



# **PROPUESTA DE LINEAMIENTOS TÉCNICOS DE POLÍTICA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA ESTANDARIZAR LOS PROCESOS DE PRESAS DE RELAVES EN MINERÍA**

**CONTRATO DE CONSULTORÍA GGC-468-2020**

**Bogotá D.C.**



**Diciembre 28 de 2020**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	7
1. DEFINICIONES .....	10
2. MARCO REGULATORIO .....	16
3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE INFORMACIÓN.....	18
3.1 Concepción, Planificación y Diseño de la Presa de Relaves (colas) ...	26
3.2 Construcción de las Presas de Relaves (colas).....	28
3.3 Operación y Construcción Progresiva.....	30
3.4 Monitoreo y Vigilancia.....	31
3.5 Mantenimiento .....	32
3.6 Cierre y Post Cierre .....	33
3.7 Gestión del Riesgo .....	33
3.7.1 Movimientos en masa .....	34
3.7.2 Licuación sísmica.....	36
3.7.3 Desbordamiento o rebose .....	36
3.7.4 Falla de la fundación .....	38
3.7.5 Erosión Interna o Tubificación .....	38
3.7.6 Falla de estructuras auxiliares.....	39
3.7.7 Erosión .....	39
3.7.8 Subsistencia de minas activas o abandonadas .....	39
3.7.9 Generación de Drenaje Ácido Minero (DAM).....	39
3.8 Economía Circular .....	40
4. METODOLOGÍA .....	41
5. LINEAMIENTOS PARA LOS PROCESOS RELACIONADOS CON PRESAS DE RELAVES (COLAS) MINEROS .....	44
5.1 Línea Estratégica Concepción .....	52
5.2 Línea Estratégica Planificación.....	63
5.3 Línea Estratégica Diseño.....	72
5.4 Línea Estratégica Construcción Inicial.....	83

5.5	Línea Estratégica Operación y Construcción Progresiva.....	92
5.6	Línea Estratégica de Cierre .....	97
5.7	Línea Estratégica Post Cierre .....	107
5.8	Línea Estratégica Mantenimiento .....	112
5.9	Línea Estratégica Monitoreo y Vigilancia.....	115
5.10	Línea Estratégica Gestión del Riesgo .....	121
5.11	Línea Estratégica Gestión del Cambio .....	125
5.12	Economía Circular .....	127
6.	CONCLUSIONES .....	132
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	134

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Líneas estrategias y número de lineamientos.....	44
Tabla 2. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Concepción.	42
Tabla 3. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Planificación.	43
Tabla 4. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Diseño. ....	44
Tabla 5. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Construcción Inicial.....	45
Tabla 6. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Operación y Construcción Progresiva.....	46
Tabla 7. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Cierre. ....	46
Tabla 8. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Post Cierre.	48
Tabla 9. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Mantenimiento. ....	48
Tabla 10. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Monitoreo y Vigilancia. ....	49
Tabla 11. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Gestión del Riesgo.....	50
Tabla 12. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Gestión del Cambio .....	50
Tabla 13. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Economía Circular. ....	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Generación, tratamiento y disposición de los relaves (colas). .....	18
Figura 2. Tratamiento y disposición de los relaves (colas). .....	20
Figura 3. Esquema básico en planta de presa de relaves (colas).....	21
Figura 4. Método constructivo presa de relaves (colas) aguas arriba.....	22
Figura 5. Método constructivo presa de relaves (colas) aguas abajo. ....	22
Figura 6. Método constructivo presa de relaves (colas) eje central. ....	23
Figura 7. Esquema básico en planta de depósito de relaves (colas). ....	24
Figura 8. Descarga relaves (colas) en depósito.....	25
Figura 9. Movimientos en masa por inestabilidad de talud presa de relaves en proceso de post cierre. a) Deslizamiento de taludes generado por réplica sísmica. b) Situación post inestabilidad de taludes. Región V de Valparaíso. ....	35
Figura 10. Falla de presas de relaves (colas) por movimientos en masa. ....	35
Figura 11. Presa de relaves (colas) Barahona. a) Situación antes de la falla, año 1927. b) Situación post falla por licuación sísmica.....	36
Figura 12. Falla de presas de relaves (colas) por desbordamiento o rebose. ..	37
Figura 13. Rebose de presa de relaves, estanque de decantación - aguas claras adosadas al muro resistente de presa de relaves.....	37
Figura 14. Por erosión interna.....	38
Figura 15. Falla de presas de relaves (colas) por tubificación. ....	39
Figura 16. Relación de Líneas Estratégicas asociadas a las presas de relaves (colas). ....	42
Figura 17. Estructura de Líneas Estratégicas y Lineamientos para los procesos relacionados con presas de relaves (colas).....	43
Figura 18. Estructura de manejo y gestión presas de relaves (colas).....	46

## INTRODUCCIÓN

El presente documento se elabora bajo el marco del Contrato de Consultoría GGC-468-2020 celebrado entre el Ministerio de Minas y Energía (Dirección de Minería Empresarial) y ATG Ltda., y recopila, analiza e interpreta información sobre criterios, experiencias, lecciones aprendidas, directrices, principios, estándares, técnicas, métodos, metodologías y tecnologías respecto a la gestión y manejo las presas de relaves (colas) que pudiesen contribuir en la conceptualización y elaboración de la propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos de la actividad minera relacionados particularmente presas de relaves (colas).

Los proyectos mineros que desarrollan procesos de beneficio y transformación como los de minerales asociados a sulfuros metálicos, hierro, metales preciosos y polimetálicos requieren de un lugar donde se almacenen los desechos, ya sea de manera temporal o definitiva.

El manejo más común dado a los relaves (colas) es mediante su disposición en presas o depósitos, estructuras construidas con el fin de contener el relave desde su generación hasta cientos o miles de años posteriores al cierre de la mina, el ciclo de vida de estas estructuras contempla la concepción planificación, diseño, construcción inicial, operación, construcción progresiva, cierre y post cierre, etapas que se deben abordar desde un enfoque basado en la gestión del riesgo que prevea los posibles impactos que pudiesen generarse a la población, ambiente, infraestructura y economías locales.

Las presas o depósitos son obras o estructuras ingenieriles complejas que tienen como finalidad la contención y almacenamiento de grandes volúmenes de relaves, también llamadas colas, generados como desecho de los procesos de beneficio y transformación de los minerales.

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.

La mayoría de las instalaciones construidas para la disposición de los relaves (colas) a nivel mundial corresponden a presas de relaves (colas), estructuras que manejadas y gestionadas adecuadamente pueden mantener su estabilidad física y química a lo largo del tiempo de su ciclo de vida, estas estructuras han tomado mayor relevancia y visibilidad a nivel mundial, debido a las consecuencias

generadas por su colapso o falla, que han resultado en pérdida de vidas, impactos sociales, ambientales, económicos y culturales. Cabe resaltar que estos eventos son consecuencia de deficiencias en el diseño, construcción, monitoreo y vigilancia, cierre y post cierre. Debido a esto en la actualidad la industria minera a nivel mundial está optando por disponer los relaves (colas) en depósitos, estructuras que a comparación de las presas de relaves (colas) no requieren tanta infraestructura y área, dado que contienen material con menor grado de humedad, con comportamientos más relacionados a materiales sólidos y no a fluidos como los relaves convencionales almacenados en las presas, lo que representa minimización considerable del riesgo.

A nivel internacional países como Canadá, Australia, EEUU, Perú, Chile, entre otros, han desarrollado desde hace años o incluso décadas, orientaciones y un marco legal relacionado a las presas de relaves, incorporando tecnologías, innovación y gestión del riesgo.

Varios de los documentos evaluados y consultados para la estructuración e Lineamientos de Políticas relacionados con presas y/o depósitos de relaves (Colas) fueron explícitos en citar que todos los Estados con instalaciones para la disposición de relaves (colas) deben aspirar a desarrollar e implementar un programa regulatorio efectivo; en ese orden de ideas, estos deberán asumir la responsabilidad y utilizar Normas o Guías para generar capacidades y desarrollar marcos regulatorios que cumplan un papel esencial en la gestión segura de los las presas y/o depósitos de relaves (colas).

Colombia cuenta con poca experiencia, conocimiento y seguimiento en la gestión y manejo de presas y depósitos de relaves, y carece de una regulación clara respecto al tema; de manera que proyectos de gran minería que han desarrollado o están en procesos de planeación de este tipo de estructuras, se basan principalmente en estándares internacionales o según las regulaciones respecto al origen de su casa matriz.

Del mismo modo, en la pequeña minería y minería de subsistencia se tienen deficiencias significativas en la tecnificación de las actividades de beneficio y transformación del mineral, por lo que se realizan procesos poco técnicos usando sustancias altamente contaminantes y manejando los relaves (colas) de manera inadecuada, lo que genera afectación a los ecosistemas y a la salud pública; además, se identifica que existe una gran deficiencia en la separación del mineral de mena dejando porcentajes altos en los relaves (colas) que no son aprovechados.

Durante la revisión, interpretación y análisis de información secundaria nacional e internacional se ha evidenciado que el concepto de relave (cola) minero está siendo reevaluado, definiendo este material como un subproducto y no como un desecho,



por tal motivo es imperativo formular a futuro proyectos que apliquen economía circular generando beneficios en diferentes aspectos.

Este documento expone una propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos de presas de relave en minería, dada la necesidad de establecer bases para dicha gestión, a través de lineamientos que comprenden las siguientes etapas principales: concepción, planificación, diseño, construcción inicial, operación y construcción progresiva, monitoreo, mantenimiento, gestión del riesgo, gestión del cambio, cierre, economía circular, post cierre; los cuales orientan a los actores hacia el fortalecimiento del sector.

## 1. DEFINICIONES

**Aguas claras:** Aguas libres, en gran medida, de partículas en suspensión que se ubican en un sector de la cubeta de la presa de relaves mineros, una vez decantados naturalmente los sólidos finos de la pulpa de relave<sup>1</sup>.

**Almacenamiento de relaves:** Un sitio donde los desechos de procesamiento se almacenan temporal o permanentemente, no necesariamente formado por una estructura de presa.<sup>2</sup>

**Canal de contorno:** 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).<sup>3</sup>

**Ciclo de vida:** La sucesión de fases en la vida útil de una presa de relaves (colas), que comprende la concepción y la planificación del proyecto, el diseño, la construcción inicial, la operación y la construcción en curso, el cierre y la fase posterior a dicho cierre. En algunos emplazamientos, el ciclo de vida útil también puede incluir el cierre temporal. En el caso de las presas de relaves, el ciclo de vida útil, que incluye el cierre y la fase posterior a dicho cierre, puede prolongarse décadas o siglos, a menos que se retire la instalación en el futuro si los relaves se reprocesan o se reubican.<sup>4</sup>

**Colas:** Material resultante de procesos de lixiviación y concentración de minerales que contiene muy poco metal valioso. Pueden ser nuevamente tratadas o desechadas.<sup>5</sup>

**Cubeta:** Corresponde al volumen físico disponible para la 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.<sup>6</sup>

**Depósito de relaves:** Conjunto de equipos, componentes y estructuras diseñadas en base a ingeniería para el manejo de sólidos de relaves y las aguas asociadas a estos depósitos —lo que incluye el agua intersticial, lagunas artificiales, aguas superficiales y escorrentía— además de otros residuos mineros tratados junto con los relaves (p. ej., roca estéril, residuos del tratamiento de aguas).<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Tomado y modificado de Ministerio de Minería. Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes. Chile. 2018.

<sup>2</sup> ANCOLD. Directrices sobre las presas de colas planificación, diseño, construcción, operación y cierre. Australia. 2012.

<sup>3</sup> Tomado y modificado de Ministerio de Minas y Energía Chile, Preguntas frecuentes sobre relaves.

<sup>4</sup> Canadá. Guía para el Manejo de Depósitos de Relaves, The Mining Association of Canadá, 2019.

<sup>5</sup> Ministerio de Minas y Energía. Resolución 40599 de 2015. Glosario técnico minero, 2003.

<sup>6</sup> Tomado y modificado de Ministerio de Minas y Energía Chile, Preguntas frecuentes sobre relaves.

<sup>7</sup> Canadá. Guía para el Manejo de Depósitos de Relaves, The Mining Association of Canadá, 2019.

**Depósito de relave espesado:** Depósito de relave donde, antes de ser depositados, son sometidos a un proceso de sedimentación, mediante espesadores, eliminándole una parte importante del agua contenida. El depósito de relave espesados deberá ser construido de tal forma que se impida que el relave fluya a otras áreas distintas a las del emplazamiento determinado y contar con un sistema de piscinas de recuperación del agua remanente.<sup>8</sup>

**Depósito de relave filtrados:** Depósito de relave donde, antes de ser depositados, son sometidos a un proceso de filtración, mediante equipos especiales de filtros, donde se asegure que la humedad sea menor a un 20%. Deberá asegurarse que el relave así depositado no fluya a otras áreas distintas a las del emplazamiento determinado.<sup>9</sup>

**Depósito de relave en pasta:** Depósito de relave que presenta una situación intermedia entre el relave espesado y el relave filtrado, corresponde a una mezcla de relave sólidos y agua, entre 10% y 25% de agua, que contiene partículas finas, menores de 20  $\mu$  en una concentración en peso superior al 15%, muy similar a una pulpa de alta densidad. Su depositación se efectúa en forma similar al relave filtrado, sin necesidad de compactación, poseyendo consistencia coloidal<sup>10</sup>

**Drenaje Acido (ARD) de Relaves:** El ARD se refiere a procesos por los cuales el pH del agua en contacto con los relaves puede disminuir severamente, dando como resultado la disolución y transporte de metales tóxicos disueltos tales como arsénico, plomo, cadmio, y un conjunto de otros, además un drástico incremento del contenido de los sulfatos.<sup>11</sup>

**Embalse de relaves:** Aquel depósito de relaves donde el muro de contención está construido con material de empréstito y se encuentra impermeabilizado en el coronamiento y en su talud interno. La impermeabilización puede estar realizada con un material natural de baja permeabilidad o de material sintético como geomembrana de alta densidad. También se llama Embalses de relaves aquellos depósitos ubicados en alguna depresión del terreno en que no se requiere la construcción de un muro de contención.<sup>12</sup>

**Escorias:** Resultan del enfriamiento de residuos fundidos derivados de la fundición de concentrados de metales básicos. Las escorias de fundición pueden contener

<sup>8</sup> Chile, Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes, Ministerio de Minería, 2018.

<sup>9</sup> Chile, Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes, Ministerio de Minería, 2018.

<sup>10</sup> Chile, Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes, Ministerio de Minería, 2018.

<sup>11</sup> Perú, Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas, Ministerio de Minas y Energía, 2016.

<sup>12</sup> Chile. Reglamento de Depósitos de Relaves, Ministerio de Minería, 2006.

metales tales como arsénico, cadmio, y plomo en concentraciones potencialmente tóxicas.<sup>13</sup>

**Estabilidad física:** Situación de seguridad estructural, que mejora la resistencia y disminuye las fuerzas desestabilizadoras que pueden afectar las obras o depósitos de una Faena Minera, para la cual se utiliza medidas con el fin de evitar fenómenos de falla, colapso o remoción. Se considera medidas para la estabilización física aquellas como la estabilización y perfilamiento de taludes, reforzamiento o sostenimiento de éstos, compactación del depósito y otras que permitan mejorar las condiciones o características geotécnicas que componen las obras o depósitos mineros. La Estabilidad Física comprende, asimismo, y en los casos que sea técnicamente procedente, el desmantelamiento de las construcciones que, adosadas permanentemente a la Faena Minera, la aseguren.<sup>14</sup>

**Ganga:** Minerales que no presentan interés económico en un yacimiento, aquella parte de una mena que no es económicamente deseable, pero que no puede ser desechada en minería. Esta es separada de los minerales de mena durante los procesos de concentración. Este concepto se opone al de mena. Es el material estéril o inútil que acompaña al mineral que se explota. Generalmente son minerales no metálicos, o bien la roca encajante y muy ocasionalmente pueden ser minerales metálicos. Los minerales de ganga son aquellos que no son beneficiables, pero en algunos casos estos minerales pueden llegar a ser económicamente explotables (al conocerse alguna aplicación nueva para los mismos) y, por lo tanto, dejarían de ser ganga, por ejemplo, el mineral de ganga es galena. 2. La roca de derroche que rodea un depósito de mineral; también la materia de menor concentración en un mineral.<sup>15</sup>

**Instalación de almacenamiento de relaves:** Incluye el almacenamiento de relaves, los terraplenes de contención y la infraestructura asociada.<sup>16</sup>

**Laguna de aguas claras:** La depositación de relaves (lomas) en la cubeta, que llega en una mezcla del sólido con agua para su transporte, en tanto los sólidos sedimentan a las capas inferiores, el agua forma esta laguna de aguas claras debido a la sedimentación de las partículas finas.<sup>17</sup>

**Mena:** Mineral de base del que es posible extraer otro mineral de mayor pureza e importancia económica. La molibdenita (sulfuro de molibdeno), por ejemplo, es la principal mena del molibdeno. 2. Minerales que presentan interés económico en un yacimiento. Este concepto se opone al de ganga. En general, es un término que se

<sup>13</sup> Perú, Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas, Ministerio de Minas y Energía, 2016.

<sup>14</sup> Chile, Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes, Ministerio de Minería, 2018.

<sup>15</sup> Resolución 4 0599 de 2015 *Por medio de la cual se adopta el Glosario Técnico Minero.*

<sup>16</sup> Australia, Directrices sobre las presas de colas planificación, diseño, construcción, operación y cierre, ANCOLD, 2012.

<sup>17</sup> Preguntas frecuentes sobre relaves.

refiere a minerales metálicos y que designa al mineral del que se extrae el elemento de interés. Para poder aprovechar mejor la mena, suele ser necesario su tratamiento, que en general comprende dos etapas: el tratamiento en el sitio de mina para aumentar la concentración del mineral en cuestión (procesos hidrometalúrgicos, flotación, entre otros), y el tratamiento metalúrgico final, que permita extraer el elemento químico en cuestión (tostación, electrólisis, entre otros).<sup>18</sup>

**Minerales sulfurosos:** Los minerales sulfurosos más comunes, considerados como fuente de DAR, son los minerales de hierro, en forma especial, la pirita ( $\text{FeS}_2$ ), pirrotita ( $\text{Fe}(1-x)\text{S}_x$ ) y marcasita ( $\text{FeS}_2$ ). Dependiendo de la forma y de la estructura cristalina del mineral, como éste se presenta en el yacimiento, se observarán diferentes velocidades de oxidación. Por lo general, la marcasita, pirrotita y la pirita framboidal se oxidarán más rápidamente. Los cristales minerales con una superficie menor, como la pirita "euhedral" de grano grueso, se oxidan más lentamente.<sup>19</sup>

**Muro:** Obra de ingeniería que permite contener los residuos sólidos que en ella se descargan, es decir, delimita la cubeta.<sup>20</sup>

**Muro de empréstito:** El muro de contención que se ha construido totalmente de material grueso o granular, convenientemente dosificado y compactado con material menos grueso, que no proviene del material del relave (Decreto Supremo 248, Título I, Capítulo II, Artículo 6°, letra f).<sup>21</sup>

**Muro de inicio o muro de partida:** En el caso de los tranques de relave, es un pequeño 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 (Decreto Supremo 248, Título I, Capítulo II, Artículo 6°, letra g).<sup>22</sup>

**Muro de pie:** El que se construye, generalmente de material de empréstito, en el extremo aguas abajo del muro de contención. Tiene por objeto dar un límite físico al depósito de relave y evitar el derrame de material fuera de la traza del prisma resistente (D.S. Supremo 248, Título I, Capítulo II, Artículo 6°, letra h).<sup>23</sup>

**Oxidación:** En los relaves, la oxidación se inicia en la capa superficial expuesta, después de que ha culminado la disposición de pulpas frescas de relaves alcalinos (no durante la operación); así como en las resquebrajaduras verticales en los

<sup>18</sup> Resolución 4 0599 de 2015 *Por medio de la cual se adopta el Glosario Técnico Minero.*

<sup>19</sup> Perú, Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas, Ministerio de Minas y Energía, 2016.

<sup>20</sup> Preguntas frecuentes sobre relaves.

<sup>21</sup> Chile, Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes, Ministerio de Minería, 2018.

<sup>22</sup> Chile, Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes, Ministerio de Minería, 2018.

<sup>23</sup> Chile, Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes, Ministerio de Minería, 2018.

depósitos subaéreos. La oxidación puede desarrollarse en todo el botadero de desmonte, inmediatamente después de la deposición.

**Playa activa:** 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 del depósito de relaves o lamas situada en las cercanías de la línea de vaciado.<sup>24</sup>

**Proceso hidrometalúrgico:** Parte del campo de la metalurgia extractiva que involucra el uso de química acuosa para la recuperación de: metales de minerales, concentrados y materiales reciclados o residuales. Hidrometalurgia se divide típicamente en tres áreas generales: lixiviación, concentración y purificación de la solución, y recuperación de metal.<sup>25</sup>

**Pasta de relaves:** Lechada de relaves espesada hasta obtener una consistencia pastosa, con un alto límite elástico y reducción del asentamiento y el agua de sangrado. Se agrega cemento para producir relleno de relaves de pasta cementada para rebajes<sup>26</sup> de minas subterráneas.<sup>27</sup>

**Relaves:** Subproductos de la minería generados durante los procesos de separación del material de valor de su roca o suelo de origen. También son referidos comúnmente como jales o colas.<sup>28</sup>

**Relave en pasta:** Corresponden a una mezcla de agua con sólido, que contiene abundantes partículas finas y bajo contenido de agua, de modo que la mezcla tenga una consistencia espesa, similar a una pulpa de alta densidad.<sup>29</sup>

**Relaves de pasta cementada:** Relaves con la consistencia de una pasta, a los que se agrega cemento para mejorar la resistencia para el relleno de rebajes subterráneos.<sup>30</sup>

**Relaves espesados:** Depósito de relaves donde, antes de ser depositados, son sometidos a un proceso de sedimentación, mediante espesadores, eliminándole una parte importante del agua que contienen. El depósito de relaves espesados deberá ser construido de tal forma que se impida que el relave fluya a otras áreas distintas a las del emplazamiento determinado y contar con un sistema de piscinas de recuperación del agua remanente.<sup>31</sup>

<sup>24</sup> Preguntas frecuentes sobre relaves.

<sup>25</sup> Guía global de drenaje ácido de rocas, The International Network for Acid Prevention, 2014.

<sup>26</sup> Los "rebajes" son obras de perforación que se inician desde un determinado nivel hasta comunicarlo con el inmediato superior, vaciando después, el mineral contenido entre ambos niveles.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-39292009000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-39292009000200002).

<sup>27</sup> Australia, Programa líder de desarrollo sostenible, prácticas para la industria minera, Gobierno de Australia, 2016.

<sup>28</sup> Canadá. Guía para el Manejo de Depósitos de Relaves, The Mining Association of Canadá, 2019.

<sup>29</sup> Preguntas frecuentes sobre relaves.

<sup>30</sup> Australia, Programa líder de desarrollo sostenible, prácticas para la industria minera, Gobierno de Australia, 2016.

<sup>31</sup> Chile. Reglamento de Depósitos de Relaves, Ministerio de Minería, 2006.

**Relaves filtrados:** Depósito de relaves donde, antes de ser depositados, son sometidos a un proceso de filtración, mediante equipos especiales de filtros, donde se asegure que la humedad sea menor a un 20%. Deberá asegurarse que el relave así depositado no fluya a otras áreas distintas a las del emplazamiento determinado.<sup>32</sup>

**Represa de colas:** Obras de infraestructura construidas para almacenar o represar los relaves, colas y desechos acuosos productos de grandes operaciones mineras.<sup>33</sup>

**Represa de relaves:** Estructura o terraplén que se construye para retener los relaves y/o administrar el agua asociada con el almacenamiento de relaves, e incluye el contenido de la estructura.<sup>34</sup>

**Sistema de drenaje:** 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.<sup>35</sup>

**Toxicidad:** Propiedad de una sustancia que indica su capacidad para causar daño físico y/o fisiológico a un organismo (vegetal, animal o humano), generalmente en condiciones particulares.<sup>36</sup>

**Tranque de relaves:** Depósito en el cual el muro es construido por la fracción más gruesa del relave, compactado, proveniente de un hidrociclón (operación que separa sólidos gruesos de sólidos más finos, mediante impulsión por flujo de agua). La parte fina, denominada Lama, se deposita en la cubeta del depósito.<sup>37</sup>

---

<sup>32</sup> Chile. Reglamento de Depósitos de Relaves, Ministerio de Minería, 2006.

<sup>33</sup> Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Resolución 40599 de 2015. Glosario técnico minero, 2015.

<sup>34</sup> Tomado y modificado de Australia, Directrices sobre las presas de colas planificación, diseño, construcción, operación y cierre, ANCOLD, 2012.

<sup>35</sup> Preguntas frecuentes sobre relaves.

<sup>36</sup> Guía global de drenaje ácido de rocas, The International Network for Acid Prevention, 2014.

<sup>37</sup> Preguntas frecuentes sobre relaves.

## 2. MARCO REGULATORIO

Para la gestión de los relaves (colas) generados en el sector minero se han formulado recientemente documentos a nivel internacional como el *Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera* elaborado conjuntamente por el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) y la Red de Principios de Inversión Responsable (PRI), el cual tiene como objetivo orientar a los países respecto a las responsabilidades, principios y criterios necesarios para lograr cero daños en las personas y en el medioambiente, y tolerancia cero para fatalidades humanas en la gestión de las instalaciones de disposición de los relaves (colas); a su vez la Comisión Europea a través del *Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) para la gestión de residuos de las industrias extractivas*, recopila información respecto a las técnicas y procesos actuales, que garanticen la seguridad y minimicen los impactos negativos generados en el manejo de los relaves (colas). Estos documentos incorporan principalmente un enfoque asociado a la gestión del riesgo y responsabilidad generada con el ambiente y las comunidades que se pueden ver afectadas por la construcción, falla o colapso de las presas y depósitos de relaves (colas), proporcionando una guía general para la construcción o fortalecimiento del marco regulatorio de los diferentes países que requieren realizar un adecuado manejo de los relaves (colas).

Países como Canadá, Noruega, Australia, EE. UU., Sudáfrica, y Chile cuentan con marcos regulatorios sólidos para el manejo de los relaves (colas) mineros, que se han estructurado progresivamente, contemplando aspectos técnicos, minero ambientales, sociales y de gestión del riesgo en el contexto y particularidad de cada país. Como resultado de estos procesos se han generado guías, directrices y documentos orientadores, sustentados y adoptados a través de leyes, resoluciones y demás disposiciones normativas.

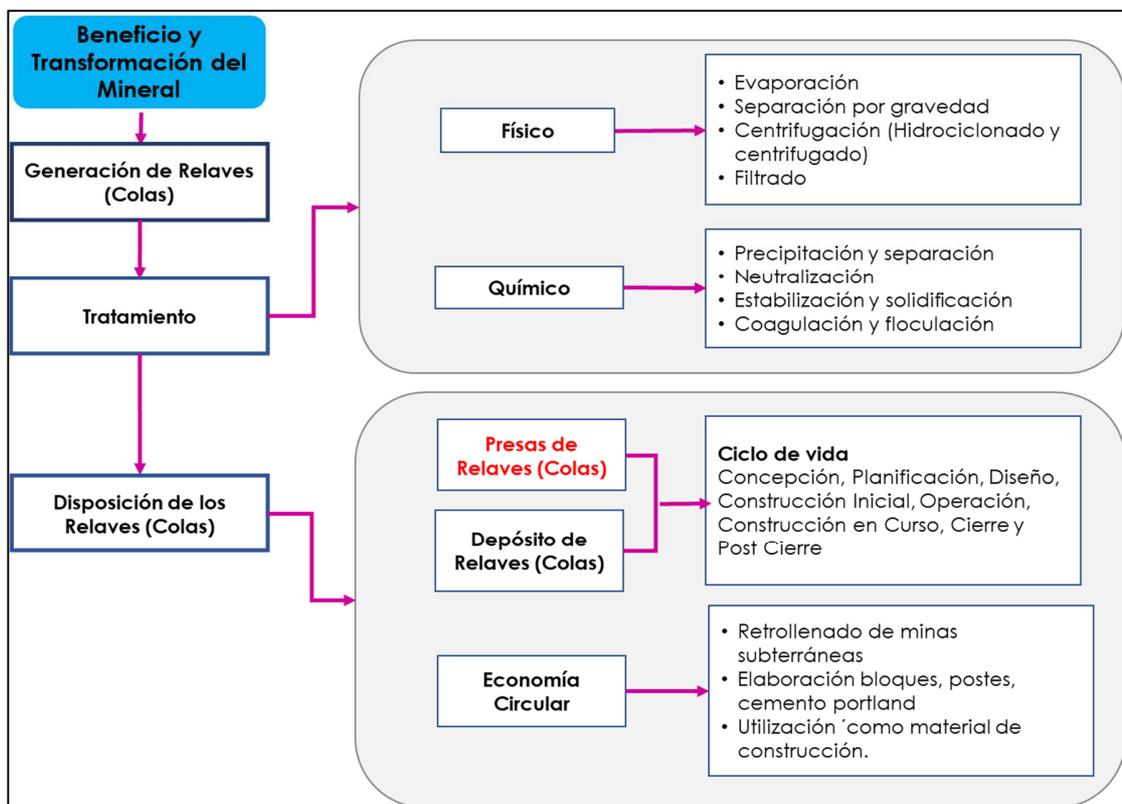
En el contexto colombiano no se cuenta con un marco normativo específico para el manejo de los relaves (colas) mineros, por tal motivo en la actualidad tanto las empresas mineras que realizan la construcción y gestión de las presas, como las autoridades encargadas del control, seguimiento y vigilancia a estas estructuras, toman como punto de referencia y cumplimiento lo establecido en documentos técnicos correspondientes al Programa de Trabajos e Inversiones (PTI), adoptado mediante el Decreto 2655 de 1988, que rige a títulos mineros otorgados anteriores a la entrada en vigencia del Código de Minas actual; Programa de Trabajos y Obras de Explotación (PTO) establecido en la Ley 685 de 2001 Código de Minas, que cuenta a su vez con términos de referencia acogidos mediante Resolución 143 de 2017, modificados por la Resolución 299 del 13 de junio de 2018 de la Agencia Nacional de Minería; y Programas de Trabajos y Obras Complementarios (PTOC) de los Subcontratos de Formalización Minera, con términos de referencia adoptados mediante Resolución 414 de 2014. En estos documentos técnicos se desarrollan

elementos relacionados con el manejo de los relaves (colas) como localización de instalaciones, caracterización del área de influencia del proyecto minero, plan de obras de recuperación geomorfológica y paisajística, características físicas y químicas de los minerales a explotar, plan de cierre de la explotación y abandono de los montajes e infraestructura. Otros documentos como las Guías Minero Ambientales, adoptadas mediante Resolución 180861 de 2002, por los Ministerios de Minas y Energía, Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Metodología General para la presentación de Estudios de Impacto Ambiental realizada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, acogida mediante Resolución 1503 de 2010; Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de licencia ambiental de proyectos de minería realizados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, acogidos mediante Resolución 2206 del 27 de diciembre de 2016, y planes estratégicos sectoriales, abordan aspectos como la ubicación de las áreas de disposición, transporte, tratamiento, monitoreo, y seguimiento de los relaves (colas) de manera general y solicitan estudios necesarios para la caracterización del área de influencia de los proyectos mineros, los cuales no se enfocan particularmente a la gestión de los relaves (colas).

Por tal motivo la formulación de lineamientos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos de presas de relaves se convierte en el punto de partida para la estructuración de un marco regulatorio sólido que se adapte a la realidad y necesidades del sector minero del país.

### 3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE INFORMACIÓN

Los relaves (colas) mineros se definen como un desecho o subproducto de los procesos de beneficio y transformación del mineral compuesto por una fase sólida, líquida y gaseosa, que dependiendo de sus características físicas y químicas debe someterse a diferentes tratamientos para su transporte y posterior disposición en presas, depósitos o a través de alternativas de economía circular como retrolenado, producción de postes, bloques, cemento, etc. ver **Figura 1**. Estas actividades requieren la destinación de recursos específicos establecidos desde la concepción y planificación el proyecto minero<sup>38</sup>.



**Figura 1. Generación, tratamiento y disposición de los relaves (colas).**  
 Fuente: ATG Ltda., 2020.

La caracterización de los relaves puede realizarse utilizando generalmente propiedades físicas índice, tales como: granulometría, densidad específica límites de Atterberg (plasticidad), según Study of Tailings Management Technologies. MEND Secretariat. Mine Environment Neutral Drainage (MEND) Project, donde se hace una clasificación física (ICOLD, 2017), que se detalla a continuación:

<sup>38</sup> Tomado y Modificado. Mesa de trabajo con Secretaria de Minas de Antioquia, CORANQUIOQUIA. Contrato de consultoría GGC-468-2020. Ministerio de Minas y Energía - ATG Ltda.

**Relaves (colas) de fracción gruesa:** Arena limosa no plástica. Ej: Sal, arena, carbón grueso.

**Relaves (colas) de rocas duras:** Arena limosa, no plástica a baja plasticidad. Ej: Cobre, sulfuros masivos, níquel, oro.

**Relaves (colas) de rocas meteorizadas:** Arena limosa con partículas de arcilla, baja plasticidad. Ej: Pórfido cuprífero con alteración hidrotermal, rocas oxidadas. Colas finas: Limo, presencia de arcilla, baja a moderada plasticidad. Ej: carbón fino, residuos de bauxita.

**Relaves (colas) ultrafinas:** Arcilla limosa, alta plasticidad, muy baja densidad y conductividad hidráulica. Ej: fosfatos finos, carbón fino.

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 depósitos, ver **Figura 2**.

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 si se evalúa a largo plazo se puede ver retribuida en minimización de costos de mantenimiento y riesgos, y manejo durante el cierre y post cierre, ver **Figura 2**.



**Figura 2. Tratamiento y disposición de los relaves (colas).**  
 Fuente: ATG Ltda., 2020.

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 (hidrociclizado y centrifugado). El muro inicial y el suelo de fundación de la presa deben estar impermeabilizados 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 evitar la saturación de agua de los relaves. El agua captada en los canales perimetrales, sistemas de infiltración y drenaje se conduce por lo general a sistemas de sedimentación y tratamiento, para realizar posteriormente procesos de recirculación de agua, siendo utilizada en la operación minera o para ser vertida según los parámetros estipulados por la normatividad vigente. A continuación, se observa un esquema básico de una presa de relaves (colas) vista desde planta, ver **Figura 3**.

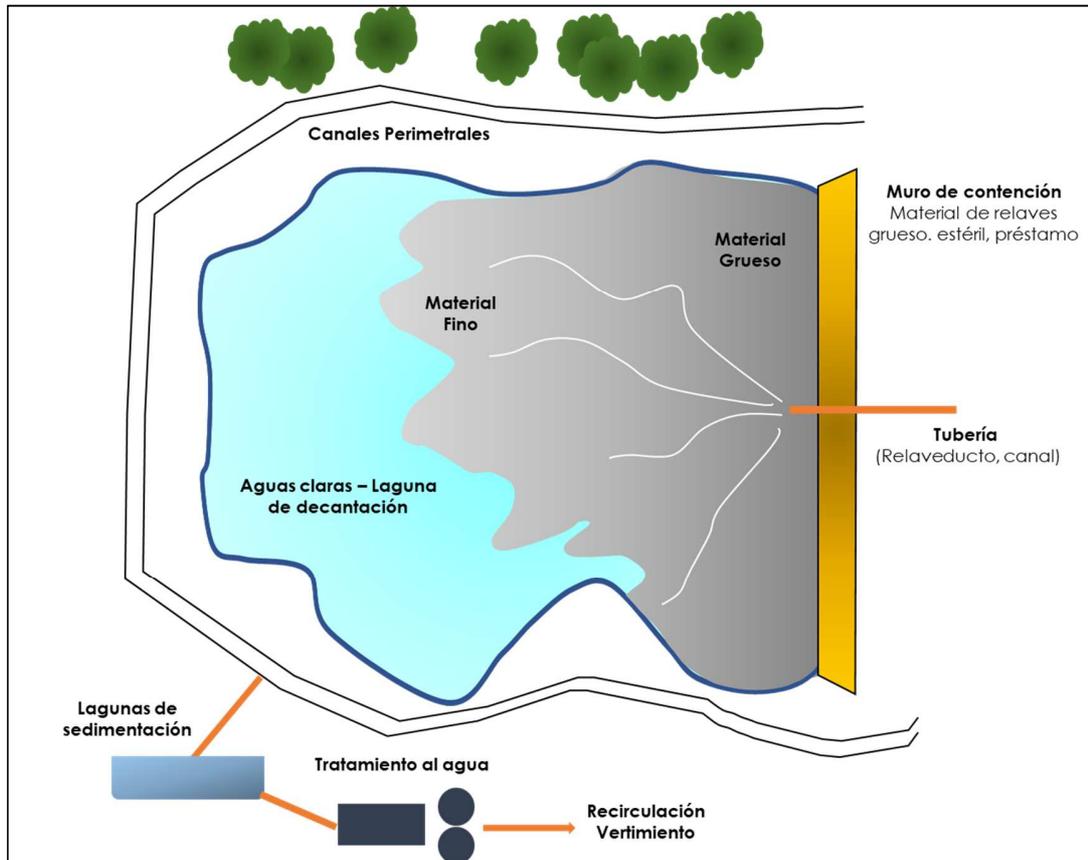


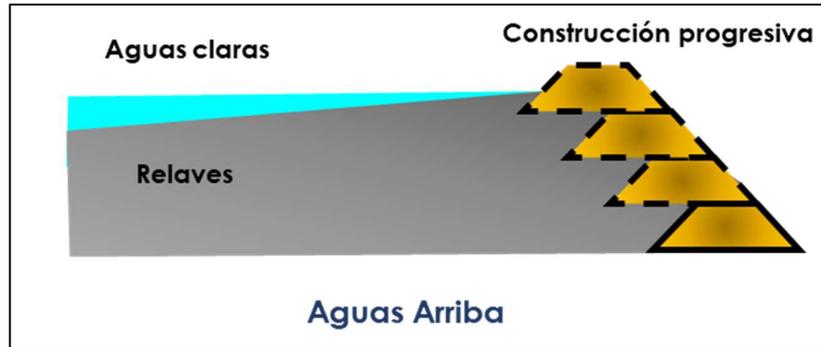
Figura 3. Esquema básico en planta de presa de relaves (colas).  
Fuente: ATG Ltda., 2020.

Las presas de relaves (colas) pueden ser construidas a partir de tres métodos: aguas arriba, aguas abajo, eje central o mixto. Los cuales se describen a continuación<sup>39</sup>.

**Método de aguas arriba:** Consiste en un muro inicial (starter dam) construido en concreto ciclopeo, gaviones o con material de préstamo compactado sobre el cual se inicia la depositación de los relaves (colas), utilizando clasificadores denominados “hidrociclones”; la fracción más gruesa o arena, se descarga por el flujo inferior del hidrociclón (underflow) y se deposita junto al muro inicial, mientras la fracción más fina o lamas, que sale por el flujo superior del hidrociclón (overflow) se deposita hacia el centro del muro en un punto más alejado del muro, de modo tal que se va formando una especie de playa al sedimentar las partículas más pesadas de lamas y gran parte del agua escurre, formando el pozo de sedimentación o laguna de sedimentación, la que una vez libre de partículas en suspensión es evacuada mediante un sistema de estructura de descarga, que pueden ser las

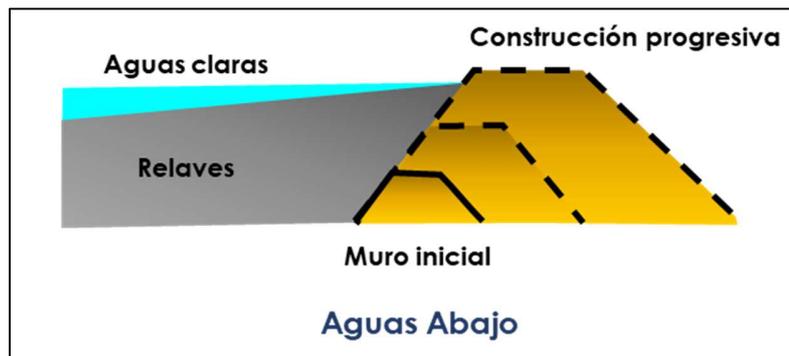
<sup>39</sup> Servicio Nacional de Geología y Minería, Departamento de Seguridad Minera. Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves, 2007.

denominadas torres de evacuación, o bien, se utilizan bombas montadas sobre una balsa flotante. Las pendientes de los taludes de la presa deben ser las que indican los diseños; por otra parte, al inicio de la conformación del muro, se debe instalar previamente un filtro en la fundación.



**Figura 4. Método constructivo presa de relaves (colas) aguas arriba.**  
Fuente: Tomado de Vick 1983, adaptado por ATG Ltda., 2020.

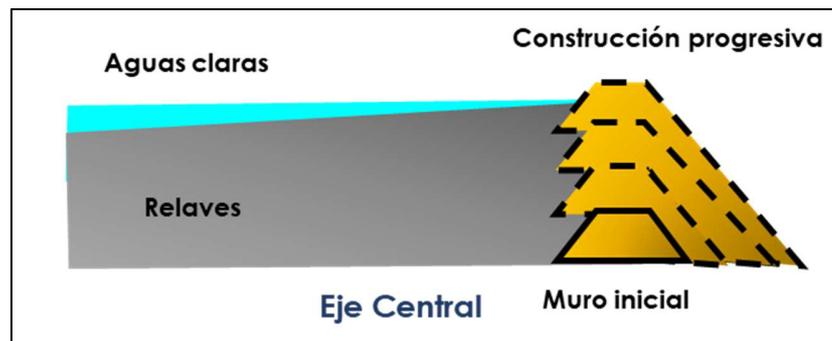
**Método de aguas abajo:** La construcción se inicia también con un muro de partida de material de préstamo compactado desde el cual se vacía la arena gruesa cicloneada hacia el lado del talud aguas abajo de este muro, y las lamas se depositan hacia el talud aguas arriba. Cuando el muro se ha peraltado lo suficiente, usualmente 2 a 4 m, se efectúa el levante del muro, desplazando los hidrociclones a una mayor elevación en la dirección hacia aguas abajo y comenzando una nueva etapa de descarga de arenas y peralte del muro. A veces se dispone también de un segundo muro pre-existente aguas abajo. Las arenas se pueden disponer en capas inclinadas, según la pendiente de diseño del talud del muro de partida, o bien, disponerlas en capas horizontales hacia aguas abajo del muro de partida. Las pendientes de los taludes de la presa son las que indican los diseños. Se caracteriza por adquirir más volumen, a medida que se incrementa la altura.



**Figura 5. Método constructivo presa de relaves (colas) aguas abajo.**  
Fuente: Tomado de Vick 1983, adaptado por ATG Ltda., 2020.

**Método eje central o mixto:** Se inicia al igual que los métodos anteriores con un muro de partida de material de préstamo compactado, sobre el cual se depositan

las arenas gruesas ciclonadas hacia el lado aguas abajo y las lamas hacia el lado aguas arriba. Una vez completado el vaciado de arenas y lamas correspondiente al muro inicial, se eleva la línea de alimentación de arenas y lamas, siguiendo el mismo plano vertical inicial de la berma de coronamiento del muro de partida. Lo que permite lograr un muro de arenas cuyo eje se mantiene en el mismo plano vertical, cuyo talud de aguas arriba es más o menos vertical, y el talud de aguas abajo puede tener la inclinación que el diseño considera adecuada; además, se caracteriza por qué no se interviene más área con respecto a la construcción inicial.

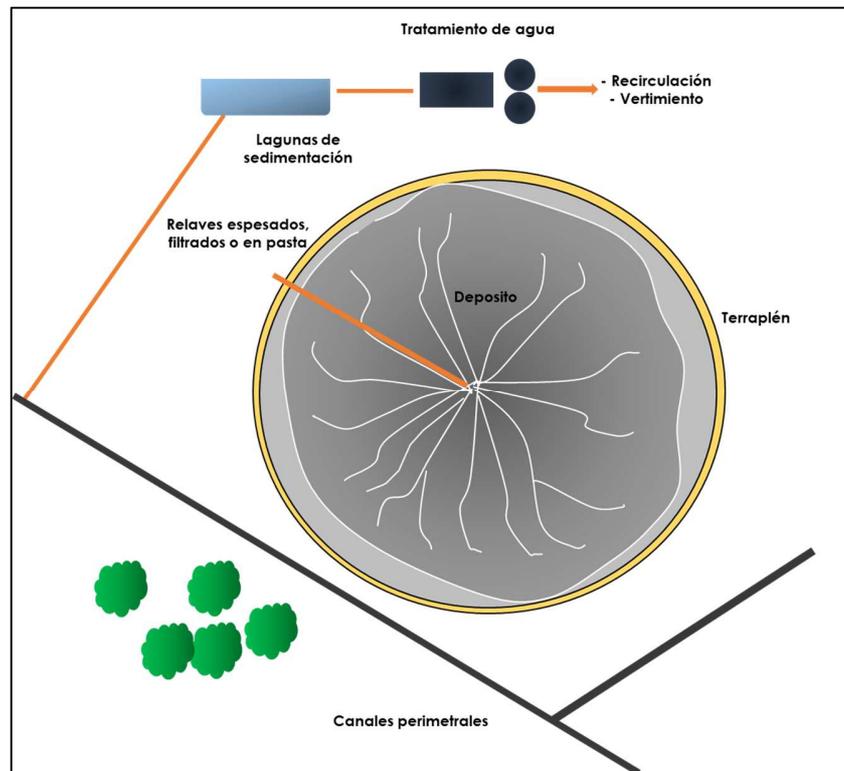


**Figura 6. Método constructivo presa de relaves (colas) eje central.**  
Fuente: Tomado de Vick 1983, adaptado por ATG Ltda., 2020.

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.

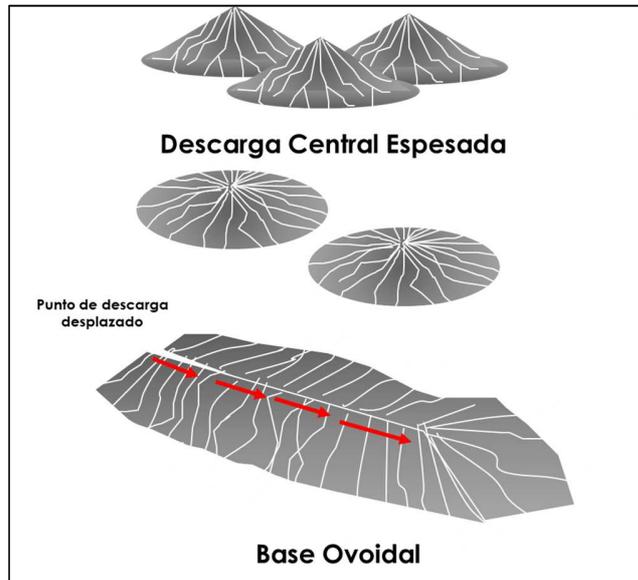
Los depósitos de relaves son estructuras que albergan relaves (colas) con contenidos de humedad bajos en comparación a los relaves (colas) convencionales dispuestos en presas, lo que permite que las estructuras de contención no requieran infraestructura tan elaborada y los riesgos asociados sean menores<sup>40</sup>, 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 subterráneo 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 7**.

<sup>40</sup> Tomado y Modificado. Reunión con empresa Continental Gold. Contrato de consultoría GGC-468-2020. Ministerio de Minas y Energía - ATG Ltda.



**Figura 7. Esquema básico en planta de depósito de relaves (colas).**  
Fuente: ATG Ltda., 2020.

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 8**.



**Figura 8. Descarga relaves (colas) en depósito.**  
Fuente: Tomado de SERNAGEOMIN 2007. Adaptado por ATG Ltda., 2020.

Las presas de relaves (colas) deben estar construidos 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, en donde incluimos otras que consideramos transversales:

Líneas Estratégicas o Etapas del Ciclo de Vida de las presas de relaves (colas):

- Concepción
- Planificación
- Diseño
- Construcción
- Operación y construcción progresiva
- Cierre
- Post cierre

Líneas Estratégicas transversales:

- Monitoreo y vigilancia
- Mantenimiento
- Gestión del riesgo
- Economía circular
- Gestión del cambio

En la práctica cada etapa, línea estratégica o aspecto relevante debe estar respaldado con análisis técnicos y de ingeniería, 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. 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, mantenimiento, vigilancia y monitoreo hasta las etapas cierre y post cierre adecuados.

La hoja de ruta de una presa de relaves (colas) debe contar con un manual que incluya las actividades de operación, mantenimiento, monitoreo y vigilancia. El manual será el que describirá la trazabilidad de la instalación, su rutina y su periodicidad, haciendo que todos los registros generados durante su operación, mantenimiento y monitoreo sean los que respalden la toma de decisiones en caso de que se requiera un cambio dentro del ciclo de vida. Los cambios pueden ser en la extensión de la operación, en los diseños iniciales de construcción, en la modificación de las actividades de mantenimiento, en la ampliación de controles para monitorear la estructura, y en el cambio de objetivo frente al cierre y post cierre.

El post cierre hace referencia al uso posterior del área ocupada por la presa 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 la 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, contingencia y de respuesta para la gestión de desastres.

A continuación, se realiza un análisis desde las Líneas Estratégicas enmarcadas, describiendo estas con base en experiencias internacionales de manera general, y en algunos casos citando la situación de nuestro país en cuanto al desarrollo de estos procesos.

### **3.1 Concepción, Planificación y Diseño de la Presa de Relaves (colas)**

La etapa de concepción, planificación, y diseño de una presa de relaves (colas) se convierte en el pilar primario para la gestión de los mismos, ya que se definen aspectos fundamentales que se tendrán en cuenta desde la construcción hasta el

post cierre de la presa; en la concepción y planificación de la presa se deben realizar diferentes estudios, modelamientos y proyecciones particulares que permitirán identificar parámetros hidrogeológicos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, geotécnicos, sísmicos, meteorológicos, topográficos a ser analizados y considerados al momento de realizar los diseños de las obras.

Los relaves (colas) mineros constituyen un reto en su manejo y gestión, se debe tener en cuenta que estos provienen de los procesos de beneficio y transformación del mineral, en donde se utilizan diferentes reactivos y volúmenes significativos de agua, lo que determina las características físico-químicas del relave (cola), siendo fundamental la caracterización geoquímica de las rocas (incluyendo los estériles), de los minerales del yacimiento y de los mismos materiales con los que se construirá la estructura de la presa o terraplenes. Estas caracterizaciones se deben desarrollar previo a la construcción, y posteriormente deben ser reconfirmadas en la operación para definir la alternativa de manejo más apropiada<sup>41</sup>.

Las presas de relaves (colas), se construyen progresivamente a lo largo de todo el periodo de explotación de un yacimiento mineral (años, una década, o varias décadas). Esto implica importantes diferencias en el diseño, en los procedimientos constructivos, en los controles de calidad de la construcción y en los mecanismos y sistemas de monitoreo, control de la seguridad y gestión del riesgo.

En el modelamiento de los diseños de la presa de relaves (colas) y proyecciones de estabilidad a lo largo del tiempo se deben considerar los efectos del colapso o fallas de estas estructuras y los impactos a nivel social, ambiental y económico que conlleva la ocurrencia de estos eventos, que pueden originarse por causas operacionales, naturales o por la conjunción de estas, por tal motivo es fundamental realizar diseños considerando escenarios de riesgo con eventos extremos por ejemplo precipitaciones y sismos para amplios periodos de tiempo, que contemplen todas las etapas del ciclo de vida de la presa de relaves (colas), determinando consecuencias y afectación a partir de la vulnerabilidad del entorno, con énfasis en los actores del área de influencia que pueden verse afectados. Actualmente en los términos de referencia para la elaboración y presentación de los Programas de Trabajo y Obras PTO se contempla la formulación de alternativas de control de inundaciones y sistemas para el manejo de aguas, pero no se establece la necesidad de realizar diseños basados en el posible riesgo de desastres.

El diseño y cálculo de estabilidad geotécnico de la presa de relaves (colas) debe considerar el papel de los relaves (colas), como parte del componente estructural de la presa, así como los aspectos ambientales del almacenamiento de los relaves (colas), que en muchos casos contienen producto de desecho contaminantes por la alta concentración de sales en el agua y la generación de drenaje ácido o alcalino

---

<sup>41</sup> Tomado de reunión con empresa Gran Colombia Gold. Contrato de consultoría GGC-468-2020. Ministerio de Minas y Energía - ATG Ltda.

de minas. Los relaves (colas) tienen un comportamiento reológico debido a su fina granulometría, y gran superficie específica, que le confiere la capacidad de licuificar y desarrollar fallas de flujo (la mezcla sólidos-agua se comporta como un fluido viscoso) que le permite viajar grandes distancias y a grandes velocidades, extendiéndose y cubriendo grandes superficies de terreno adyacentes, dedicadas a otras economías como la industria, la agricultura y zonas de interés.

La mayor parte de las presas de relaves (colas) existentes en la actualidad en Colombia, se han construido mediante el sistema de relleno hidráulico. Este sistema se basa en que los residuos del proceso de extracción, en esencia roca finamente molida, mezclados con agua, con la consistencia de un lodo, en algunas instalaciones son bombeados a través de tuberías hacia la presa. Los muros de contención de la presa de relaves (colas), son construidos con los mismos residuos mineros o con materiales estériles o con materiales de préstamo, y por lo general crecen gradualmente en altura, al ritmo de producción de los residuos de la mina, o porque los mismos precios del mercado lo demandan. Es importante destacar, que la ingeniería integral, respecto al funcionamiento hidráulico de las presas, está condicionada por un conjunto numeroso de aspectos, tales como como la descarga de los relaves (colas), precipitaciones, evaporación, extracción de agua excedente de la laguna de aguas claras en la presa, ingreso de agua subterránea, drenaje de agua hacia la fundación o a través de la presa; y también por una serie de fenómenos singulares asociados a la fina granulometría de los relaves (colas), tales como consolidación, infiltración, escurrimiento superficial y capilaridad.

En conclusión, el funcionamiento hidráulico de la presa, debe ser analizado y modelado en la etapa de diseño permitiendo establecer los parámetros adecuados para su construcción y gestión durante las etapas de operación, cierre y post cierre, siendo determinante para mantener las condiciones de estabilidad de la presa.

### **3.2 Construcción de las Presas de Relaves (colas)**

En cuanto a los muros de contención de la presa de relaves (colas), estos son por lo general construidos con los mismos residuos del proceso de transformación (relaves/colas) o con materiales de préstamo e incluso, con la roca estéril del proceso de extracción del mineral; por lo tanto, el dique o los terraplenes crecen gradualmente en altura, al ritmo de producción de los relaves (colas) de mina y pueden tener también diferentes etapas de crecimiento debido a periodos de inactividad, o por problemas técnicos o falta de demanda de materias primas, o un crecimiento rápido por aumento del mercado de los minerales explotados.

Durante la etapa de construcción progresiva ocurren cambios importantes en el régimen de operación de la presa, esencialmente por aumento de la carga hidráulica debido al incremento constante del vertido de relaves (colas) y de las tensiones en el cuerpo de la presa y en la fundación. Es decir, las presas de relaves (colas) se

construyen progresivamente a lo largo de todo el periodo de explotación minera. Esta característica puede implicar importantes diferencias en el diseño, respecto a los procedimientos constructivos, en los controles de calidad de la construcción y en los procedimientos y sistemas de monitoreo y control.

Actualmente para el manejo de los relaves (colas) mineros el espesado y filtrado corresponde a la mejor practica disponible, en esta se recupera un gran porcentaje de agua permitiendo que el contenido solido del relave (cola) sea mayor y lograr su disposición en depósitos, retrolleado de mina o utilizándolo como materia prima para la construcción de estructuras de realce. Esta alternativa trae significativos beneficios, pero implica una inversión económica alta reflejada en equipos de filtrado, secado, como filtroprensas o clarificadores.

La humedad es un factor fundamental, en el comportamiento global de la presa, y afecta directamente las propiedades geomecánicas de los relaves (colas) almacenados en esta. En general se puede decir que una mayor humedad de los relaves (colas) implica menor estabilidad, mayor probabilidad de ruptura y por ende, consecuencias nefastas. Existe una relación entre las diferentes tipologías de falla de las presas de relaves (colas) con el manejo del agua y contenido de humedad de los relaves (colas) almacenados.

Por lo tanto, la humedad es el parámetro fundamental que se debe medir y controlar durante toda la vida de la presa e inclusive después de su cierre. En este contexto, no basta con tener en cuenta solamente el agua freática contenida la presa de relaves (colas). Dentro de los estudios y documentos evaluados se sugiere de manera recurrente que el agua capilar también tiene un papel fundamental en la seguridad. En este mismo contexto, algunos investigadores dicen que es insuficiente considerar únicamente el agua freática contenida en la presa de relaves (colas), es necesario tener en cuenta el agua capilar y la magnitud del ascenso, pues este puede variar desde centímetros a varias decenas de metros, aspecto que no se mide en la actualidad con los sistemas de instrumentación disponibles. Es importante recordar que los piezómetros, que habitualmente se instalan como parte de los sistemas de monitoreo de las presas de relaves (colas), no detectan el agua capilar y que existe instrumentación específica para medir succión y humedad en la zona no saturada.

Con base en el análisis de la información consultada se puede señalar que la humedad (expresada en grado de saturación, contenido volumétrico de agua, etc.) es el factor o variable fundamental, tanto en el comportamiento global de la presa de relaves (colas), como en las propiedades mecánicas e hidrogeológicas de los relaves (colas). Por lo tanto, la clave está en evitar la saturación de los relaves (colas) y con ello su posible licuación estática o dinámica. La licuación y falla de flujo de los relaves (colas) y de los materiales granulares (arenas, limos) en general es una cuestión muy compleja. Hay algunos fenómenos asociados a la licuación de

materiales granulares que aún no son completamente comprendidos ni se sabe cómo tratarlos o tenerlos en cuenta en las evaluaciones de estabilidad geotécnica para garantizar la seguridad de las presas de relaves (colas) y obras de ingeniería civil asociadas.

Se ha comprobado que cuando el grado de saturación supera el 85% (una mayor humedad de los relaves (colas)) implica generalmente una menor estabilidad geotécnica, mayor probabilidad de ruptura y consecuencias de la ruptura en cuanto a magnitud del desastre. Por lo tanto, es necesario medir y controlar la variación del grado de saturación (humedad) durante toda la vida de las presas de relaves (colas) e inclusive después de su cierre.

### 3.3 Operación y Construcción Progresiva

En la revisión documental se expresa que el período de operación, comienza y termina con la descarga de los relaves (colas) en las instalaciones, en esta etapa se realiza el tratamiento de los relaves (colas) pudiendo optimizar recursos a través de sistemas de deshidratación, recirculación de agua y recuperación del mineral (filtrado, espesado, remoción de contaminantes), transporte a través de relaveductos, canales, vehículos o teleféricos que varían en su recorrido y trazado dependiendo de la distancia entre las áreas de beneficio y transformación del mineral y estructuras de disposición de los relaves<sup>42</sup>.

En la operación de la presa de relaves (colas) se debe realizar un seguimiento constante de las características físicas y químicas de los relaves (colas) generados, durante su transporte y disposición.

En la preparación de los relaves (colas) previo a su disposición, estos pueden ser sometidos a diferentes tratamientos de carácter químico o físico, que buscan el control de humedad de los relaves (colas), remoción de compuestos contaminantes y separación del material fino y grueso de los mismos para su adecuada descarga en la estructura de almacenamiento.

Los sistemas de transporte deben operarse teniendo en cuenta su capacidad de diseño y el volumen de los relaves (colas) generados definiendo alternativas en caso de mantenimiento o fallas de los mismos que permitan la normal operación del proyecto minero.

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. El

---

<sup>42</sup> Reunión con empresa Antioquia Gold Ltda. Contrato de Consultoría GGC-468-2020. Ministerio de Minas y Energía - ATG Ltda.

control del volumen de agua almacenado en la laguna de decantación o laguna de aguas claras es fundamental durante la operación con el fin de minimizar riesgos potenciales que desencadenen en eventos como desbordamiento o colapso de la presa de relaves (colas), debe realizarse según lo establecido en los diseños realizados previamente, mediante la utilización de controles de profundidad y sistemas de bombeo para garantizar que se mantengan los volúmenes máximos de agua establecidos por seguridad.

La operación de una presa de relaves (colas) es usualmente determinada por la vida útil de la mina, que a su vez es gobernada por factores económicos, precios de los metales, y reservas minerales, Los períodos típicos de operación de una presa de relaves (colas) se encuentran entre 10 a 20 años. El planeamiento operacional para relaves (colas) debe considerar como volumen mínimo, la cantidad total de relaves (colas) obtenibles con las reservas minerales (reservas probables y reservas probadas) al momento de la iniciación del proyecto. Por lo cual se debe contemplar tener una provisión para contingencias causadas por aumentos de las reservas de mineral.

La construcción progresiva de las presas de relaves (colas) se realiza a lo largo de la operación, en esta etapa se pueden elevar los muros de contención o agregar nuevas celdas para aumentar la capacidad de almacenamiento de relaves (colas) según lo establecido en los diseños. A su vez se pueden implementar nuevas tecnologías y procesos que optimicen el manejo y gestión de los relaves (colas). Cabe resaltar que la construcción progresiva y por consiguiente realce de la presa está directamente asociada a la producción de los relaves (colas)<sup>43</sup>

### **3.4 Monitoreo y Vigilancia**

El desarrollo de actividades de monitoreo y vigilancia desde la construcción inicial, operación, construcción progresiva, cierre y post cierre de la presa de relaves (colas) son imperativas e imprescindibles, ya que permiten evaluar el funcionamiento, estabilidad y operatividad de la presa de relaves (colas), condiciones ambientales, 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.

En la actualidad no existe una metodología establecida para determinar la cantidad y calidad de la instrumentación necesaria para el monitoreo de las presas de relaves (colas). Esta varía dependiendo de las características y dimensión del proyecto minero, en el caso de la gran minería se cuenta con sistemas de monitoreo, más robustos y rigurosos a comparación de la pequeña minería y minería de subsistencia que en muchas ocasiones carecen de recursos económicos, tecnológicos y humanos.

---

<sup>43</sup> Reunión con empresa UNIMINAS. Contrato de Consultoría GGC-468-2020. Ministerio de Minas y Energía - ATG Ltda.

Entre las alternativas tecnológicas actuales de monitoreo se destaca el uso de imágenes satelitales, fotos aéreas, sistemas de alta sensibilidad controlados remotamente, que ofrecen la oportunidad de monitorear de manera continua y en tiempo real el comportamiento geotécnico y geoquímico de las presas de relaves, identificando de manera oportuna aspectos o procesos que pudiesen incidir en la seguridad y estabilidad de estas estructuras, siendo la base para la toma de decisiones enfocadas en la gestión temprana del riesgo. El uso de estas tecnologías se realiza en algunos proyectos mineros en Colombia, destacándose su alta precisión y considerable inversión económica.

Entre los aspectos relevantes sujetos de monitoreo se encuentra la caracterización del agua con el fin de determinar la generación de drenajes ácidos mineros o alcalinos que desencadenen en contaminación de suelos y cuerpos de aguas superficiales y subterráneos.

### **3.5 Mantenimiento**

El mantenimiento de las presas de relaves (colas) e infraestructura asociada se contempla desde las fases de construcción y operación hasta las etapas de cierre y post-cierre. Se realiza a partir de los hallazgos resultantes del monitoreo y vigilancia o según lo establecido en el cronograma de mantenimiento y puede ser de carácter preventivo, predictivo o correctivo. Un adecuado mantenimiento permite prevenir o corregir el deterioro de las estructuras, equipos, sistemas, instrumentación, con el fin de garantizar su adecuada operatividad y estabilidad a lo largo de su ciclo de vida gestionando los riesgos identificados. Para el desarrollo del mantenimiento se debe prever y manejar la afectación o interrupción de las actividades o procesos habituales ejecutados en el manejo y gestión de estas estructuras.

Las actividades de mantenimiento son fundamentales para prever, minimizar o controlar factores de riesgo que pudiesen incidir en la operación, cierre y post cierre de las presas de relaves (colas) y área de influencia de las mismas, estas actividades pueden corresponder a mantenimiento de estructuras para el manejo de aguas de escorrentía (retiro de vegetación), estructuras para el transporte de los relaves (reemplazo de tuberías, por ejemplo), compactación, reforzamiento e impermeabilización de muros de contención, calibración, ajuste o cambio de equipos y componentes de los sistemas necesarios para la operación, monitoreo y vigilancia de las presas como inclinómetros y piezómetros, instalaciones eléctricas y mecánicas, mantenimiento a cobertura vegetal del área y obras realizadas en el cierre y post cierre de la presa.

Las actividades de mantenimiento se realizan con base en las hojas de vida de los equipos, hallazgos que requieran un control inmediato, o a través del análisis de los datos de comportamiento de los equipos utilizados para el manejo de los relaves en

donde se establezcan criterios de desempeño diferentes a los establecidos en una operación normal

### **3.6 Cierre y Post Cierre**

El período de cierre comienza al término de la operación y de la descarga de relaves (colas). Durante este tiempo se construyen las instalaciones adicionales que puedan ser requeridas para alcanzar la estabilidad física o química a largo plazo (por ejemplo, zanjas y conductos permanentes de derivación del agua); y se inicia la rehabilitación.

En general, el tiempo de cierre puede tomar de 2 a 30 años, aunque es típico el lapso de 5 a 10 años y depende de la complejidad y requerimientos técnicos de las medidas de cierre y el monitoreo pertinente. Sin embargo, existe dificultad para definir la extensión de la etapa de post cierre en el tiempo. Ésta puede ser convencional (500, 1000 años) o a perpetuidad, lo que implica dificultades para el tratamiento estadístico de los eventos extraordinarios.

El post cierre o abandono comienza a continuación de la terminación de las medidas de cierre y se extiende tanto como se requiera para que la estabilidad física y química de la presa de relaves (colas) quede asegurada.

Durante el cierre y post cierre se hace fundamental la vigilancia, monitoreo y mantenimiento de las presas e infraestructura asociada, con el fin de desarrollar las actividades y medidas necesarias para garantizar su estabilidad física y química a lo largo plazo dando respuesta a la gestión de los posibles riesgos generados.

Entre los principales riesgos relacionados en la etapa de cierre y post cierre se encuentra la afectación por movilización de contaminantes a través del aire, movimientos masivos de relaves (colas) en forma líquida o semilíquida y transporte por el agua como sólidos suspendidos y materiales disueltos. También se pueden generar procesos erosivos que puede exponer y movilizar relaves (colas), fallas de los sistemas de cobertura, infiltraciones no deseadas, desbordamiento por escorrentía, movimientos en masa; entre otros.

### **3.7 Gestión del Riesgo**

La gestión del riesgo es un proceso transversal de carácter técnico, ambiental y social que se debe incorporar en cada una de las etapas del ciclo de vida las presas de relaves (colas), con el fin de conocer los riesgos generados, controlarlos, manejarlos y reducirlos mediante el desarrollo de medidas, acciones y actividades formuladas a partir de planes, programas y según lo identificado en el monitoreo y vigilancia.

La ruptura de una presa de relaves (colas) puede tener consecuencias económicas y ambientales mínimas en el caso de deslizamientos de bajo volumen y corto alcance, o, por el contrario, ser devastadoras en el caso de las llamadas “fallas de flujo”. Como en el caso de toda obra estructural, existe el riesgo de que la presa de relaves (colas) falle y afecte poblaciones ubicadas cercanas al curso de agua, aguas abajo. En este orden de ideas, la ruptura y vertido de los relaves (colas) y aguas almacenadas en el vaso de la presa de relaves (colas) son capaces de generar un daño enorme y provocar la pérdida de un gran número de vidas humanas.

Las normas, guías y particularmente, el Estándar Global publicado por Naciones Unidas en agosto de 2020, se enfocan en principios que abarcan la elaboración y actualización de la base del conocimiento en la instalación de una presa de relaves (colas); incluyendo aspectos sociales, ambientales, económicos y de información técnica; derechos de las comunidades afectadas; diseño, construcción, operación y gestión bajo escenarios conservadores; desarrollo de diseños integrales que tengan en cuenta una línea base detallada de conocimiento y minimice el riesgo de falla para todas las etapas del ciclo de vida de la presa de relaves (colas); construcción y operación sobre el enfoque de minimizar el riesgo; implementación de sistemas de monitoreo; establecimiento del nivel de responsabilidades en la toma de decisiones para la gestión y manejo de las presas de relaves (colas); preparación para dar respuesta a nivel local ante emergencias en caso de falla; y proporcionar acceso público a la información sobre temas relacionados con decisiones, impactos y riesgos, planes de gestión y mitigación, y supervisión del desempeño de la estructura.

El Estándar incluye un elemento que debe ser resuelto a futuro relacionado con la gobernanza; y es que exige a los operadores que asuman la responsabilidad y prioricen la seguridad de sus instalaciones de relaves (colas), a lo largo de todas las fases del ciclo de vida del proyecto, incluso cierre y post cierre.

Los riesgos generados también pueden ser de carácter químico ocasionados por desplazamiento de metales pesados o generación de drenajes ácidos o alcalinos mineros potenciales contaminantes de fuentes hídricas, suelo y aire.

Es importante en este numeral listar los mecanismos de falla y riesgos químicos identificados en las presas de relaves (colas),<sup>44</sup> estos eventos pueden presentarse en una presa en operación o durante su etapa de cierre y post cierre.

### 3.7.1 Movimientos en masa

---

<sup>44</sup> Tomado y modificado de RODRÍGUEZ R; CORTÉS, A, G (Eds.) (2007). *Estabilidad y seguridad de depósitos de residuos mineros*. Los residuos minero-metalúrgicos en el medio ambiente. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. Obtenido en: [https://www.researchgate.net/publication/263747187\\_Estabilidad\\_y\\_seguridad\\_de\\_depositos\\_de\\_residuos\\_mineros](https://www.researchgate.net/publication/263747187_Estabilidad_y_seguridad_de_depositos_de_residuos_mineros).

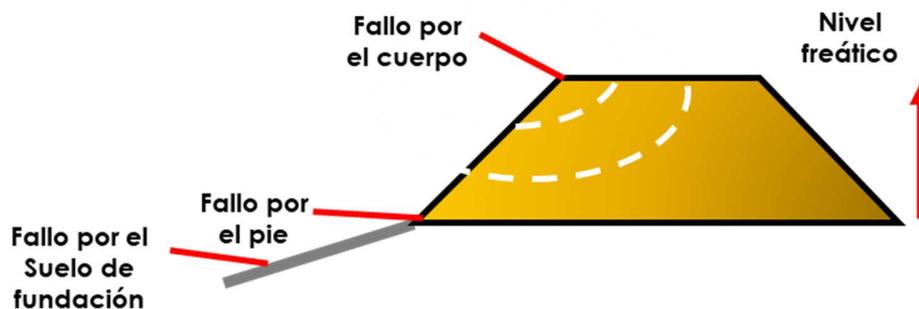
Los movimientos en masa son generados por procesos de inestabilidad de las estructuras, esto se puede ocasionar por aumento en el grado de humedad generalmente por la variación en el nivel freático, disminución de la resistencia de los materiales de construcción, geometrías inadecuadas respecto al ancho, pendiente y alturas, inestabilidad en el suelo de fundación, ver **Figuras 9 y 10**.



**Figura 9. Movimientos en masa por inestabilidad de talud presa de relaves en proceso de post cierre.**  
a) Deslizamiento de taludes generado por réplica sísmica. b) Situación post inestabilidad de taludes.  
Región V de Valparaíso.

Fuente: Gentileza Grupo de Geotecnia PUCV.

Para evitar la ocurrencia de movimientos en masa correspondientes a deslizamientos, desprendimientos, volcamientos, flujos y reptaciones se requiere del conocimiento de las propiedades geomecánicas e hidráulicas de los materiales de construcción de la presa y de los relaves (colas) almacenados<sup>45</sup>. Es necesario también un proyecto adecuado que contemple los aspectos de funcionamiento mecánico/estructural e hidráulico de la presa de relaves (colas) (estudio geotécnico) y también los que dependen del proceso de explotación minera (ingeniería de minas). Por último, también son necesarios los controles de calidad en la construcción, una operación correcta y el monitoreo del funcionamiento de la presa.

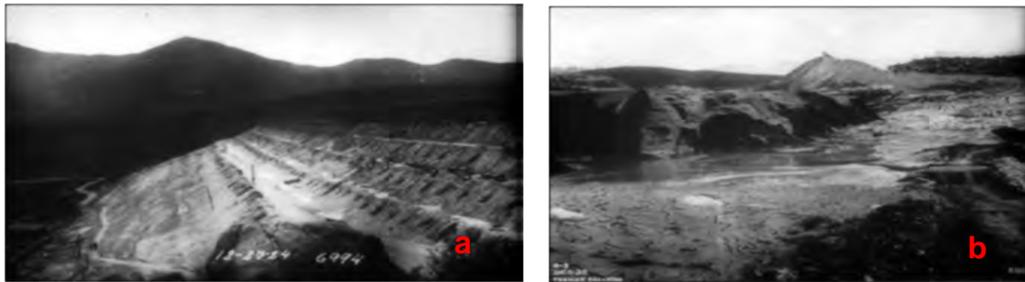


**Figura 10. Falla de presas de relaves (colas) por movimientos en masa.**  
Fuente: ATG Ltda., 2020.

<sup>45</sup> Mesa de trabajo ANLA y MADS. Contrato de Consultoría GGC-468-2020. Ministerio de Minas y Energía - ATG Ltda.

### 3.7.2 Licuación sísmica

Como se expresa en la Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes elaborada por SERNAGEOMIN, en los eventos de licuación sísmica la presa de relave se ven sometida al aumento de las presiones intersticiales sin posibilidad de que sean disipadas de manera rápida en relación al tiempo de carga, hasta anular parcial o totalmente los esfuerzos efectivos de confinamiento y por consecuencia la resistencia al corte de las arenas. Luego se genera el colapso de la estructura constituida por las partículas, generándose grandes deformaciones debido a la baja resistencia al corte que presentan bajo este escenario los materiales constituyentes



**Figura 11. Presa de relaves (colas) Barahona. a) Situación antes de la falla, año 1927. b) Situación post falla por licuación sísmica.**  
Fuente: Troncoso et al., 1993.

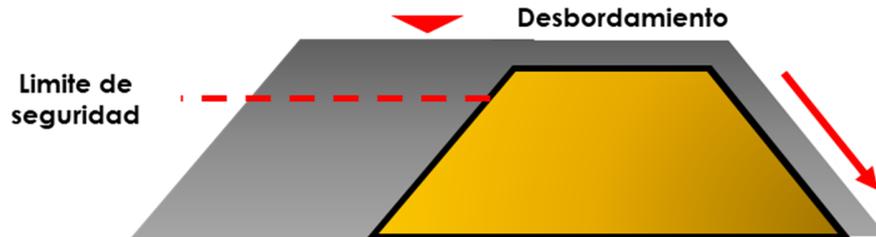
Para prevenir fallas por terremotos, es necesario conocer cuál es la amenaza sísmica (sismología y amenaza sísmica), cuál sería la respuesta dinámica de la presa ante el movimiento sísmico (dinámica de suelos) y cómo se comportarían los materiales al ser sometidos a la acción de cargas cíclicas (susceptibilidad de licuefacción).

En términos de referencia para la elaboración y presentación de los Programas de Trabajos y Obras – PTO se establece en el estudio geotécnico que contempla “La ejecución de ensayos de mecánica de rocas de los diferentes tipos de suelos y rocas presentes en el área para determinar la gravedad específica, la cohesión, el ángulo de fricción y la resistencia al corte y a la tensión. También incluirá los análisis de los sistemas de discontinuidades geológicas presentes en el macizo rocoso, análisis de estabilidad y probabilidad de falla de taludes en roca y rellenos y demás análisis geotécnicos necesarios para conocer las propiedades geomecánicas de suelo y roca y sus efectos en las operaciones mineras”.

### 3.7.3 Desbordamiento o rebose

El desbordamiento de la presa de relaves se presenta cuando se excede la capacidad de almacenamiento de los mismos, y sobrepasa el límite de la cresta superior del muro de contención, debido a obstrucciones en las tuberías de desagüe

o eventos de precipitaciones máximas que aumentan el volumen almacenado, ver **Figura 12.**



**Figura 12. Falla de presas de relaves (colas) por desbordamiento o rebese.**  
Fuente: ATG Ltda., 2020.

Se deben realizar estudios hidrológicos generales y detallados del área de influencia del proyecto donde se establezca la ubicación de cuerpos de agua superficiales (ríos, quebradas, lagos, lagunas, humedales) y subterráneos (acuíferos) que pueden aumentar su nivel, desencadenando eventos que generen riesgo a nivel hidrológico en el sitio de ubicación de la presa de relaves (colas), por lo cual es necesario el diseño y puesta en marcha de sistemas para el manejo de las aguas que permitan una eficiente operación de la presa de relaves (colas), como canales perimetrales, desagües, sistemas de by-pass de crecidas (Hidráulica).

Es importante tener en cuenta los fenómenos asociados al Cambio Climático y las variaciones en las que la temporada invernal puede tener niveles pico tanto en excesos y déficits de agua deben incluirse en la gestión del manejo del recurso, evitando pérdidas en los procesos de transformación o infiltraciones que pueden afectar el nivel freático y su composición a raíz de la generación de drenajes ácidos o alcalinos. Por tal motivo, es necesario pensar en tecnologías de uso eficiente de los relaves (filtrados o espesados) y el reúso de las aguas utilizadas.



**Figura 13. Rebese de presa de relaves, estanque de decantación - aguas claras adosadas al muro resistente de presa de relaves.**  
Fuente: Tailing.info, 2017.

### 3.7.4 Falla de la fundación

Este tipo de falla se genera debido generalmente por falta información o malinterpretación de antecedentes del sector de emplazamiento de la presa (geología, hidrogeología y geotecnia, entre otros). Si existe un estrato de suelo débil o roca blanda, situada a una reducida profundidad bajo la estructura, se podrían generar movimientos a lo largo de un plano de falla si el peso de la presa de relaves (colas) produce esfuerzos que superen la resistencia al corte de los suelos que conforman el estrato débil.<sup>46</sup>

Se debe conocer la geología del sitio de la presa de relaves (colas), realizar la exploración geotécnica necesaria para conocer la estructura y las propiedades geomecánicas e hidráulicas de la fundación. También, es necesario que exista un proyecto de la fundación, aunque éste quede finalmente integrado en el proyecto general de la obra.

### 3.7.5 Erosión Interna o Tubificación

La erosión interna o tubificación se genera por un arrastre progresivo de las partículas más finas que conforman el material empleado para la construcción del muro resistente o aquel que constituye el suelo de fundación de la presa<sup>47</sup>.

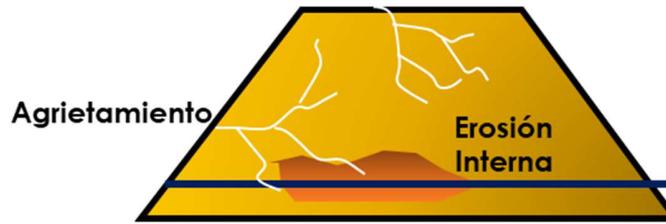


**Figura 14. Por erosión interna.**  
Fuente: Gentileza Grupo de Geotecnia PUCV.

Para prevenir fallas por tubificación es necesario el conocimiento de los materiales, tanto de la presa como de la fundación y de los residuos almacenados. También es necesario un proyecto adecuado de la estructura de retención y de la fundación en particular en lo que hace referencia a filtros y drenes. Tienen también importancia el control de calidad en la construcción, la operación de la presa y las prácticas de monitoreo.

<sup>46</sup> Tomado y Modificado de la Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes elaborada por SERNAGEOMIN, 2018.

<sup>47</sup> Tomado y Modificado de la Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes elaborada por SERNAGEOMIN, 2018.



**Figura 15. Falla de presas de relaves (colas) por tubificación.**  
Fuente: ATG Ltda., 2020.

### 3.7.6 Falla de estructuras auxiliares

Es necesario un cálculo correcto de los volúmenes de agua y caudales a manejar en la presa de relaves (colas) en situaciones de operación normal y extraordinaria (Hidrología). Se requiere además de un proyecto hidráulico y estructural de los conductos de decantación, tuberías de transporte de colas, sistemas de drenaje, vertederos y sistemas de bypass.

### 3.7.7 Erosión

La prevención de las fallas por erosión de taludes requiere de un correcto cálculo de las crecidas que pudieran ocurrir en cursos de agua vecinos a la presa. Además, es necesario que el proyecto y la operación contemplen los riesgos que implican el almacenamiento o conducción de agua cerca del pie del talud de la presa.

### 3.7.8 Subsistencia de minas activas o abandonadas

La prevención de este tipo de fallas requiere del conocimiento de la geología del subsuelo en donde se funda la presa y de una previsión de los efectos que puede ocasionar cualquier actividad subterránea en su vecindad.

### 3.7.9 Generación de Drenaje Ácido Minero (DAM)

En la Guía de Drenaje Ácido Global de Roca, INAP (2014) establece que el drenaje ácido de roca se forma por la oxidación natural de minerales sulfurosos cuando son expuestos al aire y al agua. Las actividades que involucran la excavación de rocas con minerales sulfurosos, tales como la minería de metal y carbón, aceleran el proceso. El drenaje resultante del proceso de oxidación puede ser de neutro a ácido, con o sin metales pesados disueltos, pero siempre con contenido de sulfatos. Los minerales sulfurosos en los depósitos de mineral se forman bajo condiciones reductoras en la ausencia de oxígeno. Cuando se exponen al oxígeno atmosférico o a aguas oxigenadas debido a la minería, el procesamiento del mineral, excavación

u otros procesos de movimiento de tierras, los minerales sulfurosos pueden volverse inestables y oxidarse.

Para el caso de las presas de relaves es necesario identificar el potencial de generación de Drenaje Ácido Minero (DAM) y en caso de presentarse realizar el monitoreo, seguimiento y tratamientos necesarios para su control.

### **3.8 Economía Circular**

Durante la fase de operación, también es importante presentar a los titulares y operadores mineros alternativas sobre el uso posterior de los relaves (colas). Existen experiencias en otros países como, por ejemplo, su utilización como relleno en labores mineras subterráneas abandonadas, eliminando así el mantenimiento y vigilancia de una estructura que alberga relaves (colas), y disminuyendo o eliminando la subsidencia y los efectos que la minería subterránea tiene a lo largo de los años, una vez las labores son abandonadas.

El costo de manejar los residuos sólidos y líquidos es alto, siendo que los operadores mineros intentan localizar las presas de relaves (colas) lo más cerca posible a la planta de procesamiento de minerales, minimizando costos de transporte (utilizando la fuerza de la gravedad, transporte por canaletas, tubería o bombes) y reutilizando el agua contenida en ellos mediante un proceso de decantación y acumulación en la laguna de decantación o de aguas claras. El agua de la laguna puede ser bombeada o evacuada nuevamente a la planta de transformación del mineral.

En los documentos evaluados para la construcción de Lineamientos, se evidenciaron algunas investigaciones desarrolladas en otros países para formular y proponer una alternativa de solución a la problemática ambiental crítica referente a los relaves (colas), mediante la aplicación de un valor agregado de manera directa al relave, que permita el reusó del material de relave bajo la forma de agregado de construcción para la fabricación de ladrillos y baldosas.

Otra idea que nace y ha sido planteada por diferentes investigadores es la reprocesamiento de los relaves (colas), que se basa en que, en la pequeña y la minería de subsistencia en la mayoría de los casos, los metales no han sido aprovechados en su totalidad; por ende, es importante caracterizar los relaves (colas) existentes con el fin de reprocesarlos; y luego, después de retirar todo lo económicamente explotable, pensar en procesos de beneficio y transformación post.

## 4. METODOLOGÍA

Para la conceptualización y elaboración de la propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos de la actividad minera relacionados con las presas de relaves (colas), se tomó como base la información obtenida en las reuniones desarrolladas con empresas mineras, mesas de trabajo con actores del sector y documentos nacionales e internacionales recopilados, revisados y analizados en el desarrollo de la presente consultoría.

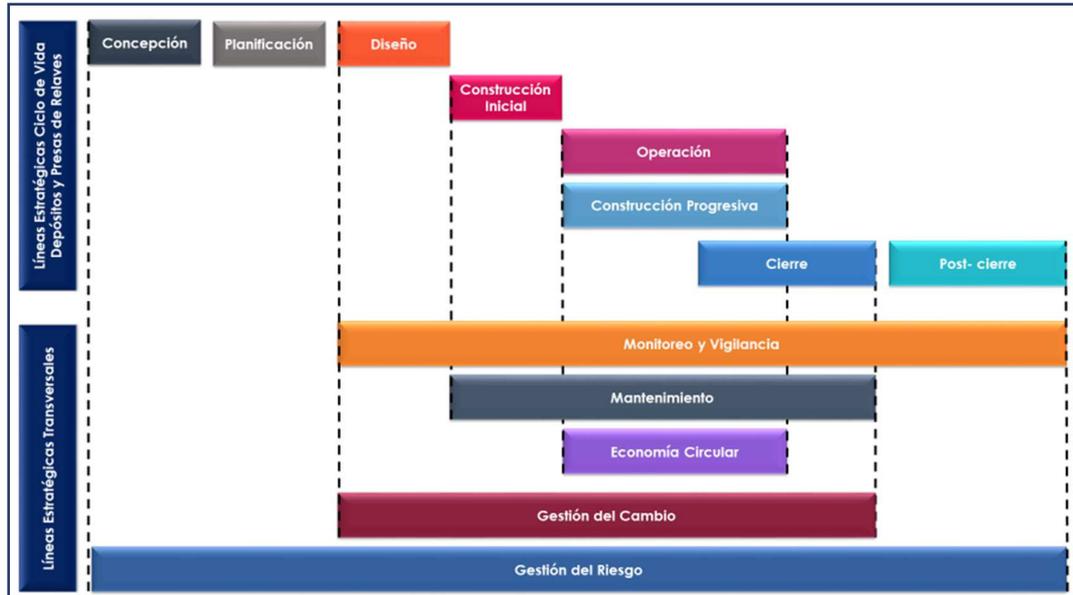
La construcción de los lineamientos fue realizada por el equipo de trabajo de ATG Ltda., conformado por profesionales en diferentes áreas de la ingeniería de minas, geotecnia, geología e ingeniería ambiental, a través del método heurístico de análisis, en donde se evaluó conjuntamente la información recopilada identificando y seleccionando aspectos, criterios, directrices, buenas prácticas y técnicas disponibles a nivel internacional, que fueran aplicables al sector minero colombiano, teniendo en cuenta las particularidades del mismo y del territorio.

Las líneas estrategias para la construcción de los lineamientos corresponden a las etapas del ciclo de vida de las presas de relaves (colas) (Concepción, Planificación Diseño, Construcción Inicial, Operación y Construcción Progresiva, Cierre y Post Cierre) y a los aspectos fundamentales identificados para la gestión y manejo transversal de estas estructuras, correspondientes al Mantenimiento, Monitoreo y Vigilancia, Gestión del Riesgo, Gestión del Cambio y Economía Circular. Las líneas estratégicas fueron definidas a partir del análisis de información contenida en los diferentes documentos nacionales e internacionales revisados y las reuniones y mesas de trabajo desarrolladas con actores del sector minero colombiano, ver **Figura 16**.

Teniendo en cuenta las Líneas Estratégicas ya establecidas, se buscó una definición oficial de Lineamiento para lograr identificar una interrelación entre estos conceptos, obteniendo que es una orientación de carácter general, corresponde a una disposición o directriz que debe ser implementada en las entidades del Estado colombiano (<https://www.mintic.gov.co/arquitecturati/630/w3-article-9471.html>).

A partir del conocimiento y definición de cada **Línea Estratégica**, y del significado del concepto de **Lineamiento**, se formularon cuestionamientos respecto a un proyecto minero que involucrase la generación de relaves, para satisfacer un paso a paso para cada Línea; con base en esos planteamientos a modo de inquietudes, se fueron creando los Lineamientos, y se añadió a cada lineamiento específico el enfoque de directriz; es decir, que se necesita? o quiere conocer?, que para esta estructura se va a denominar **Componente**; cada componente debe tener un propósito o **Alcance**, bajo el interrogante de para qué necesitamos conocer ese componente?; pregunta que se resuelve con la **Actividad o Información**

**Requerida**, que se sintetizaría en el cómo logramos construir dicha información para satisfacer el lineamiento planteado?, ver **Figura 17**.



**Figura 16. Relación de Líneas Estratégicas asociadas a las presas de relaves (colas).**  
 Fuente: ATG Ltda., 2020.

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**, ver **Figura 17**.



**Figura 17. Estructura de Líneas Estratégicas y Lineamientos para los procesos relacionados con presas de relaves (colas).**  
Fuente: ATG Ltda., 2020.

## 5. LINEAMIENTOS PARA LOS PROCESOS RELACIONADOS CON PRESAS DE RELAVES (COLAS) MINEROS

Se elaboraron un total de veinte nueve (29) Lineamientos formulados para las Líneas Estratégicas definidas, ver **Tabla 1**. En cada Lineamiento se desarrollan, los Componentes, Alcances e información necesaria para su aplicación. Los cuales se presentan en las **Tablas 2 a la 13**.

**Tabla 1. Líneas estratégicas y número de lineamientos.**

Línea Estratégica	Numero de Lineamientos
Concepción	3
Planificación	2
Diseño	2
Construcción Inicial	4
Operación y Construcción Progresiva	3
Cierre	4
Post Cierre	3
Mantenimiento	1
Monitoreo y Vigilancia	1
Gestión del Riesgo	1
Gestión del Cambio	1
Economía Circular	4

*Fuente: ATG Ltda., 2020.*

Los lineamientos formulados se estructuran teniendo como objetivo la estabilidad física y química de las presas a lo largo de su ciclo de vida en el marco de la identificación, prevención y manejo del riesgo asociado (Ver Figura 18.) , La base para el manejo adecuado de los relaves (colas) parte en concepción, planificación y diseño de las estructuras donde se definen características del yacimiento, se realizan una caracterización regional y detallada del área de influencia de la estructura, se determinan propiedades de los relaves a generar, ubicación de la estructura para posteriormente realizar los diseños detallados que contemplen la construcción, operación, cierre, post cierre y monitoreo y vigilancia de estas. La construcción de estas estructuras debe realizarse teniendo en cuenta la mayor rigurosidad y detalle establecido previamente en lo diseños formulados que de ser modificados o alterados sin contemplar la estabilidad física de las estructuras puede aumentar el riesgo intrínseco asociado a estas. La operación de las presas comprende alistamiento, transporte y descarga de los relaves (colas), en donde se deben realizar un monitoreo y vigilancia constante a estas actividades y condiciones de la infraestructura y riesgos identificados.

El aumento o realce de las presas de relaves se determina a partir de la capacidad de diseño formulada y generación de los relaves (colas) lo que se ve influenciado por dinámicas del mercado, capacidad, tecnología y factores asociados. En las etapas de cierre y post cierre de las presas de relaves (colas) se deben comprender actividades encaminadas a mantener y preservar la estabilidad física y química de las estructuras, mediante rehabilitación de las áreas intervenidas, adecuaciones,



compensaciones. Las actividades de mantenimiento, vigilancia y monitoreo se convierten en transversales en las etapas del ciclo de vida de las presas de relaves (colas) ya que permiten identificar, controlar, prever, riesgo asociados a estas.



Figura 18. Estructura de manejo y gestión presas de relaves (colas).

Fuente: ATG Ltda., 2020.

**Tabla 2. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Concepción.**

N°	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
1	<b>DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO MINERO ASOCIADAS A LA GENERACIÓN Y VOLUMEN DE RELAVES (COLAS)</b>	Tipo de Yacimiento a Explotar (tipo de roca encajante, minerales de mena y asociados a explotar)	Conocer el potencial de generación colas; y de drenajes ácidos y procesos de lixiviación a partir de relaves (colas)
		Categorización de Recursos y Reservas (Volúmenes de material a explotar)	Calcular el volumen proyectado de generación de relaves (colas)
2	<b>LEVANTAR LÍNEA BASE A NIVEL REGIONAL PARA SELECCIONAR Y JERARQUIZAR ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS)</b>	Topografía	Definir rasgos topográficos, existencia de depresiones o morfologías adecuadas para ubicar la presa de relaves (colas).
		Geología	Definir rasgos geológicos y estructurales regionales, características composicionales del subsuelo y su relación con la favorabilidad para ubicar la presa de relaves (colas).
		Geomorfología	Identificar procesos de inestabilidad de laderas, con énfasis en remoción en masa y erosión e intervenciones antrópicas que afecten la ubicación de la presa de relaves (colas).
		Hidrogeología	Identificar y caracterizar el agua subterránea - acuíferos sobre las áreas potenciales en donde se ubicará la presa de relaves (colas).
		Sismicidad	Definir las condiciones de amenaza sísmica de las áreas evaluadas sobre las que potencialmente se ubicará la construcción de la presa de relaves (colas).
		Hidrología e Hidráulica	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 de relaves (colas).
		Usos y Tipos de Suelos	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 de relaves (colas).
		Evaluación Geotécnica	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 de relaves (colas).
		Restricciones Ambientales	Determinar Áreas de Importancia Ecológica, Áreas Protegidas y Zonas de Exclusión Minera, expresamente designadas en la normatividad colombiana
		Componente Socioeconómico y Cultural	Identificar las principales características socioeconómicas de la población y su relación con el proyecto de la presa de relaves (colas)

N°	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
3	<b>DEFINIR UBICACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS) CON BASE EN UN ANÁLISIS INTEGRAL TÉCNICO Y SOCIO ECONÓMICO</b>	Ubicación de la Presa de relaves (colas)	Analizar de manera integral involucrando las temáticas evaluadas desde los componentes técnicos, ambientales y socio económicos a escala regional.

**Tabla 3. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Planificación.**

N°	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
4	<b>ELABORAR LÍNEA BASE DE CONOCIMIENTO A ESCALA DETALLADA DEL ÁREA DE UBICACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS)</b>	Topografía	Representar el sitio de la presa de relaves (colas) de forma esquemática y detallada, para el logro de una adecuada lectura de la información, que permita ubicar el proyecto con sus respectivas obras de soporte y complementarias y, que sirva de base para las cartografías temáticas, con el fin de dimensionar los respectivos diseños de la infraestructura a construir y/o adecuar
		Geología	Elaborar el modelo geológico detallado como insumo para la construcción del modelo geológico-geotécnico local
		Hidrogeología	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 de relaves (colas)
		Análisis Geotécnico y Estudio de Sismicidad	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 de relaves (colas).
		Hidrología e Hidrografía	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 de relaves (colas)
		Infraestructura Existente y por Construir	Identificar y caracterizar vías de acceso, estado y clasificación. Asimismo, definir la infraestructura existente asociada al

N°	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
			proyecto, y la infraestructura por construir para la operación de una presa de relaves (colas).
		Oferta de Materiales para Construcción	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 o presa
5	<b>DEFINIR CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS AL BENEFICIO Y TRANSFORMACIÓN DEL MINERAL PARA EVALUAR ALTERNATIVAS SOBRE EL TIPO DE RELAVES (COLAS) Y DISPOSICIÓN (PRESA), TRANSPORTE DE RELAVES (COLAS) Y MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LA ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN</b>	Especificación del Proceso de Beneficio y Transformación Incluyendo el Transporte de los relaves (colas) y la Infraestructura de Disposición	Definir el proceso de beneficio y transformación al que se someterá el material extraído del yacimiento para convertirlo en relaves (colas), el medio transporte utilizado para llevarlas al destino temporal-final, el tipo de relave (cola) según disposición (presa) y tipo de presa de relaves (colas) para finalizar la etapa de planificación

**Tabla 4. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Diseño.**

	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
6	<b>ESTABLECER CRITERIOS PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DE LAS PRESAS DE RELAVES (COLAS)</b>	Estabilidad Física y Química	Los diseños deben realizarse teniendo como objetivo garantizar la estabilidad física y química de las presas de relaves (colas), al igual que la estabilidad física de la infraestructura asociada y del área de influencia.
7	<b>REALIZAR EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN (PRESA), INSTALACIONES, SISTEMAS Y TRATAMIENTOS PARA EL MANEJO Y GESTIÓN DE LOS RELAVES (COLAS) MINEROS</b>	Diseños con enfoque hacia el cierre y post cierre.	Elaborar diseños enfocados a las etapas de cierre y post cierre de la presa 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.
		Capacidad para el manejo y Gestión de Relaves	Elaborar diseños que estén acordes al volumen proyectado de generación de relaves (colas) y capacidad de almacenamiento la presa de relaves (colas)..

	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
		Adecuación del Terreno	Definir los diseños de las obras relacionadas con la adecuación del terreno para la construcción de las presas de relaves (colas) e infraestructura asociada.
		Método Constructivo de la Presa de Relaves (Colas)	Realizar el diseño del método seleccionado para la construcción de la presa de relaves (colas).
		Método de Transporte de Relaves (Colas)	Elaborar los diseños de los sistemas de transporte para la disposición de los relaves (colas).
		Método de Tratamiento de los Relaves (Colas)	Realizar el diseño de los sistemas de tratamiento de relaves (colas) según el tipo de disposición seleccionada, áreas disponibles y manejo planteado.
		Manejo de Aguas Subterráneas y Superficiales	Diseñar los sistemas de drenaje y recirculación para el manejo de las aguas subterráneas y superficiales.
		Métodos de Tratamiento de Agua	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 de relaves (colas).
		Sistemas de Monitoreo	Realizar el diseño de los sistemas de monitoreo y vigilancia de la estabilidad física y química de las presas de relaves (colas)
		Instalaciones Complementarias	Realizar diseños de las instalaciones y sistemas complementarios, necesarios para la gestión de las presas de relaves (colas) e infraestructura asociada.

**Tabla 5. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Construcción Inicial**

	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
8	<b>REALIZAR EL REPLANTEO DE LA TOPOGRAFÍA CON INCLUSIÓN DE OBRAS DE DISEÑO</b>	Validación del Diseño Geométrico, Respecto a la Topografía, Localización de las Estructuras y Obras a Construir	Simular el diseño con base en el replanteo topográfico con énfasis en la ubicación de obras y estructuras a realizar
9	<b>ADECUAR EL ÁREA DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS) PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE OBRAS</b>	Retiro de la Infraestructura Existente en el Área del Proyecto	Demoler la infraestructura existente y retirar los residuos
		Retiro y acopio de Vegetación y Descapote	Despejar el área del proyecto para la implementación de las obras e instalaciones relacionadas con la presa de relaves (colas) mediante el retiro de vegetación y descapote del suelo que será acopiado para su uso futuro en los procesos de

	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
			revegetalización de las áreas de influencia o ubicación de presas de relaves (colas)
10	<b>CONSTRUIR OBRAS DE RECOLECCIÓN Y CANALIZACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES, SUBSUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS</b>	Construcción de Drenajes Subsuperficiales (Filtros)	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
		Construcción de Canales Perimetrales a la Presa de Relaves (Colas)	Conformar la sección de un canal perimetral a la presa de relaves (colas) que recolecte las aguas superficiales y aguas de precipitaciones
11	<b>EVALUAR LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS) CON ÉNFASIS EN LA ESTABILIDAD FÍSICA DEL MURO DE CONTENCIÓN</b>	Caracterización del material de construcción del muro inicial	Realizar la caracterización de los materiales utilizados para la construcción del muro inicial de la presa de relaves (colas) estableciendo y asegurando que se cumpla con las especificaciones del diseño previamente realizado.
		Construcción de la Presa de Relaves (Colas)	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
		Protección de las Caras de los Taludes del Muro de Contención de la Erosión	Revestir todas las caras de los muros de contención de la presa de relaves (colas) para evitar la erosión
		Construcción de las Obras de Monitoreo y Control	Instalar piezómetros, inclinómetros y mojones de topografía

**Tabla 6. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Operación y Construcción Progresiva.**

	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
12	<b>REALIZAR EL ALISTAMIENTO, TRANSPORTE Y DESCARGA DE LOS RELAVES (COLAS)</b>	Alistamiento, Transporte y Descarga De Los Relaves (Colas)	Realizar el alistamiento, transporte y descarga de los relaves (colas) según el método seleccionado para su disposición
13	<b>REVISAR EL VOLUMEN DE AGUA Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS RELAVES ALMACENADOS EN LA PRESA</b>	Volumen de agua y porcentaje de humedad de los relaves (colas) almacenados en la presa de relaves	Controlar periódicamente el volumen del agua y la humedad de los relaves (colas) almacenados, respecto a las especificaciones de diseño definidas.
14	<b>AUMENTAR LA ALTURA Y CAPACIDAD DE LA ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN O PRESA DE RELAVES (COLAS)</b>	Realce de la Presa de Relaves (Colas)	Levantar el muro de contención de la presa según el método constructivo seleccionado durante el diseño.

**Tabla 7. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Cierre.**

	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
15	<b>ACTUALIZAR LÍNEA BASE DE CONOCIMIENTO DETALLADA RELACIONADA CON LA PRESA DE RELAVES (COLAS)</b>	Topografía	Levantamiento topográfico del sitio de ubicación y área de influencia de la presa 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.
		Hidrogeología	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 de relaves (colas)
		Evaluación Geotécnica	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), tanto de para la los materiales de presa en su estado de cierre.
		Hidrología e Hidrografía	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 de relaves (colas).
16	<b>ACTUALIZAR LA CARACTERIZACIÓN ASOCIADA A LA ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DE RELAVES Y COLAS</b>	Estabilidad Física de las Colas y/o Relaves	Determinar los parámetros geomecánicos de los relaves (colas) en la etapa de cierre
		Estabilidad Química de las Colas y/o Relaves	Determinar los parámetros geoquímicos de los relaves (colas) en la etapa de cierre
17	<b>DESMANTELAR, REHABILITAR Y RECUPERAR ÁREAS AFECTADAS</b>	Construcción de Obras Adicionales (zanjas con ductos, derivaciones del agua)	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
		Desmantelamiento y Demolición	Demolición de las estructuras remanentes después del desmantelamiento
18	<b>DOCUMENTAR LA INFORMACIÓN TÉCNICA, AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICA RELACIONADA CON</b>	Entrega de Registro y Soportes Documentales del Cierre de la Presa de Relaves	Elaborar un documento que integre la información técnica sobre la etapa de cierre de la presa de relaves (colas) como soporte

	<b>LINEAMIENTO</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>ALCANCE</b>
	<b>EL CIERRE DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS)</b>		ante una rendición de cuentas al público general y a la institucionalidad local, regional y nacional

**Tabla 8. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Post Cierre.**

	<b>LINEAMIENTO</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>ALCANCE</b>
19	<b>ACTUALIZAR LA CARACTERIZACIÓN ASOCIADA A LA ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DE RELAVES Y COLAS</b>	Estabilidad Física de las Colas y/o Relaves	Determinar los parámetros geomecánicos de los relaves (colas) en la etapa de post cierre
		Estabilidad Química de las Colas y/o Relaves	Determinar los parámetros geoquímicos de los relaves (colas) en la etapa de post cierre
20	<b>ENTREGA DE ACTIVIDADES, INSTALACIONES, OBRAS Y RESULTADOS DE LA ETAPA DE CIERRE</b>	Mitigar, Controlar y Compensar Impactos Socioeconómicos Causados por el Cierre	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
21	<b>DOCUMENTAR LA INFORMACIÓN TÉCNICA, AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICA RELACIONADA CON EL POST CIERRE DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS)</b>	Entrega de Registro y Soportes Documentales del Post Cierre de la Presa de Relaves	Elaborar un documento que integre la información técnica sobre la etapa de post cierre de la presa de relaves (colas) como soporte ante una rendición de cuentas al público general y a la institucionalidad local, regional y nacional

**Tabla 9. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Mantenimiento.**

	<b>LINEAMIENTO</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>ALCANCE</b>
22	<b>REALIZAR ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PARA PRESERVAR LA OPERATIVIDAD Y ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS) E</b>	Mantenimiento Preventivo	Realizar el mantenimiento preventivo de las estructuras, equipos, sistemas necesarios para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineras
		Mantenimiento Predictivo	Realizar el mantenimiento predictivo de las estructuras, equipos, sistemas necesarios para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineras

	<b>INFRAESTRUCTURA ASOCIADA A LO LARGO DE SU CICLO DE VIDA</b>	Mantenimiento Correctivo	Realizar el mantenimiento correctivo de las estructuras, equipos, sistemas necesarios para el manejo y gestión de los relaves (colas) mineras
--	--	--------------------------	---

**Tabla 10. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Monitoreo y Vigilancia.**

	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
23	<b>DISEÑAR Y EJECUTAR UN PROGRAMA DE MONITOREO, VIGILANCIA Y VERIFICACIÓN PERIÓDICA MEDIANTE LA TOMA DE DATOS QUE PERMITAN CONTROLAR LA ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DE LA ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS) EN TODO EL CICLO DE VIDA INCLUYENDO EL CIERRE Y POST CIERRE</b>	Monitoreo y Vigilancia de la Presa de Relaves (Colas)	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) de la presa de relaves (colas), así como la periodicidad tanto de la toma de datos como de su análisis integral
		Monitoreo y Vigilancia a las Características Físicas y Químicas de los Relaves (Colas)	Ejecutar la caracterización fisicoquímica de los relaves (colas) almacenadas y de las aguas en la presa (decantadas)
		Monitoreo y vigilancia a las aguas superficiales y subterráneas	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, así como su manejo en condiciones de rutina y ante eventos relacionados con Cambio Climático (Fenómeno del Niño, o de la Niña).
		Monitoreo y Vigilancia del Área de Influencia.	Implementar el manejo de las aguas superficiales y verificar el comportamiento de las aguas subterráneas y el estado de suelos.
Responsabilidad del Monitoreo y Vigilancia	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.)		

**Tabla 11. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Gestión del Riesgo.**

	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
24	<b>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 DE RELAVES (COLAS)</b>	Conocimiento, Identificación, Análisis y Evaluación del Riesgo	Identificar eventos amenazantes sobre la estructura, actividades y obras que soporten la construcción, operación y mantenimiento de la presa de relaves (colas); definir áreas de afectación, y realizar un análisis del riesgo.
		Plan de Reducción del Riesgo	Elaborar el Programa de Gestión del Riesgo con políticas y estrategias para prevenir y reducir los riesgos y minimizar los efectos negativos
		Plan de Manejo de Contingencias	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

**Tabla 12. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Gestión del Cambio**

	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
25	<b>CONTEMPLAR Y PREVEER CAMBIOS Y MODIFICACIONES QUE SE PRESENTEN A LO LARGO DEL CICLO DE VIDA DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS)</b>	Factores, Aspectos y Actividades que pueden Generar Cambios y Modificaciones Relevantes	Adaptarse de manera adecuada a los cambios, modificaciones y afectaciones que se puedan presentar a lo largo del ciclo de vida de la presa de relaves (colas)

**Tabla 13. Lineamientos, componente y alcance Línea Estratégica Economía Circular.**

	LINEAMIENTO	COMPONENTE	ALCANCE
26	<b>GENERAR MEDIDAS PARA EL REPROCESAMIENTO DE RELAVES (COLAS) PARA LA OBTENCIÓN DE MINERALES DE MENA</b>	Reprocesamiento de Relaves (Colas) para Extraer Minerales de Mena	Lograr un aprovechamiento y optimización de minerales de mena en los relaves (colas) depositados
27	<b>UTILIZAR RELAVES (COLAS) MEDIANTE EL MÉTODO DE RETROLLENADO PARA SELLAR</b>	Uso de Relaves (Colas) como Material de Relleno en el Cierre de Labores Subterráneas	Disminuir volúmenes de almacenamiento y la huella superficial.

	<b>LINEAMIENTO</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>ALCANCE</b>
	<b>LABORES SUBTERRÁNEAS EN ETAPA DE CIERRE</b>		
<b>28</b>	<b>EVALUAR, INVESTIGAR E IMPLEMENTAR PROCESOS PARA EL REUSO DE RELAVES (COLAS) COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN</b>	Reusó de Relaves (Colas) como Materiales de Construcción	Utilizar otros minerales que componen los relaves (colas) como materiales de construcción o elementos para fabricación de ladrillos, postes, baldosas, etc.
<b>29</b>	<b>VERIFICAR LA POSIBILIDAD DE REUTILIZACION DE LAS AGUAS QUE SOBRENADAN EN LA PRESA DE RELAVES (COLAS)</b>	Reúso de aguas como insumo para el proceso de transformación de los minerales	Efectuar caracterización fisicoquímica de las aguas claras que sobrenadan en la presa 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.



## 5.1 Línea Estratégica 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 desechos (relaves o colas), y por ende requieren de un lugar en donde se almacenen, ya sea de manera temporal o definitiva.

Por lo tanto, para esta Línea Estratégica se propone como primer Lineamiento la definición de las características composicionales del yacimiento minero, para conocer tanto la generación de desechos como también tener un conocimiento previo sobre la generación de aguas ácidas o alcalinas de mina. Los resultados de dicha caracterización son materia prima y debe ser incluido en el plan de la mina y los planes para la planificación y diseño del procesamiento de minerales.

Además, se propone una evaluación de alternativas para la ubicación de la presa, que tenga en cuenta una amplia gama de factores y debe estar a cargo de un estudio y equipo multidisciplinario en consonancia con las condiciones exclusivas de la presa de relaves (colas).

Existe un conjunto de métodos conocidos como análisis de decisiones con varios criterios. La fortaleza de dichos instrumentos radica en que proporcionan un método riguroso y semicuantitativo de comparación de elementos muy diferentes. Adicionalmente, estos métodos proporcionan un medio para que los prejuicios y la subjetividad inherentes sean más transparentes, y para que luego se puedan examinar mediante un análisis de sensibilidad.

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 de relaves (colas). Las temáticas analizadas se encaminan a revisar los impactos que la presa generaría al medio 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 para el futuro del 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 que se empleará para el manejo de relaves.

## LINEAMIENTO 1: DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO MINERO ASOCIADAS A LA GENERACIÓN Y VOLUMEN DE RELAVES (COLAS)

**Componente 1: Tipo de Yacimiento a Explotar (tipo de roca encajante, minerales de mena y asociados a explotar).**

### I. Alcance

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

### II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

### III. 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).

### IV. ¿Cómo determinar las características de yacimiento y volumen de relaves (colas)?

#### a) Caracterización geoquímica

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.

**Componente 2: Categorización de Recursos y Reservas (Volúmenes de material a explotar).**

### I. Alcance

Calcular el volumen proyectado de generación de relaves (colas).

## II. Etapa del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

## III. 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 de relaves (colas))

## IV. ¿Cómo determinar las características de yacimiento y volumen de relaves (colas)?

Diseñar y ejecutar un método de prospección en el que se incluya como mínimo un método (geoeléctrico, 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.



## **LINEAMIENTO 2: LEVANTAR LÍNEA BASE A NIVEL REGIONAL PARA SELECCIONAR Y JERARQUIZAR ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS)**

### ***Componente 1: Topografía.***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

#### **III. 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 de relaves (colas).

#### **IV. ¿Cómo se definen los rasgos topográficos para la ubicación de la presa de relaves?**

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 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.

### ***Componente 2: Geología.***

#### **I. Alcance**

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

## II. Etapa del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

## III. Información requerida

Mapa fotogeológico y geológico de las áreas de ubicación de la presa 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.

## IV. ¿Cómo determinar la geología general y regional?

Ubicar 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.

### **Componente 3: Geomorfología.**

#### I. 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 de relaves (colas).

#### II. Etapa del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

#### III. Información requerida

Mapa geomorfológico de las áreas de ubicación de la presa 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.

#### IV. ¿Cómo se identifican los procesos de inestabilidad?

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.

## **Componente 4: Hidrogeología.**

### **I. Alcance**

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

### **II. Etapas del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

### **III. Información requerida**

Mapa hidrogeológico de las áreas de ubicación de la presa 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.

### **IV. ¿Cómo identificar la presencia de agua subterránea?**

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.

## **Componente 5: Sismicidad.**

### **I. Alcance**

Definir las condiciones de amenaza sísmica de las áreas evaluadas sobre las que potencialmente se ubicará la construcción de la presa de relaves (colas).

### **II. Etapas del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

### **III. Información requerida**

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



#### **IV. ¿Cómo identificar el nivel de amenaza sísmica presente en el área susceptible de ser utilizada para ubicar la presa de relaves (colas)?**

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.

### **Componente 6: Hidrología e Hidráulica.**

#### **I. 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 de relaves (colas).

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

#### **III. 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 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.

#### **IV. ¿Cómo acceder a la información hidroclimatológica de la zona de estudio?**

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 de relaves (colas). Asimismo, verificar con cartografía de diferentes tiempos, el comportamiento de los cuerpos de agua presentes en la zona de estudio, con el fin de determinar la envolvente de divagación.

### **Componente 7: Usos y Tipo de Suelos.**



## I. 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 de relaves (colas).

## II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

## III. Información requerida

Elaboración de cartografía de suelos de las áreas de ubicación de la presa 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.

## IV. ¿Cómo elaborar la cartografía de los suelos

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 el conflicto de uso.

### ***Componente 8: Evaluación Geotécnica.***

## I. 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 de relaves (colas).

## II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

## III. 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.

#### **IV. ¿Cómo identificar la estabilidad geotécnica de la zona donde se busca construir la presa de relaves (colas)?**

Con base en la topografía y los análisis de laboratorio de los materiales sobre los que se soportará la presa 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.

### ***Componente 9: Restricciones Ambientales.***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

#### **III. 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.

#### **IV. ¿Cómo identificar las áreas de importancia ecológica presentes en el área de estudio?**

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).

### ***Componente 10: Componente Socioeconómico y Cultural.***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

### III. Información requerida

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

### IV. ¿Cómo se levanta la información socioeconómica y cultural del área objeto de estudio?

Verificar en el instrumento de ordenamiento territorial que tenga el municipio donde se proyecta construir la presa 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).



## **LINEAMIENTO 3: DEFINIR UBICACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS) CON BASE EN UN ANÁLISIS INTEGRAL TÉCNICO Y SOCIOECONÓMICO**

### ***Componente 1: Ubicación de la Presa de relaves (colas).***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

#### **III. 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.

#### **IV. ¿Cómo integrar la información analizada para justificar la alternativa seleccionada de ubicación de presa de relaves (colas)?**

Con base en la información obtenida en las temáticas expuestas junto con los componentes, presentar las razones de tipo técnico y fusionarlas con las razones de tipo social y económico que permitan concluir la conveniencia de la construcción de la presa de relaves (colas) en el sitio determinado. Las conclusiones deben ser contundentes y en caso de que no lo sean, diseñar planes de acción en los lineamientos siguientes que permitan garantizar la estabilidad de la presa de relaves (colas), una vez se construya y entre en operación, así como en el cierre y post-cierre.



## 5.2 Línea Estratégica Planificación

El inicio de la planificación comienza con el conocimiento de la ubicación definitiva de la presa 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 de relaves (colas) que se busca materializar.

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

Este lineamiento corresponde a las actividades de Factibilidad donde se alcanza el desarrollo de la alternativa seleccionada de ubicación de la presa de relaves (colas) y es importante el levantamiento topográfico a escala de detalle con el fin de tener la base de las obras civiles para evaluar las excavaciones y movimientos de tierra necesarios. Las interacciones de las temáticas utilizadas con la línea estratégica permiten dar paso al análisis de la información a detalle de ubicación de la presa de relaves (colas) con el fin de garantizar que se efectuó la selección correcta entre las alternativas propuestas. El aval de la etapa de factibilidad permitirá dar paso a la fase de Diseño.

Por lo anterior, la planificación incluye la obtención de información relevante a escala de detalle 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



## LINEAMIENTO 4: ELABORAR LÍNEA BASE DE CONOCIMIENTO A ESCALA DETALLADA DEL ÁREA DE UBICACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS)

### *Componente 1: Topografía.*

#### I. Alcance

Representar el sitio de la presa de relaves (colas) de forma esquemática y detallada, para el logro de una adecuada lectura de la información, que permita ubicar el proyecto con sus respectivas obras de soporte y complementarias y, que sirva de base para las cartografías temáticas, con el fin de dimensionar los respectivos diseños de la infraestructura a construir y/o adecuar.

#### II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

#### III. 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 con el volumen y la capacidad de almacenamiento.

#### IV. ¿Cómo se ejecuta la topografía de detalle?

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.

### *Componente 2: Geología.*

#### I. Alcance

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

#### II. Etapas del ciclo minero



Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

### III. 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.

### IV. ¿Cómo determinar la geología local)?

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 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.

## **Componente 3: Hidrogeología.**

### I. 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 de relaves (colas).

### II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

### III. 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 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 de relaves (colas).

### IV. ¿Cómo ejecutar un modelo hidrogeológico matemático)?

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 de relaves (olas). La información con la que se elabora el modelo se basa en la geología y su descripción. Con esto se puede definir si existen posibilidades 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, las condiciones de los flujos, el inventario de puntos de agua, las características hidráulicas como conductividad; y definición de formaciones

#### ***Componente 4: Análisis Geotécnico y Estudio de Sismicidad.***

##### **I. 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 de relaves (colas).

##### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

##### **III. Información requerida**

- a) 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).
- b) Caracterización y análisis cinemático del macizo para establecer la posibilidad de falla (grietas, movimientos, discontinuidades).
- c) Cartografía detallada a escala 1:2000 o mayor de unidades geológico-geotécnicas y unidades de sismicidad.
- d) Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza, del área de ubicación de la posible presa de relaves (colas).
- e) Hacer una relación de eventos sísmicos del área de estudio para determinar su frecuencia y periodicidad y asociarla al modelo geotécnico a construir.



#### IV. ¿Cómo se ejecuta el análisis geotécnico, incluyendo las condiciones de sismicidad del área donde se construirá la presa de relaves (colas)?

Con la topografía detallada y los análisis de laboratorio del suelo de fundación de la presa 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 la construcción de la presa de relaves (colas) en el sitio elegido.

### **Componente 5: Hidrología e Hidrografía.**

#### I. 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 de relaves (colas).

#### II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

#### III. 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 hídricas del área de influencia, susceptibles de ser intervenidas por la construcción de la presa.
- Tomar parámetros de acuerdo con el uso establecido (agrícola, recreativo, etc.), 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 planifican vertimientos a un cuerpo de agua, verificar su histórico fisicoquímico e hidrobiológico y compararlo con los resultados que contemple el vertimiento para definir los riesgos aguas abajo.



- f) Usos actuales y proyectados del agua que se pueden ver afectados por la construcción y operación de la presa (captación, generación de energía, riego, recreación, etc.).
- g) Conflictos actuales sobre disponibilidad y uso del agua, índice de escasez.
- h) Planificar la gestión del agua sobrenadante en la presa, así como la proveniente de filtraciones y determinar las actividades de manejo de erosión ocasionada por el manejo del agua.

#### **IV. ¿Cómo se procesa la información hidrológica e hidráulica?**

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 de relaves (colas).

#### ***Componente 5: Infraestructura Existente y por Construir.***

##### **I. 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 de relaves (colas).

##### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

##### **III. 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 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).

#### **IV. ¿Cómo se ubica la infraestructura existente y por construir?**

A través de la topografía de detalle, verificar las construcciones que puedan servir para la presa 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).

## **Componente 6: Oferta de Materiales para Construcción.**

### **I. Alcance**

Calcular los volúmenes disponibles, determinar 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 o presa.

### **II. Etapas del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

### **III. Información requerida**

- a) Disponibilidad de los materiales adecuados y suficientes para construir y de ser necesario, mantener y rehabilitar la presa en las fases posteriores al diseño (construcción, cierre, post-cierre). Verificar la disponibilidad de materiales para el revestimiento, de ser necesario.
- b) Ensayos de laboratorio para determinar las características ingenieriles, la competencia de los materiales disponibles para construir la presa 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 con los materiales elegidos para la construcción de la presa como, por ejemplo, potencial de generación de drenaje ácido-alcalino, potencial de erosión eólica e hídrica, entre otros)

### **IV. ¿Cómo se define la oferta de materiales de construcción susceptibles de ser utilizados en la construcción de la presa de relaves (colas)?**

Ubicar en el área de influencia del proyecto (para disminuir costos de transporte), las posibles fuentes de materiales competentes que sirvan para construir la presa de relaves (colas). 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 de relaves (colas).



## **LINEAMIENTO 5: DEFINIR CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS AL BENEFICIO Y TRANSFORMACIÓN DEL MINERAL PARA EVALUAR ALTERNATIVAS SOBRE EL TIPO DE RELAVES (COLAS) Y DISPOSICIÓN (PRESA), TRANSPORTE DE RELAVES (COLAS) Y MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LA ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN**

### ***Componente 1: Análisis del Proceso de Beneficio y Transformación Incluyendo el Transporte de los relaves (colas) y la Infraestructura de Disposición.***

#### **I. 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 de relaves (colas) para finalizar la etapa de planificación.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

#### **III. 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).
- Determinar el 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).
- Disposición de relaves (colas) (presa) con el diseño preliminar de la estructura y el método constructivo: (si es Presa: aguas arriba; aguas abajo; llenado central).
- Definición del tipo de disposición de los relaves (colas) (convencionales, espesadas, filtradas-secas y en pasta).

#### **IV. ¿Cómo determinar las características del beneficio y transformación de los minerales y su transición a relaves (colas)?**

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.

### 5.3 Línea Estratégica Diseño

La etapa de diseño comienza una vez se realicen los estudios detallados relacionados con el levantamiento de la línea base de conocimiento de la selección definitiva de la ubicación para la presa 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, cierre y post cierre de la presa de relaves e infraestructura asociada.

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

La presente línea estratégica corresponde a la Ingeniería Conceptual, que se aplica inicialmente para identificar la viabilidad tanto técnica como económica del proyecto y es la que marcará la pauta para el desarrollo de la ingeniería básica e ingeniería detallada.



## **LINEAMIENTO 6: ESTABLECER CRITERIOS PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS)**

### ***Componente 1: Estabilidad Física y Química.***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

#### **III. Información requerida**

Para garantizar la estabilidad química de la presa de relaves (colas) e infraestructura asociada los diseños deben realizarse a partir de los 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.

- a) Para garantizar la estabilidad física de las presas de relaves e infraestructura asociada, los diseños deben realizarse a partir de los 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.
- b) Los diseños deben desarrollarse contemplando factores de carga máxima, categoría de consecuencia de falla de la presa, 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.
- c) Los diseños deben someterse a modelación de escenarios de fallas o procesos que pudiesen generar inestabilidad de la presa 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.

#### **IV. ¿Cómo se garantiza que los diseños cumplen con los parámetros de estabilidad para la presa de relaves (colas)?**

El capital humano encargado de los diseños debe ser un equipo idóneo con experiencia comprobada en el área. Los diseños de ingeniería serán ejecutados únicamente con la información obtenida como 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.

## **LINEAMIENTO 7: REALIZAR EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN (PRESA), INSTALACIONES, SISTEMAS Y TRATAMIENTOS PARA EL MANEJO Y GESTIÓN DE LOS RELAVES (COLAS) MINEROS**

### ***Componente 1: Diseños con enfoque hacia el cierre y post cierre.***

#### **I. Alcance**

Elaborar diseños enfocados a las etapas de cierre y post cierre de la presa de relaves (colas), mediante planificación inicial y seguimiento durante todo el ciclo de vida de las estructuras.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

#### **III. Información requerida**

- a) Los diseños deben realizarse contemplando las etapas de cierre y post cierre de la presa de relaves (colas), estableciendo 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 y química a largo plazo.
- b) Los diseños se deben basar en la línea base general y detallada construida previamente, considerando la vida útil proyectada de la presa, cantidad de relaves (colas) a disponer, factores sociales y ambientales que se pueden ver afectados a largo plazo.

#### **IV. ¿Cómo se garantiza que los diseños cumplen con parámetros de estabilidad para la presa de relaves (colas) en sus fases de cierre y post-cierre?**

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 se hará para un volumen determinado de relaves y no resulta prudente sobredimensionar la estructura en volumen almacenado.

### ***Componente 2: Capacidad para el manejo y Gestión de Relaves.***

#### **I. Alcance**

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

**II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

**III. Información requerida**

- a) Establecer diseños basados en las tasas de generación y características de los relaves (colas).
- b) Definir diseños que contemplen márgenes de seguridad respecto a condiciones climáticas extremas que generen eventos como precipitación o avenidas torrenciales.
- c) Contemplar en los diseños la construcción progresiva de la presa de relaves (colas) a partir de la generación proyectada y según la capacidad de almacenamiento.

**IV. ¿Cómo se garantiza que los diseños cumplen con parámetros de estabilidad para la presa de relaves (colas), de acuerdo con su capacidad?**

La presa de relaves (colas) deberá ser diseñada para un volumen manejado a una periodicidad definida (años por ejemplo). Por tal motivo, no es conveniente diseñar una presa 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. El equipo humano garantizará que el diseño es acorde a los datos de entrada obtenidos en los lineamientos de Concepción y Planificación.

***Componente 3: Adecuación del Terreno.***

**I. Alcance**

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

**II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

**III. Información requerida**

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

#### **IV. ¿Cómo se determina el diseño relacionado con la adecuación del terreno?**

La adecuación del terreno corresponde a la excavación, explanación, impermeabilización, rellenos que sean necesarios para sentar la presa 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.

#### ***Componente 3: Método Constructivo y/o Presa de Relaves (Colas).***

##### **I. Alcance**

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

##### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

##### **III. Información requerida**

- a) Los diseños del método constructivo se desarrollarán a partir de la línea base de conocimiento detallada y regional, ubicación seleccionada y criterios definidos para garantizar la estabilidad física y química de la presa de relaves (colas).
- b) En el diseño del método de construcción de la presa de relaves (colas) se realizará la ingeniería de detalle de las estructuras y obras necesarias según el método seleccionado.
- c) Diseño del método de impermeabilización que eviten la infiltración de agua en el muro inicial y superficie del suelo de fundación de la presa de relaves (colas).

#### **IV. ¿Cómo se define el método constructivo de la presa de relaves (colas)?**

Cuando se conozca 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 los parámetros base para su construcción como, por ejemplo, altura del muro, borde libre, afectación por evento hidráulico diseño, aceleración sísmica, simulaciones de estabilidad.

#### ***Componente 4: Método de Transporte de Relaves (Colas).***

## I. Alcance

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

## II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

## III. Información requerida

- Diseño del sistema de transporte de relaves (colas) 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.
- Si el transporte se realiza mediante relaveductos se debe establecer en el diseño la capacidad de transporte, tramos, uniones, componentes (tuberías, conexiones), sistemas de bombeo, presiones y soportes.
- Si el transporte se realiza mediante el uso de vehículos se deben presentar los diseños para la adecuación y construcción de vías, de ser necesario.
- Si el transporte se realiza mediante teleférico se debe tener en cuenta el cableado, la alimentación de las bandas, velocidad, capacidad, etc.

## IV. ¿Cómo se define el medio de transporte de los relaves (colas) hacia la presa?

A partir de la información obtenida como línea base en los lineamientos de Concepción y Planificación y buscando la mejor alternativa de transporte 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 con el fin de evitar que las aguas claras toquen el muro de contención y sean únicamente los sólidos, los que tengan dicho contacto.

### ***Componente 5: Método de Tratamiento de los Relaves (Colas).***

## I. Alcance

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

## II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

### III. Información requerida

Los diseños para el tratamiento de los relaves (colas) deben garantizar 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 centrifugas, alimentador, tanque de almacenamiento temporal y alimentación.

### IV. ¿Cómo se define el tratamiento de los relaves (colas) a contener en la presa?

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 muro de contención al liberar el relave del agua con la que sale del proceso de transformación.

#### ***Componente 6: Manejo de Aguas Subterráneas y Superficiales.***

#### I. Alcance

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

#### II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

### III. Información requerida

- Diseño de los sistemas de drenaje que deben concebirse a partir de los resultados de los estudios climatológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, hidráulicos, topográficos realizados en la concepción y planificación.
- En el diseño los sistemas de drenaje se deben contemplar los canales perimetrales y cunetas que eviten la llegada de aguas de escorrentía a la presa generando saturación o desborde.
- Diseño de los sistemas necesarios para la recirculación del área proveniente de la laguna de aguas claras.



#### **IV. ¿Cómo se diseña la infraestructura de manejo de aguas subterráneas y superficiales de la presa de relaves (colas)?**

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.

#### ***Componente 7: Métodos de Tratamiento de Agua.***

##### **I. 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 de relaves (colas).

##### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X			

##### **III. Información requerida**

Diseño detallado de los sistemas de tratamiento necesarios para garantizar la calidad del agua recolectada a través de la recolección de agua subterránea, superficial y la recirculada de la laguna de decantación de la presa de relaves (colas) según lo establecido por la normatividad vigente: sistemas primarios (eliminación de sólidos, sedimentación, filtración), sistemas secundarios (lodos activos, camas de oxidación, filtros aireados, reactores biológicos, sedimentación).

#### **IV. ¿Cómo se diseña el tratamiento de las aguas recolectadas en torno a la presa de relaves (colas)?**

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

#### ***Componente 8: Sistemas de Monitoreo.***

##### **I. Alcance**

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

**II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

**III. Información requerida**

Diseño de los sistemas de monitoreo y vigilancia necesarios para realizar el seguimiento adecuado a las condiciones de estabilidad física y química de la presa y de los relaves (colas), y su área de influencia durante su ciclo de vida. En estos diseños se debe contemplar la ubicación de equipos, sistemas e instrumentos tales como mojones topográficos, piezómetros, inclinómetros.

**IV. ¿Cómo se diseña el sistema de monitoreo y vigilancia de la estabilidad de la presa de relaves (colas)?**

Con base en la información obtenida en los lineamientos de Concepción y Planificación, así como en el diseño de la presa 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).

***Componente 9: Instalaciones Complementarias.***

**I. Alcance**

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

**II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X			

**III. Información requerida**

- a) Diseño de áreas de almacenamiento, mantenimiento y monitoreo destinados al manejo y gestión de la presa de relaves (colas).
- b) Realizar el diseño de las instalaciones eléctricas y mecánicas que garanticen la operatividad de los diferentes equipos y sistemas

propuestos en la operación de la presa de relaves (colas) e infraestructura asociada.

#### **IV. ¿Cómo se diseñan las obras anexas y complementarias a la operación de la presa de relaves (colas)?**

Con base en las necesidades de operación de la presa 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.



## 5.4 Línea Estratégica Construcción Inicial

Se refiere a la construcción de estructuras e infraestructura que deben estar en vigor antes de que comience el descargue de relaves. Esto incluye, por ejemplo, el retiro de vegetación y suelos orgánicos, además de la construcción de la presa inicial, tuberías para relaves, rutas de acceso e infraestructura asociada para el manejo de aguas.

La fase de construcción puede iniciar una vez se tenga la aprobación de los instrumentos ambientales y mineros donde se ha validado los diseños de las obras a construir, relacionadas con la presa de relaves (colas). El instrumento ambiental corresponde a la licencia ambiental o la aprobación del Plan de Manejo Ambiental PMA y el instrumento minero a la aprobación del documento técnico respectivo.

La construcción inicial corresponde a la ingeniería de terreno donde entra en desarrollo la alternativa seleccionada y se completa el diseño detallado de lo que se proyecta construir; aquí es en donde se desarrolla la ingeniería y la mejor alternativa de construcción que genera la mayor estabilidad. Asimismo, se debe hacer un cotejo de los documentos que contengan los diseños aprobados junto al programa de avance y ejecución de la obra.



## **LINEAMIENTO 8: REALIZAR EL REPLANTEO DE LA TOPOGRAFÍA CON INCLUSIÓN DE OBRAS DE DISEÑO**

### ***Componente 1: Validación del Diseño Geométrico, Respecto a la Topografía, Localización de las Estructuras y Obras a Construir.***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X		

#### **III. 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.

#### **IV. ¿Cómo se valida el diseño en el terreno para construir la presa de relaves (colas)?**

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 de relaves (colas). La comisión deberá marcar en el terreno, los puntos de inicio de la construcción.



## **LINEAMIENTO 9: ADECUAR EL ÁREA DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS) PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE OBRAS**

### ***Componente 1: Retiro de la Infraestructura Existente en el Área del Proyecto.***

#### **I. Alcance**

Demoler la infraestructura existente y retirar los residuos.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X		

#### **III. Información requerida**

Demoler la infraestructura existente con maquinaria y/o de manera manual, acorde con la magnitud de la estructura; y recoger los residuos para trasladarlos para su posterior disposición en una escombrera.

#### **IV. ¿Cómo se adecúa el área donde se va a construir la presa de relaves (colas)?**

Se debe garantizar que el área objeto de construcción de la presa 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.

### ***Componente 2: Retiro y acopio de Vegetación y Descapote***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X		

### **III. Información requerida**

Llevar a cabo el retiro de la vegetación, la cual se debe acopiar y recoger para disponerla en botaderos. En lo que refiere al estrato orgánico, se debe disponer en un área donde se pueda conservar la capa vegetal, para utilizarla posteriormente en las etapas de construcción.

### **IV. ¿Cómo se hace el retiro del desmonte y descapote del área donde se construirá la presa de relaves (colas)?**

La presa debe construirse sobre el suelo de fundación debidamente limpio. La presencia 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 reconfiguración, restauración y adecuaciones paisajísticas.



## **LINEAMIENTO 10: CONSTRUIR OBRAS DE RECOLECCIÓN Y CANALIZACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES, SUBSUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS**

### ***Componente 1: Construcción de Drenajes Subsuperficiales (Filtros)***

#### **I. 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.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X		

#### **III. Información requerida**

Diseño de las obras de encauzamiento de las aguas subsuperficiales

#### **IV. ¿Cómo se construyen las obras de recolección de aguas subsuperficiales?**

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”.

### ***Componente 2: Construcción de Canales Perimetrales a la Presa de Relaves (Colas).***

#### **I. Alcance**

Conformar la sección de un canal perimetral a la presa de relaves (colas) que recolecte las aguas superficiales y aguas de precipitaciones.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X		

#### **III. Información requerida**

Diseño de las obras de encauzamiento de aguas superficiales (escorrentía y lluvias)

#### **IV. ¿Cómo se construyen los canales perimetrales a la presa de relaves?**

Mediante excavación manual o de ser necesario mediante excavación mecánica, construir la sección del canal perimetral a la presa de relaves (colas) indicada en los planos de diseño y recubrirlo con concreto para evitar la erosión.



## **LINEAMIENTO 11: EVALUAR LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS) CON ÉNFASIS EN LA ESTABILIDAD FÍSICA DEL MURO DE CONTENCIÓN**

### ***Componente 1: Caracterización del material de construcción del muro inicial***

#### **I. Alcance**

Realizar la caracterización de los materiales utilizados para la construcción del muro inicial de la presa de relaves (colas) estableciendo y asegurando que se cumpla con las especificaciones del diseño previamente realizado.

#### **II. Etapas del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
	X		

#### **III. Información requerida**

Caracterización de los materiales de construcción.

#### **IV. ¿Cómo definir las características de los materiales utilizados la construcción de los muros iniciales?**

A partir de los análisis realizados previamente a los materiales seleccionados para la construcción del muro inicial establecer durante la construcción inicial su pertinencia respecto a lo definido en los diseños de la presa de relaves (colas)

### ***Componente 2: Construcción de la Presa de Relaves (Colas)***

#### **I. 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.

#### **II. Etapas del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
	X		

#### **III. Información requerida**

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

#### IV. ¿Cómo se inicia la construcción de la presa de relaves?

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 remplazar por un muro en concreto ciclópeo, o de gaviones.

##### ***Componente 3: Protección de las Caras de los Taludes del Muro de Contención de la Erosión***

#### I. Alcance

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

#### II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
	X		

#### III. Información requerida

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

#### IV. ¿Cómo se impermeabilizan o se revisten los muros de contención de la presa de relaves (colas)?

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

##### ***Componente 4: Construcción de las Obras de Monitoreo y Control***

#### I. Alcance

Instalar piezómetros, inclinómetros y mojones de topografía.

#### II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
	X		

#### III. Información requerida

Diseños de sistemas de monitoreo y vigilancia

#### **IV. ¿Cómo realizar las obras de monitoreo y control?**

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

## 5.5 Línea Estratégica Operación y Construcción Progresiva

La operación incluye las actividades relacionadas con el transporte, la descarga y el almacenamiento permanente de relaves y, cuando corresponda, agua de proceso, efluentes y residuos, y la recuperación del agua de proceso. El término “operación” se aplica en todas las fases del ciclo de vida de una presa de relaves (colas) y no se limita a la fase de operaciones y construcción continua durante el ciclo de vida, que es cuando los relaves se descargan activamente.<sup>48</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 cuando se relaciona a cómo se pueden agregar nuevas celdas para relaves según el diseño, o realzar los respectivos muros o diques que contienen la presa, asimismo, el acondicionamiento del medio de transporte de los relaves en caso que sea necesario.

---

<sup>48</sup> Canadá. Guía para el Manejo de Depósitos de Relaves, The Mining Association of Canadá, 2019.



## LINEMAIENTO 12: REALIZAR EL ALISTAMIENTO, TRANSPORTE Y DESCARGA DE LOS RELAVES (COLAS)

### *Componente 1: Alistamiento, Transporte y Descarga De Los Relaves (Colas)*

#### I. Alcance

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

#### II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
	X	X	

#### III. Información requerida

- a) Tratamiento 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. Esto en caso de ser por tubería, banda, etc. sí es por transporte de carga, establecer la ruta y la vía por la que se movilizarán los vehículos con los relaves (colas).

#### IV. ¿Cómo se adecúa el medio de transporte de los relaves (colas) hacia la presa?

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 sistemas especializados de transporte o eliminación que incluyen: Neumático: para materiales secos como cenizas volantes, humos y Transportadores de tripulación: para material más seco o más denso en distancias cortas.



## **LINEMAIENTO 13: REVISAR EL VOLUMEN DE AGUA Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS RELAVES ALMACENADOS EN LA PRESA**

### ***Componente 1: Volumen de agua y porcentaje de humedad de los relaves (colas) almacenados en la presa de relaves***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X	X	

#### **III. Información requerida**

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

#### **IV. ¿Cómo establecer el volumen de agua y húmedas de los relaves almacenados?**

- 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 de relaves (colas).
- A partir de las caracterizaciones físico- químicas periódicas de los relaves establecer su contenido de húmedas



## **LINEAMIENTO 13: AUMENTAR LA ALTURA Y CAPACIDAD DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS)**

### ***Componente 1: Realce de la Presa de Relaves (Colas)***

#### **I. Alcance**

Levantar el muro de contención de la presa según el método constructivo seleccionado durante el Diseño.

#### **II. Etapas del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X	X	

#### **III. Información requerida**

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

#### **IV. ¿Cómo se realiza el muro de la presa de relaves (colas)?**

Para llevar a cabo el realce de la presa se cuenta con tres métodos constructivos<sup>49</sup>:

- a) Método de aguas arriba - Consiste en un muro inicial (starter dam) construido en concreto ciclopeo, gaviones o con material de préstamo compactado sobre el cual se inicia la depositación de los relaves (colas), utilizando clasificadores denominados “hidrociclones”; la fracción más gruesa o arena, se descarga por el flujo inferior del hidrociclón (underflow) y se deposita junto al muro inicial, mientras la fracción más fina o lamas, que sale por el flujo superior del hidrociclón (overflow) se deposita hacia el centro del muro en un punto más alejado del muro, de modo tal que se va formando una especie de playa al sedimentar las partículas más pesadas de lamas y gran parte del agua escurre, formando el pozo de sedimentación o laguna de sedimentación, la que una vez libre de partículas en suspensión es evacuada mediante un sistema de estructura de descarga, que pueden ser las denominadas torres de evacuación, o bien, se utilizan bombas montadas sobre una balsa flotante. Las pendientes de los taludes de la presa deben ser las que indican los diseños; por otra parte, al inicio de la conformación del muro, se debe instalar previamente un filtro en la fundación.
- a) Método de aguas abajo - La construcción se inicia también con un muro de partida de material de préstamo compactado desde el cual se vacía la

<sup>49</sup> Servicio Nacional de Geología y Minería, Departamento de Seguridad Minera. Guía Técnica de Operación y Control de Depósitos de Relaves, 2007.



arena gruesa cicloneada hacia el lado del talud aguas abajo de este muro, y las lamas se depositan hacia el talud aguas arriba. Cuando el muro se ha peraltado lo suficiente, usualmente 2 a 4 m, se efectúa el levante del muro, desplazando los hidrociclones a una mayor elevación en la dirección hacia aguas abajo y comenzando una nueva etapa de descarga de arenas y peralte del muro. A veces se dispone también de un segundo muro pre-existente aguas abajo. Las arenas se pueden disponer en capas inclinadas, según la pendiente de diseño del talud del muro de partida, o bien, disponerlas en capas horizontales hacia aguas abajo del muro de partida. Las pendientes de los taludes de la presa son las que indican los diseños. Se caracteriza por adquirir más volumen, a medida que se incrementa la altura.

- b) Método eje central o mixto - Se inicia al igual que los métodos anteriores con un muro de partida de material de préstamo compactado, sobre el cual se depositan las arenas gruesas cicloneadas hacia el lado aguas abajo y las lamas hacia el lado aguas arriba. Una vez completado el vaciado de arenas y lamas correspondiente al muro inicial, se eleva la línea de alimentación de arenas y lamas, siguiendo el mismo plano vertical inicial de la berma de coronamiento del muro de partida. Lo que permite lograr un muro de arenas cuyo eje se mantiene en el mismo plano vertical, cuyo talud de aguas arriba es más o menos vertical, y el talud de aguas abajo puede tener la inclinación que el diseño considera adecuada; además, se caracteriza por qué no se interviene más área con respecto a la construcción inicial.

## 5.6 Línea Estratégica de Cierre

El cierre comienza cuando el descargue o vertimiento de relaves en la cubeta o vaso de la presa se interrumpe permanentemente. La presa y su 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.
- Reconfiguración o la reforestación de los relaves y estructuras de contención u otros elementos estructurales.<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup> Tomado y adaptado de Canadá. Guía para el Manejo de Depósitos de Relaves, The Mining Association of Canadá, 2019.



## LINEAMIENTO 14: ACTUALIZAR LÍNEA BASE DE CONOCIMIENTO RELACIONADA CON LA PRESA DE RELAVES (COLAS)

### *Componente 1: Topografía.*

#### I. Alcance

Levantamiento topográfico del sitio de ubicación y área de influencia de la presa 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.

#### II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
			X

#### III. 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 de relaves (colas).

#### IV. ¿Cómo se obtiene la información topográfica de la presa de relaves (colas)?

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.

### *Componente 2: Hidrogeología.*

#### I. 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 hidro geoquímica, hidráulica, e hidrodinámica del área de la presa de relaves (colas).

## II. Etapa del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
			X

## III. 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 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.

## IV. ¿Cómo se obtiene la hidrogeología del área donde se estableció la presa de relaves (colas)?

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 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.

### ***Componente 3: Evaluación Geotécnica.***

#### I. 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), tanto de para la los materiales de presa en su estado de cierre.

## II. Etapa del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
			X

### III. Información requerida

- a) 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).
- b) Caracterización y análisis cinemático del macizo para establecer la posibilidad de falla (grietas, movimientos, discontinuidades) para el caso de presas.
- c) Cartografía detallada a escala 1:2000 o mayor de unidades geológico-geotécnicas.
- d) Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza, del área de ubicación de la presa de relaves (colas).

### IV. ¿Cómo se ejecuta el análisis geotécnico, incluyendo las condiciones de sismicidad del área donde se ha establecido la presa de relaves (colas)?

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 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 de relaves (colas) una vez se termina la disposición de los relaves (colas) en la presa.

## **Componente 4: Hidrología e Hidráulica.**

### I. Alcance

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

### II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
			X

### III. Información requerida

- a) 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).



- b) Caracterización fisicoquímica e hidrobiológica de las corrientes hídricas del área de influencia.
- c) 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.
- d) Usos proyectados del agua que se pueden ver afectados por el cierre de la presa (captación, generación de energía, riego, recreación, etc.).
- e) Identificar y solucionar conflictos sobre disponibilidad y uso del agua.

#### **IV. ¿Cómo se procesa la información hidrológica e hidráulica?**

Los datos obtenidos de las estaciones oficiales (hidrometeorología) a lo largo de los años de operación de la presa de relaves e incluso, años antes de construida la presa (información recolectada en la Línea Estratégica 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 de relaves (colas).



## LINEAMIENTO 15: ACTUALIZAR LA CARACTERIZACIÓN ASOCIADA A LA ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DE RELAVES Y COLAS

### ***Componente 1: Estabilidad Física de las Colas y/o Relaves.***

#### **I. Alcance**

Determinar los parámetros geomecánicos de los relaves (colas) en la etapa de cierre.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
			X

#### **III. Información requerida**

Contenido de sólidos, y distribución de tamaños, reología, plasticidad, propiedades de consolidación.

#### **IV. ¿Cómo se actualiza la información de caracterización de los relaves (colas)?**

Es necesaria la toma de muestras de los relaves y de varios puntos de la presa con el fin de enviar a laboratorio y puedan caracterizarse físicamente (granulometría, humedad, compactación, consolidación, reología).

### ***Componente 1: Estabilidad Química de las Colas y/o Relaves.***

#### **I. Alcance**

Determinar los parámetros geoquímicos de los relaves (colas) en la etapa de cierre.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
			X

#### **III. Información requerida**

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

#### **IV. ¿Cómo se actualiza la información de caracterización química de los relaves (colas)?**

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



## LINAMIENTO 16: DESMANTELAR, REHABILITAR Y RECUPERAR ÁREAS AFECTADAS

### ***Componente 1: Construcción de Obras Adicionales (zanjas con ductos, derivaciones del agua).***

#### **I. 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.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
			X

#### **III. Información requerida**

Construir obras para robustecer las obras de drenaje superficial para concentrar los flujos, y para minimizar la erosión (vía roca cubierta y / o vegetación).

#### **IV. ¿Cómo se construyen las obras adicionales para la fase de cierre de la presa de relaves (colas)?**

Es necesario ejecutar diseños de las obras complementarias para garantizar un cierre exitoso de la presa. Los diseños se ejecutarán con base en el estado de la presa 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 de relaves (colas).

### ***Componente 2: Desmantelamiento y Demolición.***

#### **I. Alcance**

Demolición de las estructuras remanentes después del desmantelamiento.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
			X

### **III. Información requerida**

Realizar la demolición de obras e instalaciones asociadas directamente a la presa de relaves (colas) que no hagan parte del uso futuro en el plan de cierre.

### **IV. ¿Cómo se ejecuta la demolición de obras anexas a la presa de relaves (colas)?**

La obras que no servirán a la presa 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 17: DOCUMENTAR LA INFORMACIÓN TÉCNICA, AMBIENTAL Y SOCIO ECONÓMICA RELACIONADA CON EL CIERRE DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS)**

### ***Componente 1: Entrega de Registro y Soportes Documentales del Cierre de la Presa de Relaves.***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapas del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
			X

#### **III. Información requerida**

Documentar la estrategia de 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.

#### **IV. ¿Cómo se elabora el documento técnico de cierre de la presa de relaves (colas)?**

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

## 5.7 Línea Estratégica Post Cierre

El post cierre comienza cuando el trabajo de retiro del servicio está completo, el plan de cierre se ha implementado y la presa de relaves ha pasado a la etapa de mantenimiento y monitoreo a largo plazo. En donde se espera que la presa de relaves logre una estabilidad física y química, y se entregue a un entorno bajo parámetros de seguridad y sostenibilidad en el largo plazo. Durante la fase posterior al cierre, la responsabilidad por la presa de relaves (colas) podría transferirse al control jurisdiccional<sup>51</sup>.

---

<sup>51</sup> Tomado y adaptado de Canadá, Guía para el Manejo de Depósitos de Relaves, The Mining Association of Canada , 2019.



## LINEAMIENTO 18: ACTUALIZAR LA CARACTERIZACIÓN ASOCIADA A LA ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DE RELAVES Y COLAS

### ***Componente 1: Estabilidad Física de las Colas y/o Relaves.***

#### **I. Alcance**

Determinar los parámetros geomecánicos de los relaves (colas) en la etapa de post cierre.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
			X

#### **III. Información requerida**

Contenido de sólidos, y distribución de tamaños, reología, plasticidad, propiedades de consolidación.

#### **IV. ¿Cómo se actualiza la información de caracterización de los relaves (colas)?**

Es necesaria la toma de muestras de los relaves y de varios puntos de la presa con el fin de enviar a laboratorio y puedan caracterizarse físicamente (granulometría, humedad, compactación, consolidación, reología).

### ***Componente 2: Estabilidad Química de las Colas y/o Relaves.***

#### **I. Alcance**

Determinar los parámetros geoquímicos de los relaves (colas) en la etapa de post cierre.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
			X

#### **III. Información requerida**

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

#### **IV. ¿Cómo se actualiza la información de caracterización química de los relaves (colas)?**

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



## LINEAMIENTO 19: ENTREGA DE ACTIVIDADES, INSTALACIONES, OBRAS Y RESULTADOS DE LA ETAPA DE CIERRE

### ***Componente 1: Mitigar, controlar y compensar impactos socioeconómicos del cierre.***

#### **I. Alcance**

Definir junto con 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, así como la recepción de áreas y acordar responsabilidades.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
			X

#### **III. Información requerida**

Realizar la entrega física del proyecto, obra e instalaciones.

#### **IV. ¿Cómo se efectúa la entrega de actividades e instalaciones de la presa de relaves (colas)?**

Con base en la información obtenida desde la planificación, diseño, operación y cierre de la presa 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 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 de relaves.



## **LINEAMIENTO 20: DOCUMENTAR LA INFORMACIÓN TÉCNICA, AMBIENTAL Y SOCIO ECONÓMICA RELACIONADA CON EL POST-CIERRE DE LAS PRESAS DE RELAVES (COLAS)**

### ***Componente 1: Entrega de Registro y Soportes Documentales del Post cierre de la Presa de Relaves (colas).***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapas del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
			X

#### **III. Información requerida**

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

#### **IV. ¿Cómo se actualiza la información de caracterización química de los relaves (colas)?**

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.

## 5.8 Línea Estratégica Mantenimiento

El mantenimiento se realiza desde la construcción inicial hasta el cierre y post cierre de la presa 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 su estabilidad física y química.



## **LINEAMIENTO 21: REALIZAR ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PARA PRESERVAR LA OPERATIVIDAD Y ESTABILIDAD DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS) E INFRAESTRUCTURA ASOCIADA A LO LARGO DE SU CICLO DE VIDA**

### ***Componente 1: Mantenimiento Preventivo.***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
		X	X

#### **III. Información requerida**

Plan de mantenimiento preventivo

#### **IV. ¿Cómo se ejecuta el mantenimiento preventivo a la presa de relaves (colas) y a sus elementos anexos para poder operar?**

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.

### ***Componente 2: Mantenimiento Predictivo.***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
		X	X

#### **III. Información requerida**

Plan de mantenimiento predictivo

#### **IV. ¿Cómo se ejecuta el mantenimiento predictivo a la presa de relaves (colas) y a sus elementos anexos para poder operar?**

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 y otros tipos de estructuras.

#### **Componente 3: Mantenimiento Correctivo.**

##### **I. Alcance**

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

##### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
		X	X

##### **III. Información requerida**

Plan de mantenimiento correctivo

#### **IV. ¿Cómo se ejecuta el mantenimiento predictivo a la presa de relaves (colas) y a sus elementos anexos para poder operar?**

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.



## 5.9 Línea Estratégica 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>52</sup>

El monitoreo del comportamiento de una presa 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 incluye ensayos de laboratorio periódicos y toda la información debe integrarse en un análisis multitemporal que incluya la construcción de modelos, generando alertas tempranas, y por lo tanto, garantizar la estabilidad de la estructura.

Parte vital del programa de monitoreo que se establezca es poder incluir la realización de balance hídrico de manera periódica con el fin de tener información de primera mano sobre las entradas y salidas de agua de la operación de la presa. Asimismo, la topografía de la estructura y la batimetría del contenido de la presa permitirá afinar el resultado del balance hídrico, al conocer de primera mano el contenido de sólidos y líquidos en la estructura de contención.

---

<sup>52</sup> Canadá. Guía para el Manejo de Depósitos de Relaves, The Mining Association of Canadá, 2019.



## **LINEAMIENTO 22: DISEÑAR Y EJECUTAR UN PROGRAMA DE MONITOREO, VIGILANCIA Y VERIFICACIÓN PERIÓDICA MEDIANTE LA TOMA DE DATOS QUE PERMITAN CONTROLAR LA ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DE LA ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS) EN TODO EL CICLO DE VIDA INCLUYENDO EL CIERRE Y POST CIERRE**

### ***Componente 1: Monitoreo y Vigilancia a la Presa de Relaves (Colas).***

#### **I. 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, así como la periodicidad tanto de la toma de datos como de su análisis integral.

#### **II. Etapas del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X	X	X

#### **III. Información requerida**

- a) Control topográfico periódico.
- b) Toma periódica de datos de instrumentación: inclinómetros, piezómetros, extensómetros, acelerómetros, medidores de asentamiento y los que se consideren necesarios para obtener información.
- c) Verificación periódica de las características geomecánicas de la estructura que compone la presa (ensayos de laboratorio).
- d) 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); remoción en masa por inestabilidad.
- e) 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.

#### **IV. ¿Cómo se diseña y ejecuta un plan de monitoreo a la presa de relaves (colas)?**

Con base en la información requerida, es necesario hacer un plan que defina la instalación de la instrumentación, el número de instrumentos a instalar, la periodicidad con la que se tomarán los datos así como la periodicidad del análisis de los datos recolectados. Dicho análisis permitirá la toma de decisiones en caso de encontrar datos anómalos, adversos a la operación de la presa.



## **Componente 2: Monitoreo y Vigilancia a las Características Físicas y Químicas de los Relaves (Colas).**

### **I. Alcance**

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

### **II. Etapas del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X	X	X

### **III. Información requerida**

- Batimetría para calcular volumen de sólidos sedimentados y espejo de agua.
- Características físicas asociadas a la mineralogía, granulometría, compactación, reología y humedad de los relaves (colas).
- 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.
- Detección de filtraciones.

### **IV. ¿Cómo se diseña y ejecuta un plan de monitoreo a los relaves (colas)?**

Estructurando 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. 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).

## **Componente 3: Monitoreo y Vigilancia de las aguas superficiales y subterráneas**

### **I. Alcance**

Ejecutar periódicamente el balance hídrico para garantizar la estabilidad de la presa.

### **II. Etapas del ciclo minero**



Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
	X	X	X

### III. Información requerida

- a) Incluir la ejecución del balance hídrico y analizar los resultados. El balance 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
- b) Incluir para el análisis el manejo del recurso hídrico en condiciones de rutina y ante eventos extremos relacionados con el Cambio Climático (Fenómeno Niño, Niña).

### IV. ¿Cómo se diseña y ejecuta un plan de monitoreo a las aguas subterráneas y superficiales)?

Estructurando un plan de monitoreo a las aguas superficiales (lluvias y escorrentía) en cuanto a volumen y calidad (parámetros fisicoquímicos) así como a las aguas subterráneas (flujos subterráneos y subsuperficiales en volumen y calidad). La frecuencia de toma de datos de volumen y parámetros fisicoquímicos y la periodicidad para el análisis por parte del equipo técnico de manejo y operación de la presa. Esto permitirá garantizar que las aguas subterráneas y superficiales están manejadas adecuadamente, garantizando la estabilidad de la presa, la estabilidad de los cuerpos de agua que recibirán las aguas que entran en contacto con la presa.

#### ***Componente 4: Monitoreo y Vigilancia del Área de Influencia.***

##### **I. Alcance**

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

##### **II. Etapa del ciclo minero**

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
	X	X	X

##### **III. Información requerida**



- a) Actas de vecindad periódicas con el fin de tener acceso al conocimiento de la presa 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.
- b) Toma de datos de instrumentación instalada en el área de influencia del proyecto (piezómetros, identificación de cambios en el nivel freático).

**IV. ¿Cómo se diseña y ejecuta un plan de monitoreo y vigilancia al área de influencia del proyecto de construcción de la presa de relaves (colas)?**

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 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.

***Componente 5: Responsabilidad del Monitoreo y Vigilancia.***

**I. 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 (estabilidad, análisis multitemporal).

**II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X	X	X

**III. Información requerida**

Análisis de estabilidad física de la estructura (presa de relaves (colas)) 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 (ambiental y minera) para su evaluación.

**IV. ¿Cómo se diseña y ejecuta un plan de monitoreo a las aguas subterráneas y superficiales)?**

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.

## 5.10 Línea Estratégica Gestión del Riesgo

La Gestión del Riesgo se considera transversal, 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 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 altos riesgos, 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) y su contenido (químico).

La Gestión de Riesgo debe documentarse y debe 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 vida útil de la mina, suspensión de actividades, cambio en las características de los relaves, cambios en la tecnología utilizada, entre otros.



## **LINEAMIENTOS 23: GENERAR MEDIDAS DE CONTROL Y PREVENCIÓN PARA DISMINUIR LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE EVENTOS NO DESEADOS, Y ANTE EMERGENCIAS DERIVADAS DE LA MATERIALIZACIÓN DE RIESGOS IDENTIFICADOS RELACIONADOS CON LA PRESA DE RELAVES (COLAS)**

### ***Componente 1: Conocimiento, Identificación, Análisis y Evaluación del Riesgo***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapas del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X	X	X	X

#### **III. Información requerida**

- 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.
- Consecuencias (inundación, deslizamientos, ruptura de presa).
- Identificación de posibles causas, detonantes y tipos de fallas en la estructura de contención, terraplenes, o macizos.
- Probabilidad de ocurrencia para cada evento amenazante identificado.
- Cartografía a escala 1:2000 o mayor que incluya las áreas de posibles eventos identificados e integrarlas con la zonificación de los eventos amenazantes y la identificación de elementos vulnerables.
- Identificación de elementos vulnerables como centros poblados, infraestructura social, bienes de interés cultural, acuíferos, áreas ambientalmente sensibles, bocatomas, etc.

#### **IV. ¿Cómo se conoce y se analiza el riesgo de la presa de relaves (colas)?**

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).

## **Componente 2: Plan de Reducción del Riesgo.**

### **I. Alcance**

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

### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X	X	X	X

### **III. 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.

### **IV. ¿Cómo se reduce el riesgo de la presa de relaves (colas)?**

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).

## **Componente 3: Plan de Manejo de Contingencias.**

### **I. Alcance**

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

### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
X	X	X	X

### **III. 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).

**IV. ¿Cómo se maneja el plan de contingencias de la presa de relaves (colas)?**

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).

## 5.11 Línea Estratégica Gestión del Cambio

La gestión del cambio hace referencia a la capacidad de los responsables del manejo de la presa 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.

## LINEAMIENTOS 24: CONTEMPLAR Y PREVER CAMBIOS Y MODIFICACIONES QUE SE PRESENTAN A LO LARGO DEL CICLO DE VIDA DE LA PRESA DE RELAVES (COLAS)

### *Componente 1: Factores, Aspectos y Actividades que pueden Generar Cambios y Modificaciones Relevantes.*

#### I. Alcance

Proveer y contemplar las medidas necesarias para adaptarse de manera adecuada a los cambios, modificaciones y afectaciones que se puedan presentar a lo largo del ciclo de vida de la presa de relaves (colas).

#### II. Etapas del ciclo minero

Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
X	X	X	x

#### III. 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 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.

#### IV. ¿Cómo se prevén los cambios generados en diseño, construcción, operación, mantenimiento, monitoreo y cierre de la presa de relaves (colas)?

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.

## 5.12 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 de relave, 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, 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 estructura 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.

Al hacer el análisis de la información primaria y secundaria, 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 25: GENERAR MEDIDAS PARA LA REPROCESAMIENTO DE RELAVES (COLAS) PARA LA OBTENCIÓN DE MINERALES DE MENA**

### ***Componente 1: Reprocesamiento de Relaves (Colas) para Extraer Minerales de Mena.***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X	X	

#### **III. Información requerida**

Caracterizar 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.

#### **IV. ¿Cómo se determinan las características mineralógicas de los relaves contenidos en la presa de relaves (colas)?**

Enviando a laboratorio acreditado las muestras que sean representativas para la presa 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 26: UTILIZAR RELAVES (COLAS) MEDIANTE EL MÉTODO DE RETROLLENADO PARA SELLAR LABORES SUBTERRÁNEAS EN ETAPA DE CIERRE**

### ***Componente 1: Uso de Relaves (Colas) como Material de Relleno en el Cierre de Labores Subterráneas.***

#### **I. Alcance**

Disminuir volúmenes de almacenamiento y la huella superficial.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X	X	

#### **III. Información requerida**

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

#### **IV. ¿Cómo se determina la competencia de los relaves para ser utilizados en retrolleado de labores subterráneas, garantizando que no existan reacciones adversas al contacto con rocas encajantes de los relaves contenidos en la presa de relaves (colas)?**

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



## **LINEAMIENTO 27: EVALUAR, INVESTIGAR E IMPLEMENTAR PROCESOS PARA EL REUSO DE RELAVES (COLAS) COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

### ***Componente 1: Reusó de Relaves (Colas) como Materiales de Construcción.***

#### **I. Alcance**

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

#### **II. Etapas del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X	X	

#### **III. Información requerida**

Caracterizar 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.

#### **IV. ¿Cómo se determina la competencia de los relaves para ser utilizados como materiales de construcción?**

Enviando a laboratorio acreditado las muestras que sean representativas para la presa 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 28: REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE LAGUNA DE DECANTACIÓN O LA RECOLECTADA EN LOS SISTEMAS DE DRENAJE E INFILTRACIÓN**

### ***Componente 1: Reúso de aguas como insumo para el proceso de transformación de los minerales.***

#### **I. Alcance**

Efectuar caracterización fisicoquímica de las aguas claras que sobrenadan en la presa 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.

#### **II. Etapa del ciclo minero**

<b>Exploración</b>	<b>Construcción y montaje</b>	<b>Explotación</b>	<b>Cierre y abandono</b>
	X	X	

#### **III. Información requerida**

#### **IV. ¿Cómo reutilizar el agua?**

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.



## 6. CONCLUSIONES

Se compilan las conclusiones expuestas a lo largo de la investigación, dado que se hace relevante su reiteración, para fortalecer la trazabilidad y la metodología que se ha construido para generar Lineamientos Técnicos de Política de Buenas Prácticas.

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.

En ese orden de ideas, cada obra o instalación de una presa 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.

Lo anterior quedó reconfirmado con las reuniones que se efectuaron con operaciones mineras que requieren manejo y disposición de relaves. Prueba de ello es que cada proyecto maneja los relaves de acuerdo con un presupuesto y determina su posterior tratamiento, garantizando la estabilidad tanto del relave como de la estructura de contención. Asimismo, cada proyecto minero determina el método de construcción de la presa de acuerdo a la geografía, a las condiciones climáticas, a la composición de la roca que contendrá los relaves. Prueba de ello es Antioquia Gold Ltd., donde por las condiciones de las rocas, no es necesario impermeabilizar el vaso que contendrá los relaves. Este es un método de construcción aguas abajo; también, el caso de Minera El Roble S.A., donde han construido alrededor de cuatro presas de relaves convencionales por el método “aguas arriba”, debidamente impermeabilizadas o el caso de Cerromatoso S.A. - South 32 donde al inicio del proyecto fue necesario construir una presa de relaves y luego de ajustes al proceso de transformación, no fue necesario disponer relaves convencionales. Los residuos fueron tratados, quedando como escorias que se disponen en las ZODME's (Zonas de Disposición de Materiales Estériles).

En las explotaciones mineras del país existe un universo diverso de disposición de relaves. Cuando los procesos de beneficio son contratados con un tercero que legalmente no tiene relación con la explotación de un título minero, los relaves son dispuestos inadecuadamente, en sitios no autorizados (los llamados “entables” en el Departamento de Antioquia y Cauca) y al no estar contenidos en una estructura y al entrar en contacto con las aguas de escorrentía pueden generar drenaje ácido que al final va a los cuerpos de agua aledaños.

También resulta ser un tema de análisis el hecho de existir empresas mineras que, al no contar con procesos adecuados de recuperación de mineral a través



del beneficio y transformación, pierden ingresos económicos al disponer relaves de manera inadecuada (no en presas). Es evidente la pérdida de mineral y no existen alternativas para reutilizar los relaves como subproductos y extraer la totalidad de los minerales objeto de la explotación minera (Caso explotaciones en Cauca y Nariño con tenores que no superan 1 gramo / tonelada).

Bajo las anteriores premisas se construyeron Lineamientos a partir de Líneas Estratégicas básicas (Concepción, Planificación Diseño, Construcción Inicial, Operación y Construcción Progresiva, Mantenimiento, Monitoreo y Vigilancia, Cierre y Post Cierre) que fueron un marco de referencia, y se le añadieron otras, como Gestión del Riesgo, Gestión del Cambio y Economía Circular.

Los Lineamientos generados se enfocaron en la toma de decisiones para el manejo y gestión de las presas de relaves (colas) desde su Concepción hasta su Cierre y Post Cierre, las cuales deben estar sustentadas en los resultados y análisis integral de aspectos técnicos, ambientales y sociales, donde se garantice que estas estructuras construidas sean seguras, estables, funcionales y sostenibles en el tiempo.

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

Es fundamental tener en cuenta que la Gestión del Riesgo es una Línea Estratégica transversal imprescindible en cada una de las etapas del ciclo de vida de la presa de relaves (colas), ya que permite identificar, analizar, manejar, gestionar y responder a los riesgos generados evitando la ocurrencia de fallas o colapsos que pueden ocasionar resultados catastróficos.

Desde la Construcción hasta el Post Cierre de las presas 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.

Los relaves (colas) mineros se conciben desde dos puntos de vista, como desechos y como subproductos, lo anterior depende de su disposición o reuso; es decir existen nuevas tendencias enmarcadas hacia un manejo adecuado de estos materiales para evitar o minimizar impactos ambientales y socio-económicos generados por el desarrollo de los proyectos mineros; ya sea mediante su almacenamiento temporal o definitivo en presas de relaves (colas).



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA (ANM). *Términos de referencia trabajo de exploración, programa mínimo exploratorio y programa de trabajos y obras (PTO) para materiales y minerales distintos del espacio y fondo marino*. Acogidos Mediante Resolución No. 299 del 13 de junio de 2018. Bogotá. Obtenido en: [https://www.anm.gov.co/sites/default/files/terminos de referencia pme pto resolucion299 junio 13 2018.pdf](https://www.anm.gov.co/sites/default/files/terminos_de_referencia_pme_pto_resolucion299_junio_13_2018.pdf).
- 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>.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT. Cierre de minas. *Programa de Prácticas Líderes (Leading Practice) para el Desarrollo Sostenible de la Industria Minera*. Australia. (2016). Obtenido de: <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-04/lpsdp-mine-closure-handbook-spanish.pdf>.
- BUSTAMANTE RÚA, M, O. (2017). “Informe de caracterización mineralógica de las muestras de relaves mineros auríferos seleccionados en doce (12) instalaciones de beneficio de oro, priorizadas por el Ministerio de Minas y Energía, en los departamentos de Antioquia, Bolívar, Cauca Y Nariño”. Antecedentes sobre uso de Mercurio – Localización instalaciones beneficio – Metodología – Caracterización mineralógica de los relaves (ensayos aplicados y análisis). Ministerio de Minas y Energía - Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- CARVAJAL ARROYO, M, I. (2018). *Desarrollo de una metodología para análisis de estabilidad física de depósitos de relaves*. Universidad de Chile. Chile. Obtenido en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152946/Desarrollo-de-una-metodolog%c3%ada-para-an%c3%a1lisis-de-estabilidad-f%c3%adsica-de-dep%c3%b3sitos-de-relaves.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- DAVIES M. (2011). *Fundamentos para relaves apilados secos filtrados*. AMEC Environment & Infrastructure, Vancouver, Canadá. Canadá. Obtenido en: <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/59368/items/1.0107683> .
- 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>.



- GLOBAL TAILINGS REVIEW (2020). Estándar global de gestión de relaves para la industria minera. Estándar global sobre relaves para la industria minera [https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/08/global-industry-standard\\_ES.pdf](https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/08/global-industry-standard_ES.pdf).
- ICMM (International Council on Mining and Metals) (2016). Gobernanza de los relaves(colas). Declaraciones de posición. Reino Unido. Obtenido en: [https://www.icmm.com/website/publications/es/principios-mineros/declaraciones-de-posicion\\_tailings\\_es.pdf](https://www.icmm.com/website/publications/es/principios-mineros/declaraciones-de-posicion_tailings_es.pdf).
- ISRK CONSULTING (U.S.), INC. (2019). Informe técnico del Instrumento Nacional 43-101 modificado para su proyecto Segovia. Toronto, Ontario M5H 2Y4 Canadá. Obtenido en: [https://s21.q4cdn.com/834539576/files/doc\\_downloads/TechnicalReports/Segovia\\_PFS2018\\_NI43-101-Final.pdf](https://s21.q4cdn.com/834539576/files/doc_downloads/TechnicalReports/Segovia_PFS2018_NI43-101-Final.pdf).
- LARA, J. (2013). *Experiencias de operación de depósitos de relaves espesados y filtrados. Grupo Geotécnico de Relaves*. Chile. Obtenido en: [https://www.iimp.org.pe/pptjm/jm20131017\\_relaves.pdf](https://www.iimp.org.pe/pptjm/jm20131017_relaves.pdf).
- LOPEZ, O. (s.f.). BioteQ Water: recuperación de valor de residuos mineros y relaves. *Panel 4: relaves y sustentabilidad –nuevas soluciones*. Chile. Obtenido en: [https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/oscar\\_lopez\\_-\\_bioteq.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/oscar_lopez_-_bioteq.pdf).
- MACÍAS J. L., CORONA-CHÁVEZ P., J. M. SANCHÉZ-NÚÑEZ, M. Et Al. *El 27 de mayo de 1937 falla catastrófica del flujo de relaves de oro en Tlalpujahua, Michoacán, México*. Peligros naturales y ciencias del sistema terrestre, Volumen 15, Número 5, 2015, páginas 1069-1085. México. DOI: [https://ui.adsabs.harvard.edu/link\\_gateway/2015NHES..15.1069M/doi:10.5194/nhess-15-1069-2015](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2015NHES..15.1069M/doi:10.5194/nhess-15-1069-2015).
- MINISTERIO DE MINERÍA CHILE. Decreto Supremo 248. Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves. 11 de abril de 2007. Obtenido en: [https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/DS248\\_Reglamento\\_DepositosRelave.pdf](https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/DS248_Reglamento_DepositosRelave.pdf).
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE- Minambiente. *Términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental –EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental global o definitiva para proyectos de explotación de pequeña minería*. Bogotá D.C. enero de 2020. Obtenido en: <https://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/2020/01/2.-Tdr-EIA-Licencia-Ambiental-peque%C3%B1a-mineria.pdf>.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE – Minambiente, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2016) *Términos de*



*referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental – EIA proyectos de explotación minera.* Bogotá D.C. Obtenido en: [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/TdR\\_MINERIA\\_%2029\\_9\\_2016%20VF\\_Final%20final%20final%20final-81.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/TdR_MINERIA_%2029_9_2016%20VF_Final%20final%20final%20final-81.pdf).

- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA - AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, (ANM). *Implementación del plan estratégico sectorial para la eliminación del uso del mercurio de la actividad minera en el territorio nacional.* junio de 2016. Bogotá D.C. Obtenido en: [https://www.minenergía.gov.co/documents/10180/0/PES+Eliminaci%C3%B3n+Mercurio+\(1\).pdf/e2774fb2-e2a3-4229-8103-2183e5a71e18](https://www.minenergía.gov.co/documents/10180/0/PES+Eliminaci%C3%B3n+Mercurio+(1).pdf/e2774fb2-e2a3-4229-8103-2183e5a71e18).
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (2020) *Guía Minero Ambiental 2. Explotación.* Bogotá. Obtenido en: <https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/865/2/2%20Gu%C3%ADa%20minero%20ambiental%20-%20Explotaci%C3%B3n.pdf>.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2011). *Política Nacional de Seguridad Minera.* Bogotá D.C. Obtenido de: <https://www.minenergía.gov.co/documents/10180/581539/POL%C3%8DTIC+A+NACIONAL++DE+SEGURIDAD+MINERA/30e8c83d-9709-40fb-9a22-66a799fd841c#:~:text=Con%20la%20formulaci%C3%B3n%20de%20este,tra bajadores%20mineros%20en%20los%20mismos>.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2019). *Guía ambiental para el manejo de relaves mineros.* Perú. Obtenido en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/relaveminero.pdf>.
- MEANINGFULL COLLABORATION (2019.) *Monitoreo de avanzada.* Programa Tranque. Obtenido en: [https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/6\\_programa\\_tranque\\_fch.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/6_programa_tranque_fch.pdf).
- OLDECOP, Luciano, et al. (2008). *Funcionamiento hidráulico, estabilidad y mecanismos de rotura de presas de relaves mineros.* Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad de Girona. España. Obtenido en: [http://www.researchgate.net/publication/242672940\\_FUNCIONAMIENTO\\_HIDRULICO\\_ESTABILIDAD\\_Y\\_MECANISMOS\\_DE\\_ROTURA\\_DE\\_PRESAS\\_DE\\_RELAVES\\_MINEROS?enrichId=rgreq-baf94dfb-69e9-483d-9543-33a073fee5b8&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzIOMjY3Mjk0MDtBUzoxMTQ4OTE3NjM0OTA4MTdAMTQwNDQwMzczOTMzNg%3D%3D&el=1\\_x\\_2](http://www.researchgate.net/publication/242672940_FUNCIONAMIENTO_HIDRULICO_ESTABILIDAD_Y_MECANISMOS_DE_ROTURA_DE_PRESAS_DE_RELAVES_MINEROS?enrichId=rgreq-baf94dfb-69e9-483d-9543-33a073fee5b8&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzIOMjY3Mjk0MDtBUzoxMTQ4OTE3NjM0OTA4MTdAMTQwNDQwMzczOTMzNg%3D%3D&el=1_x_2).
- OSINERGMINA. OYALA, R. (2018). *Gestión de seguridad de depósitos de relave bajo enfoque de riesgo.* Perú. Obtenido en: [http://becas.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/Documentos/Eventos/SIG-2018-Gestion-seguridad-presas-relaves-enfoque-riesgo.pdf](http://becas.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Eventos/SIG-2018-Gestion-seguridad-presas-relaves-enfoque-riesgo.pdf).



- PACHECO, R, R. (2005). *Similitud y diferencia entre las presas de relave y las presas de agua. Riesgo ambiental por rotura*. Instituto Geológico y Minero de España. España.  
[https://www.researchgate.net/publication/327551907\\_Similitud\\_y\\_diferencia\\_entre\\_las\\_presas\\_de\\_agua\\_y\\_las\\_de\\_relave\\_Riesgo\\_ambiental\\_por\\_rotura](https://www.researchgate.net/publication/327551907_Similitud_y_diferencia_entre_las_presas_de_agua_y_las_de_relave_Riesgo_ambiental_por_rotura).
- RIVERO, N; MAYORGA, A. (2015) *Metodología para el diseño por confiabilidad de depósitos y/o presas de relaves (colas) construidas*. Bogotá. Trabajo de investigación (Maestría en Ingeniería Civil). FACULTAD DE INGENIERIA. Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido en:  
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/16808>.
- RODRÍGUEZ R; CORTÉS, A, G (Eds.) (2007). *Estabilidad y seguridad de depósitos de residuos mineros*. Los residuos minero-metalúrgicos en el medio ambiente. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. Obtenido en:  
[https://www.researchgate.net/publication/263747187\\_Estabilidad\\_y\\_seguridad\\_de\\_depositos\\_de\\_residuos\\_mineros](https://www.researchgate.net/publication/263747187_Estabilidad_y_seguridad_de_depositos_de_residuos_mineros).
- ROMERO B, A, y FLORES C. (2010). Reúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Industrial Data* 13 (2), 075-082. Vol. 13, Núm.2. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Perú.  
<https://doi.org/10.15381/idata.v13i2.6193>.
- ROTTA, Luiz Henrique Silva, et al. (2020). El colapso de la presa de relaves Brumadinho en 2019: posibles causas e impactos del peor desastre humano y ambiental en Brasil. *Revista Internacional de Geoinformación y Observación Aplicada de la Tierra.*, vol. 90, pág. 102119. Obtenido en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243420300192>.
- SALAZAR GIRALDO, J, P, PHD. (2019) *Sistemas de clasificación de presas de colas de minas (relaves), tipos y características*. Momento del colapso de la presa de colas de minas Brumadinho 2019. Obtenido en:  
<https://www.youtube.com/watch?v=sKZUZQytads&feature=youtu.be>.
- SERNAGEOMIN. Preguntas frecuentes sobre relaves. Servicio Nacional de Geología y Minería. Chile. Obtenido en:  
<https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/>.
- SERNAGEOMIN, Servicio Nacional de Geología y Minería. (2003) *Guía de buenas prácticas ambientales pequeña minería - construcción y operación de tranques de relaves*. Construcción y operación de tranques de relaves. Chile. Obtenido en:  
<https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/21.construccion-operacion-tranques.pdf>.
- SERNAGEOMIN, Servicio Nacional de Geología y Minería (2016). *Guía para el cumplimiento de DS248. Depósitos de relaves bajo producción de 5000*



- TPM*. Departamento de Seguridad Minera. Chile. Obtenido en: <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/GuiaDS248.pdf>.
- 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. [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>.
  - 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 CANADÁ (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).
  - VILLAVICENCIO A, G. *Últimos avances en el control operacional de depósitos de relaves con la tecnología Panda. Aplicación en Chile*, Pontificia U. Católica de Valparaíso/Grupo de Geomecánica PUCV-USM, Chile. Obtenido en: <https://docplayer.es/175935429-Ultimos-avances-en-el-control-operacional-de-depositos-de-relaves-con-la-tecnologia-panda-aplicacion-en-chile.html>.
  - WANG, QIANG, ET AL. (2019). Preparation of Portland cement with gold ore tailings. *Advances in materials science and engineering*, volumen 2019. China. DOI <https://doi.org/10.1155/2019/1324065>.