreo y Vigilancia del Área de Influencia



#### Alcance

Implementar el manejo de las aguas superficiales y verificar el comportamiento de las aguas subterráneas y el estado de suelos.



#### Actividad

Es importante que el proyecto minero, dentro de su equipo de gestión social, cuente con personal idóneo para desarrollar la actividad de levantamiento de información de campo donde se determine el estado de la infraestructura presente y su relación con la presa o depósito de relaves (colas), el grado de afectación que se pueda presentar, así como el concepto que las partes interesadas y grupos de interés tiene frente al proyecto.



#### Información Requerida

- A. Actas de vecindad periódicas con el fin de tener acceso al conocimiento de la presa o depósito por parte del área de influencia y posible recolección de evidencias que permitan detectar a tiempo algún fenómeno de inestabilidad relacionado con la evolución de la presa o depósito. Características físicas asociadas a la mineralogía, granulometría, compactación, reología y humedad de los relaves (colas).
- B. Datos de instrumentación instalada en el área de influencia del proyecto (piezómetros, identificación de cambios en el nivel freático).



### Lineamiento 1

Diseñar y ejecutar un programa de monitoreo, vigilancia y verificación periódica mediante la toma de datos que permitan controlar la estabilidad física la presa o depósito de relaves y estabilidad física y química de los relaves durante su ciclo de vida



#### Componente

Responsabilidad del Monitoreo y Vigilancia



#### Alcance

Registrar toda la información recolectada a través de un manual de operación, monitoreo y vigilancia, con los datos obtenidos en los registros de monitoreo, junto con los análisis de (estabilidad y, los correspondientes a los análisis multitemporales).



#### Actividad

Se debe definir un equipo interdisciplinario que tenga la capacidad de analizar la información recolectada a través de instrumentación, de ensayos de laboratorio e información recopilada en campo desde el punto de vista social con el fin de tomar decisiones en caso que se requiera. Un ejemplo puede ser la instalación de más instrumentos de medición, el cambio en la periodicidad de la toma de datos, entre otros, todo de acuerdo a las conclusiones arrojadas de dicho análisis.



#### Información Requerida

Análisis de estabilidad física de la estructura (presa de relaves (colas)) o terraplén (depósito) junto con el registro de los datos tomados en campo a través de pruebas de laboratorio e instrumentación instalada; estos deben ser presentados a las autoridades competentes para su evaluación.



# Gestión del Riesgo

La gestión del riesgo es una Línea Estratégica transversal imprescindible en cada una de las etapas del ciclo de vida de la presa o depósito de relaves (colas), ya que en esta se identifica, analiza, maneja, gestiona y responde a los riesgos generados, evitando la ocurrencia de fallas o colapsos que puedan ocasionar resultados catastróficos.

La gestión del riesgo se enmarca desde la concepción hasta el post-cierre del proyecto y es una herramienta clave para la toma de decisiones en las fases de construcción inicial, operación, construcción progresiva y cierre del proyecto. Se trata de construir una estructura aplicando la tecnología más adecuada y con las mejores prácticas, de tal manera que se controlen, se disminuyan, se minimicen o se eliminen, si es posible, los riesgos inherentes a la operación de la presa o depósito de relaves (colas) a través de un manejo adecuado, acorde con la evaluación periódica de los riesgos que direcciona las actividades hacia el cumplimiento de los objetivos (capacidad estimada, seguridad, estabilidad, entre otros).

Es importante mencionar que las presas de relaves (colas) tienen un alto riesgo, pero deben llevarse a niveles aceptables a través de la definición de

la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias de una posible falla.

La evaluación periódica de los riesgos debe incluir parámetros relacionados con el riesgo por:

- ▶ Sismos.
- ▶ Avenidas torrenciales e inundaciones.
- ▶ Eventos de remoción en masa.
- ▶ La misma estructura (físico).
- ▶ Su contenido (estabilidad física y química de los relaves).

La gestión de riesgo debe documentarse y contener los resultados de la evaluación de riesgos (eliminarlos, evitarlos, mitigarlos, controlarlos según sea el caso); asimismo, debe contener las medidas para reducir o disminuir las consecuencias ante una condición de riesgo existente.

La gestión de riesgo debe revisarse periódicamente y de ser necesario, actualizarse en caso que existan cambios en cualquiera de las fases del proyecto, asociados a la vida útil de la mina, suspensión de actividades, cambio en las características de los relaves, cambios en la tecnología utilizada, entre otros.



## Lineamiento 1

Generar medidas de control y prevención para disminuir la probabilidad de ocurrencia de eventos no deseados, y planes de acción ante emergencias derivadas de la materialización de riesgos identificados relacionados con la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Conocimiento, Identificación, Análisis y Evaluación del Riesgo



### Alcance

Identificar eventos amenazantes sobre la estructura, actividades y obras que soporten la construcción, operación y mantenimiento de la presa o depósito de relaves (colas); definir áreas de afectación, y realizar un análisis del riesgo.



### Actividad

Diseñando y ejecutando el Plan de Gestión del Riesgo, de acuerdo con el marco legal vigente (decreto 2157 del 17 de diciembre de 2017, mediante el cual se diseñan los planes de gestión del riesgo de desastres en entidades públicas y privadas).



### Información Requerida

- A. Tipo de eventos amenazantes: naturales, antrópicos, y operacionales como sismos, precipitaciones críticas, o existencia de drenaje ácido - alcalino, así como posibles amenazas asociadas a condiciones climáticas.
- B. Consecuencias (inundación, deslizamientos, ruptura de presa o terraplenes).
- C. Identificación de posibles causas, detonantes y tipos de fallas en la estructura de contención, terraplenes, o macizos.
- D. Probabilidad de ocurrencia para cada evento amenazante identificado.
- E. Cartografía a escala 1:2000 o mayor que incluya las áreas de posibles eventos identificados e integrarlos con la zonificación de los eventos amenazantes y la identificación de elementos vulnerables.
- F. Identificación de elementos vulnerables como centros poblados, infraestructura social, bienes de interés cultural, acuíferos, áreas ambientalmente sensibles, bocatomas, etc.



### Lineamiento 1

Generar medidas de control y prevención para disminuir la probabilidad de ocurrencia de eventos no deseados, y planes de acción ante emergencias derivadas de la materialización de riesgos identificados relacionados con la presa o depósito de relaves (colas)



#### Componente

Plan de Reducción del Riesgo



#### Alcance

Elaborar el Programa de Gestión del Riesgo con políticas y estrategias para prevenir y reducir los riesgos y minimizar los efectos negativos.



#### Información Requerida

- A. Medidas de prevención y mitigación para disminuir la probabilidad de ocurrencia de eventos amenazantes con el fin de minimizar los daños y pérdidas que pueden materializarse.
- B. Técnicas para garantizar la prevención o disminución del deterioro del agua y contaminación del suelo.



#### Actividad

Diseñando y ejecutando el Plan de Gestión del Riesgo, de acuerdo con el marco legal vigente (decreto 2157 del 17 de diciembre de 2017, mediante el cual se diseñan los planes de gestión del riesgo de desastres en entidades públicas y privadas)



### Lineamiento 1

Generar medidas de control y prevención para disminuir la probabilidad de ocurrencia de eventos no deseados, y planes de acción ante emergencias derivadas de la materialización de riesgos identificados relacionados con la presa o depósito de relaves (colas)



#### Componente

Plan de Manejo de Contingencias



#### Alcance

Priorizar los elementos a proteger y definir un programa de entrenamiento para el personal responsable de la aplicación del Plan de Manejo de Contingencias, así como su respectiva socialización sobre equipos de apoyo para atender las contingencias.



#### Información Requerida

- A. Cartografía a escala 1:2000 o mayor que ubique las áreas de riesgo y localización de equipos necesarios para atender contingencias.
- B. Articulación del plan de manejo de la contingencia con sus equivalentes locales, departamentales y regionales.
- C. Ejecución del plan de capacitación y divulgación sobre el plan de manejo de contingencias.
- D. Ejecución de simulacro (mínimo uno al año) involucrando a las partes interesadas (comunidad).



#### Actividad

Diseñando y ejecutando el Plan de Gestión del Riesgo, de acuerdo con el marco legal vigente (decreto 2157 del 17 de diciembre de 2017, mediante el cual se diseñan los planes de gestión del riesgo de desastres en entidades públicas y privadas)

# Gestión del Cambio

La gestión del cambio hace referencia a la capacidad de los responsables del manejo de las presas o depósitos de relaves (colas), a responder adecuadamente ante los cambios y modificaciones generadas respecto a la planificación y diseños iniciales realizados para la gestión de estas estructuras a lo largo de su ciclo de vida.

*“[...] responder adecuadamente ante los cambios y modificaciones generadas respecto a la planificación y diseños iniciales realizados para la gestión de estas estructuras a lo largo de su ciclo de vida.”*



## Lineamiento 1

Contemplar y prever cambios y modificaciones que se presenten a lo largo del ciclo de vida de la presa o depósito de relaves (colas)



### Componente

Factores, Aspectos y Actividades que pueden Generar Cambios y Modificaciones Relevantes



### Alcance

Adaptarse de manera adecuada a los cambios, modificaciones y afectaciones que se puedan presentar a lo largo del ciclo de vida de la presa o depósito de relaves (colas).



### Actividad

Cualquier cambio ejecutado sobre las actividades ya descritas debe quedar debidamente documentado y justificado técnicamente con el fin de tener el argumento adecuado que garantiza la estabilidad de la estructura y es soporte de la toma de decisiones para ejecutar los cambios descritos.



### Información Requerida

- Desde la concepción, planificación y diseño hasta las etapas de cierre y post cierre se deben contemplar los posibles cambios y modificaciones en actividades, aspectos y parámetros establecidos inicialmente que modifiquen las condiciones previstas en la gestión y manejo de los relaves (colas) y sus obras conexas.
- La gestión del cambio debe incluir un plan de sucesión para los roles esenciales relacionados con el manejo de relaves, lo que incluye responsable(s) de la gestión y el registro(s) y auditores independientes.
- Se deben revisar los cambios que podrían afectar el perfil de riesgo de una presa o depósito de relaves (colas) y evaluar los impactos potenciales.
- Documentar los cambios propuestos o realizados y evaluar sus riesgos en las fases actual y futura del ciclo de vida de la presa o depósito de relaves (colas).



# Economía Circular

La economía circular busca reutilizar lo que normalmente se conoce como un residuo y darle su respectivo valor, y para el caso de presas o depósitos de relaves, no necesariamente es darle un valor económico. Es el valor que el relave puede darle al proyecto al ser utilizado para controlar efectos de la minería como, por ejemplo, la subsidencia generada en labores mineras subterráneas que puede ser controlada a través de la disposición de relaves secos o filtrados por retrolleado, previo conocimiento de su condición y garantizando que no existan reacciones con las rocas encajantes.

La economía circular en minería abre la posibilidad de disminuir la huella de los proyectos y los posibles riesgos que esto conlleva como generación y aumento de procesos erosivos, aparición de procesos de inestabilidad en la es-

tructura de contención de los relaves, al no ser necesario construirlas y buscar alternativas que permitan generar valor a través de un segundo uso, una vez se haya extraído el o los minerales objeto de los procesos de explotación, beneficio y transformación.

Existen alternativas en el mundo que se enfocan en la utilización de los relaves en mejoramiento de vías en áreas de influencia de los proyectos mineros, elaboración de piezas de construcción como ladrillos, baldosas y otros elementos como postes; el uso en el concreto al agregarle un porcentaje de relave seco a las mezclas; las artesanías, entre otros pero no sin antes hacer el análisis específico del contenido y de la interacción que pueda tener su composición con el sitio o uso futuro que quiera y que sea posible darle al relave.



## Lineamiento 1

Generar medidas para el reprocesamiento de relaves (colas) para la obtención de minerales de mena



### Componente

Reprocesamiento de Relaves (Colas) para Extraer Minerales de Mena



### Alcance

Lograr un aprovechamiento y optimización de minerales de mena en los relaves (colas) depositados.



### Información Requerida

Mineralógicamente los materiales de los relaves (colas) con el fin de conocer la existencia y concentración de minerales de mena, y su potencial aprovechamiento a partir de la reprocesamiento.



### Actividad

Enviar a un laboratorio acreditado las muestras que sean representativas de relaves y determinar si existe alguna posibilidad de reutilización. Existen diversas alternativas como, por ejemplo, material de relleno en labores subterráneas abandonadas, utilización como materiales de construcción, elaboración de piezas como baldosas y ladrillos, mantenimiento de vías, entre otros.



## Lineamiento 2

Utilizar relaves (colas) mediante el método de retrolleado para sellar labores subterráneas en etapa de cierre



### Componente

Uso de Relaves (Colas) como Material de Relleno en el Cierre de Labores Subterráneas



### Alcance

Disminuir volúmenes de almacenamiento y la huella superficial.



### Información Requerida

Potencialidad de utilizar los relaves para rellenar y sellar túneles y frentes subterráneos del propio proyecto minero o proyectos cercanos.



### Actividad

Enviar a laboratorio acreditado las muestras que sean representativas de relaves y determinar si existe alguna posibilidad de reutilización en retrolleado de labores subterráneas propias del proyecto minero.



## Lineamiento 3

Evaluar, investigar e implementar procesos para el reuso de relaves (colas) como materiales de construcción



### Componente

Reusó de Relaves (Colas) como Materiales de Construcción



### Alcance

Utilizar otros minerales que componen los relaves (colas) como materiales de construcción o elementos para fabricación de ladrillos, postes, baldosas, etc.



### Información Requerida

Mineralógicamente los materiales de los relaves (colas) con el fin de conocer la existencia de minerales y materiales útiles como materia prima para la construcción de obras civiles y de infraestructura.



### Actividad

Enviar a laboratorio acreditado las muestras que sean representativas de relaves y determinar sus características físicas y sus resultados deberán ser comparados con las normas para la utilización de materiales de construcción en concretos y asfaltos, siendo el uso más común. También, verificar con marco normativo si es posible utilizar los relaves en el mantenimiento de la infraestructura vial (bases, sub-bases por ejemplo, mezcladas con otro tipo de materiales para garantizar su competencia.



### Lineamiento 4

Reutilización de aguas de laguna de decantación o la recolectada en los sistemas de drenaje e infiltración



#### Componente

Reúso de aguas como insumo para el proceso de transformación de los minerales



#### Alcance

Efectuar caracterización fisicoquímica de las aguas claras que sobrenadan en la presa o depósito y analizar su utilización en el proceso de transformación del mineral, de tal manera que se disminuya el consumo de agua limpia o fresca. Se debe asegurar que el agua es reutilizada, a excepción, de las aguas que se evaporan.



#### Información Requerida

- A. Caracterización físico química del agua almacenada y recolectada.
- B. Necesidad de suministro de agua.



#### Actividad

Se debe realizar la caracterización del agua almacenada en la laguna de aguas claras y la proveniente de los sistemas de drenaje e infiltración para su posterior tratamiento y utilización en los procesos y actividades del proyecto minero.



Imagen 5

Presa de relaves Sierra Antapite, Perú  
[Junio 13 / 2019]  
de [Wikimedia Commons](#)



# 07

## Conclusiones

Cada obra o instalación de una presa o depósito de relaves (colas) es única y particular; las condiciones del lugar, las características del mineral y otros aspectos integrales de cada yacimiento dictan la tecnología y las soluciones de disposición y almacenamiento más adecuado de los relaves (colas). Aunque no existe un diseño ni práctica operativa que puedan ser adoptados universalmente, la industria procura mejorar continuamente y desarrollar técnicas y nuevas tecnologías y aplicarlas como corresponda.

Las Líneas Estratégicas de Concepción, Planificación, y Diseño de una presa o depósito de relaves (colas) se convierten en pilares para su gestión, ya que se definen aspectos fundamenta-

les que se tendrán en cuenta en la Construcción y hasta el Post Cierre, incorporando enfoques interdisciplinarios en sus Lineamientos, y la participación de las comunidades y del Estado.

Desde la Construcción hasta el Post-Cierre de las presas o depósitos de relaves (colas) se deben realizar actividades de Monitoreo y Vigilancia, ya que son imperativas e imprescindibles, para evaluar el funcionamiento, estabilidad y operatividad de las estructura, condiciones ambientales y sociales y posibles riesgos, siendo la base para la toma de decisiones, las cuales pueden ir desde la programación y realización de mantenimientos hasta la puesta en marcha de planes de emergencia y contingencia.

*“Aunque no existe un diseño ni práctica operativa que puedan ser adoptados universalmente, la industria procura **mejorar continuamente** y **desarrollar técnicas y nuevas tecnologías.**”*



Tomado de: [horizonteminero.com](http://horizonteminero.com)



# 08

## Bibliografía

### A

#### **ANCOLD (2012)**

*Guidelines on tailings dams planning, design, construction, operation and closure. Gobierno de Australia.*

Obtenido en:

<https://www.ancold.org.au/wp-content/uploads/2012/11/Guidelines-on-Planning-Design-Construction-Operation-and-Closure-of-Tailings-Dams.pdf>

### G

#### **GLOBAL TAILINGS REVIEW (2020)**

*Norma global de relaves.*

**Estándar global sobre relaves para la industria minera.**

Obtenido en:

<https://www.mch.cl/wp-content/uploads/2020/08/Norma-Global-de-la-Industria-del-Manejo-de-Relaves.pdf>

### S

#### **SERNAGEOMIN**

*Preguntas frecuentes sobre relaves.*

**Servicio Nacional de Geología y Minería. Chile.**

Obtenido en:

<https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/>

#### **SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (2020)**

*Construcción y operación de depósitos de relaves. Guía trámite PAS artículo 135 Reglamento del SEIA construcción y operación de depósitos de relaves.*

**Gobierno Chile.**

Obtenido en:

[https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2020/03/13/guia\\_pas\\_135.pdf](https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2020/03/13/guia_pas_135.pdf)

#### **SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (2007)**

*Guía técnica de operación y control depósitos de relaves. DSM/07/31 Departamento de Seguridad Minera. Chile.*

Obtenido en:

<https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/12/GuiaTecOperacionDepRelaves.pdf>

#### **SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (2018)**

*Guía metodológica para evaluación de la estabilidad física de instalaciones mineras remanentes.*

**Departamento de Seguridad Minera. Universidad Católica de Valparaíso. Chile.**

Obtenido en:

<https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2019/06/GUIA-METODOLOGICA.pdf>

### T

#### **THE MINING ASSOCIATION OF CANADA (2019).**

*Guía para el manejo de depósitos de relaves. Versión 3.1. Canadá.*

Obtenido en:

[https://mining.ca/wp-content/uploads/2020/01/MAC-AMC\\_Gu%C3%ADa\\_de\\_relaves\\_2019.pdf](https://mining.ca/wp-content/uploads/2020/01/MAC-AMC_Gu%C3%ADa_de_relaves_2019.pdf)

#### **THE MINING ASSOCIATION OF CANADA (2019).**

*Desarrollo manual de operación, mantenimiento y desarrollo para el depósito de relaves. Segunda Edición. Desarrollo de un manual de operación, mantenimiento y monitoreo para el manejo de depósitos de relaves y aguas asociadas. Canadá.*

Obtenido en:

[https://mining.ca/wp-content/uploads/2020/01/MAC-AMC\\_Gu%C3%ADa\\_OMS\\_2019.pdf](https://mining.ca/wp-content/uploads/2020/01/MAC-AMC_Gu%C3%ADa_OMS_2019.pdf)





LA NUEVA  
ENERGÍA

**ATG** ASESORÍAS TÉCNICAS  
GEOLÓGICAS  
ATG LTDA.