

Impactos Generados por las Fallas o Rompimiento de las Presas de Relaves

Rubiel Taborda Taborda

Asesor

Gloria Paulina Castellanos Jaramillo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD

Escuela de Ciencias básicas tecnología e ingeniería- ECBTI

Tecnología en logística industrial

2023

Dedicatoria

Le dedico el presente trabajo a mi familia, en especial a mi madre por el gran apoyo que me brindo durante la realización de mi estudio y del presente proyecto de grado, y a mi padre que en el cielo esta y que por obra de Dios no pudo alcanzar a ver cumplir mi sueño, que desde el cielo me acompaña con su sabiduría y fuerza en el proceso de la culminación de uno de mis proyectos de vida el cual es ser tecnólogo en logística industrial.

Agradecimientos

Primero agradezco a Dios por permitirme esta gran oportunidad de poder estudiar y de poder obtener mi título como tecnólogo en logística industrial, a mi madre que ha sido un gran apoyo a pesar de tantas dificultades e incertidumbres que ha habido en nuestra familia, a mi padre que desde el cielo sé que me acompaña y a mis familiares y amigos que siempre me motivaron para cumplir este gran objetivo como parte importante de mi proyecto de vida personal.

Resumen

Conocer los impactos de las Presas de relave que se encuentran en un pueblo o localidad, son de gran importancia ya que la cercanía a poblaciones incrementa los impactos sociales, económicos, logísticos y en algunas ocasiones, de salud y vida humana, dado que las presas almacenan los residuos o desechos mineros de la extracción de metales a través de diferentes procesos mecanizados y químicos. Las causas que generan fallas en una presa de relave, son diferentes a razón de la forma en que fueron diseñadas, los propios métodos de construcción, el sitio en donde están ubicadas (especialmente cuando hay cercanía a cuerpos de agua), además por causas de origen natural y antrópico, como el cambio climático y el incremento en la cantidad y frecuencia de lluvias, los eventos sísmicos, las acciones humanas, entre otros, que hacen que las presas sean un foco de riesgo, y agreguen vulnerabilidad a las comunidades cercanas en donde se encuentran construidas. A nivel mundial, el presente proyecto documenta eventos de fallas en Presas, en especial en Suramérica, donde es común el desconocimiento de las comunidades del área de influencia y la identificación de riesgos potenciales asociados a presas de relave que fueron construidas hace años sin aplicación efectiva de normas, leyes o lineamientos estrictos y seguros, como los exigidos actualmente. Este proyecto enfatiza en la importancia de aplicar métodos de construcción seguros, la capacitación y la promoción del control social para vincular a las comunidades y permitirles reconocer, prevenir y mitigar los impactos que se generan por la falla o rotura de una presa de relaves.

Palabras clave: Presa, relave, métodos, fallas, impactos.

Abstract

Knowing the impacts of the tailings dams that are found in a town or locality is of great importance since the proximity to populations increases the social, economic, logistical and, on some occasions, health and human life impacts, given that the dams They store mining waste or waste from metal extraction through different mechanized and chemical processes. The causes that generate failures in a tailings dam are different due to the way in which they were designed, the construction methods themselves, the place where they are located (especially when there is proximity to bodies of water), in addition to causes of natural and anthropic origin, such as climate change and the increase in the amount and frequency of rainfall, seismic events, human actions, among others, which make dams a source of risk, and add vulnerability to nearby communities in where they are built. At a global level, this project documents Dam failure events, especially in South America, where the lack of knowledge of the communities in the area of influence and the identification of potential risks associated with tailings dams that were built years ago without effective application is common. of strict and safe rules, laws or guidelines, such as those currently required. This project emphasizes the importance of applying safe construction methods, training and promoting social control to link communities and allow them to recognize, prevent and mitigate the impacts generated by the failure or breakage of a tailings dam.

Keywords: Dam, tailings, methods, failures, impacts.

Contenido

Introducción.....	11
Descripción y planteamiento del Problema	13
Justificación	15
Objetivos.....	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
Marco de Referencia	18
Marco Teórico	18
Marco Conceptual.	21
Diseño Metodológico	22
Marco Legal para Colombia.....	23
Métodos, Técnicas, Conceptos y Características principales de las Presas de Relaves	25
Métodos Utilizados en la Construcción de Presas de Relaves	26
Monitoreo y Vigilancia.....	28
Mantenimiento.....	29
Estructuras de Contención	29
Característica Común en la Construcción de las Presas de Relaves.....	31
Gestión de Riesgo	33
Vulnerabilidad	34
Vulnerabilidad desde la Presa	34
Vulnerabilidad desde las comunidades/vulnerabilidad social.....	35
Fallas por las Cuales se Rompen más las Presas.....	38

Conceptos Fundamentales y Características Comunes de las Presas Cuando Fallan o se Rompen 38

Movimiento en Masa	39
Licuación Sísmica	40
Desbordamiento o Rebose	41
Falla de la Fundación	41
Erosión Interna o Tubificación	42
Fallas de Estructuras Auxiliares	42
Erosión	42
Subsidencia de Minas Activas y Abandonadas	43
Generación de Drenaje Ácido Minero(DAM)	43
Factores y Condiciones que Pueden Llevar al Colapso de una Presa de Relaves y sus Impactos...	45
Influencia del Cambio Climático.	47
Impactos que Generan las Presas Cuando Fallan o se Rompen	48
Impactos Ambientales	48
Impactos Sociales	49
Impactos Logísticos	50
Casos Históricos por Fallas o Roturas de Presas a Nivel Internacional y sus Impactos	53
Evento en Brasil	55
Evento en Bolivia	56
Eventos en Perú	57
Evento en Chile	58
Disaster in Canadá	58
Incident Description	59

Evento en España.....	60
Evento en Italia.....	61
Presas de Relaves en Colombia.....	65
Marcos Normativos.....	65
Presas en Colombia.....	66
Cajamarca	66
Buritica.....	66
Suratá (Santander).....	68
En Carmen de Atrato Chocó	68
San Roque Antioquia	72
Segovia-Remedios Antioquia.....	72
Conclusiones.....	75
Recomendaciones.....	78
Referencias	80

Lista de Tablas

Tabla 1 *Métodos de construcción de presas de relaves*.....26

Tabla 2 *Datos de algunos eventos por fallas o rotura de Presas y sus impactos* 64

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Métodos de construcción de presas de relaves</i>	26
Figura 2 <i>Proceso generación de relaves</i>	32
Figura 3 <i>Vulnerabilidad social</i>	36
Figura 4 <i>Fallas en los depósitos de Relaves</i>	39
Figura 5 <i>Número de fallos de presas a nivel mundial por año</i>	46
Figura 6 <i>Presa de relaves</i>	53
Figura 7 <i>Estadístico de estado de presas en Brasil</i>	54
Figura 8 <i>Desastre presa de relave en Brumahindo Brasil</i>	56
Figura 9 <i>Descripción del incidente</i>	59
Figura 10 <i>Mount Polley mine disaster</i>	60
Figura 11 <i>Desastre ecológico de Aznalcóllar</i>	61
Figura 12 <i>Presa de relaves de Fluorita de la mina Prealpi Mineraria 1985</i>	63
Figura 13 <i>Presa de relaves de Zijin Continental Gold Buriticá Antioquia</i>	67
Figura 14 <i>Presa de relaves cerca a la quebrada Mermejál</i>	68
Figura 15 <i>Presa de relaves #1 El Roble El Carmen de Atrato Chocó</i>	70
Figura 16 <i>Presa de Relaves#3 Minera El Roble El Carmen De Atrato</i>	71
Figura 17 <i>Presa de relaves #4 El Roble El Carmen de Atrato Chocó</i>	71
Figura 18 <i>Presa de relave en El Chocho Segovia Antioquia</i>	73

Introducción

Las empresas mineras generan unos subproductos los cuales terminan depositados en infraestructuras como lo son las Presas de relaves, que a nivel mundial son un pasivo para las empresas, que se crearon al principio por necesidad pero sin mirar a un futuro las consecuencias que podrían traer al construirlas, de allí parte la importancia de conocer los impactos que generan las presas de relave cuando fallan o se rompen, por lo cual desde el presente documento se hace un enfoque teórico iniciando con los conceptos asociados a las presas de relave que de ahora en adelante se denominarán como “Presas”, así mismo se realiza una aproximación a los métodos y técnicas que se utilizan en su construcción, quienes y para que se construyen estas estructuras de contención, la identificación de las fallas más frecuentes por las cuales se rompen las Presas, los grandes impactos en las dimensiones ambientales, sociales y logísticas; documentando algunos eventos históricos de mayor referencia por rompimiento de Presas.

Es necesario realizar una revisión de las características comunes y las condiciones que llevan a la falla, pérdida de la estabilidad y el inadecuado funcionamiento de una Presa, ya sea por fallas humanas (de construcción, mantenimiento, diseño, etc.) ubicación (cerca de cuerpos de agua, laderas), fenómenos naturales (lluvias, deslizamientos, eventos sísmicos), entre otros, que al presentarse afectan de manera negativa generando impactos que toman años e incluso décadas en repararse o que no tienen solución especialmente cuando hay pérdida de vida humana.

Así mismo, se presenta la influencia del cambio climático como un factor que incrementa la vulnerabilidad de las comunidades y la infraestructura de las Presas, potenciando a que cuando ocurran estos eventos sean de mayores magnitudes o que la alarma porque va a ocurrir sea más, o la ocurrencia sea más frecuente.

Finalmente , se aborda para Colombia la revisión de las Presas ubicadas en el territorio las cuales llevan años he incluso décadas de haberse construido y otros proyectos que a futuro se van a implementar con explotaciones a gran escala por lo que se producen o se producirían grandes volúmenes de desechos mineros, por lo tanto, la construcción de más presas de relaves y a mayores tamaños en las regiones colombianas donde ya existen o se van a construir para así tener un conocimiento de los impactos ambientales, sociales y logísticos que se podrían generar.

Descripción y planteamiento del Problema

En el desarrollo de la extracción minera, existen Presas que son utilizadas para depositar los desechos que quedan después de haber realizado procesos de extracción que emplean reactivos y químicos para obtener los metales de la roca ya triturada. Estos desechos son depositados en las Presas que en algunos casos se realiza sin verificar el cumplimiento de la capacidad, ubicación, posibles riesgos naturales y de manejo para dicho fin, lo anterior, dado que fueron desarrolladas aplicando diferentes formas y métodos de construcción, algunos incluso sin normas técnicas estrictas y que por lo general así pasan años o décadas hasta que se presentan fallas en las estructuras o se rompen causando impactos ambientales, sociales y logísticos para los cuales las comunidades en donde se construyen estas Presas desconocen el potencial de impactos que se generan, ya que no se da la debida importancia, y se identifica poco o nula capacitación a la comunidad dado que los accidentes e incidentes son de poca frecuencia.

En la región de Latinoamérica y a nivel mundial, han sucedido diferentes rompimientos de Presas por diferentes causas, pero todas han impactado a las comunidades y a las mismas empresas creadoras/operadoras de estas Presas, de manera significativa.

En Colombia, existen diferentes Presas en las cuales las comunidades desconocen los impactos que pueden generarse si fallan o si se rompen y solo la mayoría ven un depósito y lugar de trabajo o que por la necesidad de empleo se admite la implantación de la Presas, ya que al hablarse muy poco de este tema nos cuestionamos muy poco del riesgo, el peligro y sus impactos, lo cual hace que las comunidades no se preparen adecuadamente para estos eventos, no se realice control social para su construcción y puntos de ubicación, que la comunidad no se capacite en que son las Presas y cuáles son los impactos que generan cuando falla o se rompe una presa de relaves?.

Se analiza los diferentes eventos por rotura de Presas a nivel mundial y los diferentes impactos que causaron; con énfasis en la población de estudio de eventos en Latinoamérica para así obtener un enfoque frente a los impactos que se pueden generar las Presas en Colombia.

La identificación de los diferentes impactos sociales, ambientales y logísticos que han generado las Presas cuando fallan o se rompen.

Justificación

Los eventos catastróficos producto de una falla o rotura de una presa de relaves, han generado grandes impactos en el área de influencia, sin embargo, los operadores de las presas y las comunidades aledañas parecen ajenas a estos eventos y no se gestionan planes de mitigación y/o gestión de riesgos que involucren las comunidades que pueden verse directamente afectadas; esto plantea la necesidad de generar un documento que recopile algunos casos de gran impacto y los principales efectos, para iniciar procesos de sensibilización a través de la documentación sobre las generalidades de las Presas, construcción y eventos de diferentes fallas o rompimiento de Presas y los impactos que generan.

Por otra parte, dar a conocer la magnitud de los impactos en el medio ambiente, la sociedad y la logística, permite impulsar campañas de control social para la prevención y mitigación de estos eventos. Lo anterior es posible con una adecuada difusión del material recopilado en este proyecto como un aporte académico para el despertar de la conciencia social para el caso de estudio.

Es importante, además, revisar los casos en contexto, para lo cual se identifica que gran parte de las Presas son construidas cerca a cuerpos de agua, generando impactos que también afectan negativamente a las comunidades y el medio ambiente en general. De lograr difundir esta documentación, se espera que las comunidades puedan obtener una nueva perspectiva mediante los diferentes eventos históricos, preparándose para un eventual suceso.

En esta monografía, se aborda casos a nivel mundial en especial de Latinoamérica y sus principales impactos y de Colombia, donde se abordan las diferentes presas de relaves, como las que se encuentran ubicadas en el municipio del Carmen de Atrato del departamento del Chocó, las cuales pertenecen a la multinacional Canadiense Ático Mining cop Minera el Roble para la

extracción de cobre y oro (Aticomining, 2023) las cuales dichas Presas se encuentran construidas cerca a cuerpos de agua como lo es el Rio Atrato que en el país es uno de los más caudalosos aunque en esta parte es cerca de su nacimiento ha registrado eventos de crecientes en temporadas de lluvias, el cual pasa cerca de las Presas o de sus cimientos.

Además, a lo anterior el Rio Atrato se encuentra sujeto de derecho como lo dicto la corte constitucional en donde se ordena la construcción de diferentes planes de acción para resolver crisis humanitarias, sociales y ambientales (La Corte Constitucional, 2016, párrafo. 1) al igual que ayudar a prevenir sucesos que puedan afectarlo, por lo tanto, conocer como una presa de relaves impacta de forma negativa lo social, ambiental y logístico es de suma importancia para la comunidad en general.

Objetivos

Objetivo General

Identificar los impactos ambientales, sociales y logísticos que generan las presas de relaves cuando fallan o se rompen.

Objetivos Específicos

Investigar los métodos, técnicas, conceptos y características principales de las presas de relaves.

Analizar factores y condiciones que pueden llevar al colapso de una presa de relaves y sus impactos.

Identificar casos históricos por fallas y roturas de presas de relaves a nivel internacional y sus impactos.

Identificar las presas de relaves en Colombia y sus posibles impactos.

Marco de Referencia

El marco teórico y el marco conceptual se desarrolla en todo el documento como definiciones de los resultados de la problemática propuesta y la sustentación en los diferentes conceptos que son pertinentes en el estudio y enfoque de la presente monografía.

Marco Teórico

Según Morales (2019) “Los relaves son residuos de la roca de donde se extrae diferentes metales (oro, plata, cobre, hierro, entre otros) que quedan después de triturar las rocas para llegar a fragmentos más pequeños.” (Desechos peligrosos, párrafo. 1) como el tamaño de un grano de arena o más pequeño.

“Los relaves 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.” (Geologicas,A.T, 2020, p. 19) por lo que se entiende que generalmente estos desechos terminan en presas ya sean húmedas o presas con relaves secos o en forma de pasta.

Los desechos de roca o relaves son depositados en estructuras llamadas presas de relaves, las cuales pueden ser de diversas formas y construidas con diferentes métodos, en las cuales la mayoría son con los materiales de desecho del mismo proceso minero (relaves) que de acuerdo a su acumulación van formando las presas que se vuelven unas estructuras de gran volumen y tamaño y en algunos casos utilizan otros materiales más gruesos como lo son por ejemplo, las arenas, bloques, en cimbrado de piedra, pero por razones de costo no se utiliza el concreto.

En estudio realizado por Morales (2019) en la cual afirma que por esta razón es fácil prever el colapso de las presas de relaves que son construidas en secuencia de abajo hacia arriba (a manera de pisos) cada piso se apoya en los propios relaves. Según un estudio realizado por el

Comité Internacional de Grandes Represas(ICOLD), el 84% de las presas de relaves fallan sin que se halla presentado algún detonante (sismos, tormentas, derrumbes, etc.) dando muestra el predominio de las fallas en el diseño, la construcción o la operación de las presas de relaves. (Desechos peligrosos, párrafo. 6).

Es importante recordar que los desechos mineros quedaran allí para siempre, por lo tanto, deben de resistir al máximo en lo cual no se conoce que cambios pueden llegar a ocurrir a estas Presas en algunos años o décadas ya sean por causas humanas (diseño, etc.) o naturales como lo es el cambio climático, sismos (cuya intensidad y magnitud real no la podremos saber).

Un ejemplo fue el que ocurrió en Brasil donde la ruptura de una presa de relaves con residuos de la mina operada por la compañía VALE sepultó parte de la localidad de Brumadinho, la cual dejó más de 120 muertos, 226 desaparecidos y produjo daños irreversibles en más de 270 hectáreas de vegetación nativa, corrientes superficiales de agua, flora y fauna de región. (Morales, 2019, “tragedias imborrables” párrafo.1).

Por los diferentes antecedentes de inestabilidad de las Presas en donde la minería de metales es una actividad extendida en Suramérica; en Colombia se debe dar un debate serio sobre este tema ya que existen varios proyectos en operación y otros que se van a empezar a ejecutar.

A nivel mundial se han presentado muchos eventos catastróficos y de impactos ambientales, sociales y de logística significativos, en los cuales han llegado a presentarse en países en desarrollo como al igual en países ya desarrollados industrialmente.

En Colombia ya existen Presas mineras como lo son en el Municipio de El Carmen De Atrato Chocó, en donde las Presas del proyecto El Roble De la multinacional Canadiense Ático Mining que extrae cobre, oro entre otros metales, muestran problemas de estabilidad, algunas de

ellas se ubican en zonas donde el Rio Atrato o sus afluentes pueden afectarlas ya que gran parte del año cae torrenciales de lluvias la cual hace que el rio aumente su caudal significativamente, en donde muchas veces llega hasta las bases de las Presas y en otras por tanta lluvia aumenta el volumen de agua en las Presas y podrían fallar o romperse, potenciando su efecto destructor aguas abajo pudiendo generar potenciales impactos ambientales, sociales y logísticos para esta comunidad.

En el país existen grandes deficiencias en la regulación de estos proyectos para su construcción (Aquí las represas solo necesitan una licencia ambiental sin que exista una norma técnica con lineamientos estrictos que apruebe los diseños y zonas de construcción) que al menos contengan aspectos como:

Obligatoriedad de modelamiento de colapso de estructuras y diseño de planes de contingencia que incluya a la comunidad.

Revisión de las políticas y normas sobre la construcción de represas de relaves.

Creación de una institución técnica que revise el diseño y construcción de estas estructuras y que vallan de la mano con la comunidad en la toma de estas decisiones.

Necesidad de obtener permiso de las autoridades municipales (entes administrativos, acciones comunales, entes ambientales municipales, entre otros) para la construcción de cualquier tipo de depósito de estos desechos mineros, “además de esto tener en cuenta la opinión de la población que podría verse afectada por construcción de estas estructuras”. (Morales, 2019, “Riesgo para las poblaciones” párrafo.2).

Marco Conceptual

Glosario

Fallas.

Son los diferentes mecanismos que se llegan a presentarse en una presa de relaves o en su estructura haciendo que la Presa falle o se rompa.

Métodos.

Son los diferentes procedimientos y formas que se utilizan para construir una presa de relaves .

Presas.

Infraestructuras que se usan como depósitos de los residuos mineros(relaves).

Relaves.

Desechos o residuos mineros que quedan después de la extracción de los minerales de la roca ya molida mediante procesos mecánicos y químicos.

Rotura.

cuando las presas de relaves se rompe liberando una parte o todo su contenido de los residuos mineros.

Evento.

Acontecimiento de desastres cuando una presa de relaves ha fallado o se ha presentado rotura en su estructura generando diferentes impactos ambientales, sociales y logísticos.

Diseño Metodológico

La monografía que se desarrolla en este documento, se realizó bajo un enfoque explicativo, partiendo de la revisión de diferentes documentos tanto de carácter académico, como de noticias, que permitieran la realización de un estudio con enfoque hacia el conocimiento de las Presas, sus impactos cuando fallan o se rompen, diferentes eventos de sucesos a nivel mundial y de las presas de relaves en Colombia.

Técnicas de Recolección de Datos

Revisión de casos documentados en noticias, revistas de información, fuentes abiertas, documentos de archivo de temas de presas de relaves a nivel mundial de cuando han fallado o han presentado rotura en su infraestructura.

Instrumentos

Revisión sistemática de artículos sobre presas mineras.

Revistas de información de minas que utilizan este sistema para depositar sus desechos mineros o que hayan tenido eventos de roturas en presas de relave.

Población. Presas de relaves que han presentado fallas o roturas en su estructura.

Muestra. Ocho eventos por fallas y rotura de presas de relave a nivel mundial que se encuentran documentados.

Variables. Ambientales, sociales y logísticos.

Técnicas de Análisis de Datos

Se encontrarán información en los diferentes medios por los que se han consultado y se realizará el análisis respectivo la cual será de conocimiento para profundizar en un enfoque sobre los impactos que se generan cuando fallan o se rompen las Presas.

Marco Legal para Colombia

Mediante el Artículo 199 del Código de Minas (Ley 685 de 2001), los Ministerios de Minas & Energía y Medio Ambiente, adoptaron tres guías minero ambientales aplicables a todas las fases del ciclo minero: exploración, explotación, beneficio y transformación de minerales. El numeral 5.4 de la Guía Minero Ambiental No. 2 (explotación) contempla el cierre y abandono de minas y presenta un serie de objetivos, medidas de control y consideraciones para el monitoreo del cierre de operaciones y la contención de relaves del proceso.¹

Por lo general con esta ley las minas solo se valían de permisos de licencia ambiental y con base a estos realizaban sus operaciones de construcción, operación y cierre de las Presas, en los cuales al no existir un control más riguroso muchas fueron construidas con métodos que han demostrado que tarde o temprano fallan o se rompen y que estas presas estén abandonadas sin ningún control.

En el año 2020 en Colombia se empieza a establecer lineamientos más estrictos con lo que tiene que ver con las Presas, que según Geológicas,A.T (2020) nos dice que a partir del año 2020 y después del desastre ocurrido en la localidad de Brumadinho en Brasil, en Colombia el ministerio de minas y energía realizo una nueva propuesta de lineamientos técnicos de políticas de buenas prácticas para estandarizar los procesos de Presas. Él presente documento lo elaboran bajo el marco del contrato de consultoría GGC468-2020 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 de las Presas que pudiesen contribuir en la conceptualización y elaboración de la propuesta de

¹ (Beltrán-Rodríguez,et al.2018. Marco normativo, párrafo 1)

lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos de la actividad minera relacionados particularmente Presas. (p. 7).

Cabe resaltar que estos nuevos lineamientos son propuestos solo a partir del 2020 después de el gran desastre en Brasil y que para las presas construidas con anterioridad no tienen estos lineamientos que son más estrictos y que mejoran la calidad en lo relacionado con prevención o disminución de impactos que generan las Presas.

El documento de Geologicas,A.T(2020) expone una propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos de Presas 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. (p. 9).

Además para cuando se habla de las presas de relave en Colombia y cuerpos de agua cerca de ellas como el caso del “Rio Atrato que está protegido por el estado como sujeto de derecho sentencia T-622 DEL 2016 y mediante el decreto 1148 de 2017 el Presidente de la República designó al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como representante legal. (La Corte Constitucional, 2016) por lo cual le da gran importancia en su cuidado y conservación que va de la mano con el gobierno y la comunidad, con líderes comunitarios en pro de mitigar y resolver impactos sociales, ambientales y humanos del rio, sus afluentes y sus comunidades.

Resultados

Métodos, Técnicas, Conceptos y Características principales de las Presas de Relaves

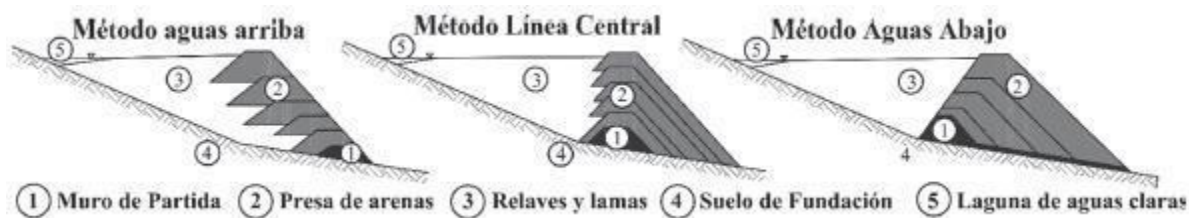
Las presas de relaves son obras de infraestructura complejas para almacenar o represar los relaves, que son los desechos o subproductos de los procesos de beneficios y transformación de las rocas para la extracción del mineral, estas estructuras son construidas a partir de un muro inicial conformado por material del mismo relave, en las cuales deben de tener el “muro y el suelo con impermeabilidad para evitar filtraciones que influyan en la estabilidad física de la presa y que no halla contaminación de fuentes hídricas.”²

Las Presas son estructuras que tienen diferentes diseños de construcción, ya dependiendo de los métodos que quiera implementar las empresas como lo son: métodos de aguas arriba en donde se va construyendo con concreto, gaviones o material compactado de donde se va realizando la deposición de los relaves las cuales van formando lagunas que posteriormente después de sedimentarse se evacuan las aguas mediante motobombas y así se van formando estas Presas; otro método de construcción es el de presas de aguas abajo en donde se construyen con gaviones, concreto o el mismo material compactado pero en capas inclinadas según la pendiente de su diseño y se caracterizan por adquirir más volúmenes a paso de que se van volviendo más altas y por ultimo tenemos las presas de método de eje central o mixto que se construyen igual que las anteriores pero van casi a la par con la construcción del muro de partida lo que hace que se mantengan casi de forma vertical las cual mantiene la misma área de construcción inicial.

² (Geologicas,A.T, 2020, párrafo. 20)

Figura 1

Métodos de construcción de presas de relaves



Fuente. (Figueroa, et al, 2017).

Según lo reportado por Geologicas,A.T, (2020) “en la actualidad las presas construidas con métodos de aguas arriba son las que más presentan fallas o colapsan” (p. 23). En la actualidad los métodos más utilizados en la construcción de estas son las de método de aguas abajo y de eje central las cuales demuestran que tienen una mejor estabilidad física y que en su operación presenta menos riesgo asociado a cualquier evento negativo en su estructura y su construcción, aunque en eventos a niveles mundiales se evidencia que en cualquiera de estos métodos han fallado o las presas han tenido roturas en sus infraestructuras.

Métodos Utilizados en la Construcción de Presas de Relaves

En la Tabla 1, se mostrara los diferentes métodos de construcción y sus principales características.

Tabla 1

Métodos de construcción de presas de relaves

Métodos	Características
Método aguas arriba.	Se inicia con un muro compactado ya sea de concreto o el mismo material y se inicia a partir de este la deposición de los relaves, a

	paso que se va subiendo, después de sedimentado el relave, el agua se saca con motobombas.
Método aguas abajo.	Se inicia con muro compacto ya sea de concreto o del mismo material de relaves, a paso que se va subiendo en capas con inclinación de aguas abajo, las pendientes de los taludes indican su diseño y se caracterizan por adquirir mayor volumen a medida que incrementa su altura.
Método eje central o mixto.	Se inicia igual que los otros métodos, pero manteniéndose aguas arriba, pero con inclinación según el diseño siguiendo el muro inicial la cual hace que se mantengan su mismo eje y plano vertical. Se caracteriza por que no se interviene más área con respecto a la construcción inicial.

Elaboración propia a partir de diferentes referencias.

De acuerdo a Geologicas,A.T, (2020) las presas de relaves deben de construirse bajo estándares que garanticen su operatividad, funcionalidad y estabilidad lo cual permita almacenar residuos generados durante la operación minera las cuales deben de ser construidas teniendo en cuenta las siguientes etapas de su ciclo de vida como lo son: (p. 25).

Concepción.

Planificación.

Diseño.

Construcción.

Operación y construcción progresiva.

Cierre y pos-cierre.

En las diferentes etapas se deben de tener en cuenta líneas estratégicas transversales que son de aspecto relevante, las cuales deben de estar con análisis técnico y de ingeniería, así como contar con elementos y recursos necesarios para su desarrollo los cuales garanticen que la estructura construida sean seguras, sostenibles y que logren el objetivo de almacenar los relaves por tiempo indefinido, las líneas estratégicas transversales son:³

Monitoreo y vigilancia.

Mantenimiento.

Gestión de riesgo.

Economía circular.

Gestión de cambio.

Monitoreo y Vigilancia

Según lo planteado por Geologicas,A.T, (2020) El desarrollo de actividades de monitoreo y vigilancia desde la construcción inicial, operación, construcción progresiva, cierre y post cierre de la presa de relaves son imperativas e imprescindibles, ya que permiten evaluar el funcionamiento, estabilidad y operatividad de la presa de relaves, 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. (p.31) Por lo tanto, es de suma importancia mantener siempre

³ (Geologicas,A.T, 2020, p. 25)

vigilancia y monitoreo a cada presa de relave que exista desde sus inicios de diseño, construcción y hasta que esta exista independientemente si ya no está en operación.

Mantenimiento

El mantenimiento es de suma importancia para evitar fallas o rotura de las Presas y en esta parte es fundamental la intervención humana la cual debe de ser correcta y eficiente como también lo proponen Geologicas,A.T, (2020) en donde el mantenimiento 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. Toda clase de mantenimiento que controle y que prevenga daños, fallas o rompimientos son de suma importancia para que la presa de relaves continúe con su operación de manera normal. (p. 32).

Estructuras de Contención

Para entender más sobre las presas de relaves y por qué se inició la creación de estas estructuras considero importante la información de (Beltrán-Rodríguez et al.2018. Estructuras de contención, párrafo. 1).

Hasta hace solo algunas décadas, era común en Chile y en otros países de tradición minera disponer relaves derivados de las operaciones minero-metalúrgicas vertiéndolos informalmente sobre cuerpos de agua, valles o incluso al mar, Cuando estos sitios no eran accesibles, se solía acumular los relaves en áreas de contención amuralladas con

terraplenes levantados con los mismos relaves. Sin embargo, una vez se agotaba el yacimiento, estos depósitos eran abandonados. El desarrollo de esta tecnología tipo “presa de relaves” tuvo lugar sobre una base principalmente empírica y mayormente relacionada con las prácticas de construcción y equipo disponible en la época. Durante las décadas de 1950 y 1960, desde Norteamérica se empezaron a aplicar y refinar principios fundamentales de ingeniería de presas sobre Presas. Las fallas de origen sísmico de varias Presas en Chile recibieron gran atención y demostraron ser un factor clave en las primeras investigaciones del fenómeno de la licuación sísmica.

De acuerdo a Geologicas,A.T (2020) la etapa de concepción, planificación, y diseño de una presa de relaves 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. (p. 133) En lo que da a entender la importancia que se tiene en la toma de decisiones y ejecución desde el inicio que se está pensando en construirse las Presas, en donde se debe de tener en cuenta cada uno de los parámetros anteriores.

Según Beltrán-Rodríguez,et al (2018) concluyeron que “estadísticamente las presas de contención de relaves tienen aproximadamente 100 veces más probabilidad de falla que las presas de contención de agua.” (Estructuras de contención, párrafo. 6).

Característica Común en la Construcción de las Presas de Relaves

En la característica más común en las Presas es que son construidas generalmente con los mismos residuos (relaves) del proceso de extracción del mineral y crecen o aumentan su altura y tamaño sobre estos mismos.

Aunque Colombia es un país con cultura minera, la reglamentación sobre la construcción de grandes estructuras como lo son las Presas son poco estrictas o al menos hasta el año 2020, “muy al principio en Colombia y otros países tenían la costumbre de verter estos desechos directamente a los diferentes cuerpos de agua” (Beltrán-Rodríguez, et al, 2018. Estructuras de contención, Párrafo. 1) aunque se tomaron medidas de depositarse en presas como acción de mitigar ese daño ambiental que se estaba causando, no se tienen en cuenta normas estrictas al momento de construirse y también en que sitios son los más adecuados ya que muchas veces las construyen cerca a fuentes hídricas principales o cerca de localidades que al romperse ya sean por fallas, rotura, sismo o por cualquier otra condición causan grandes desastres e impactos ambientales, sociales, logísticos que toman mucho tiempo de recuperación o no se recuperan.

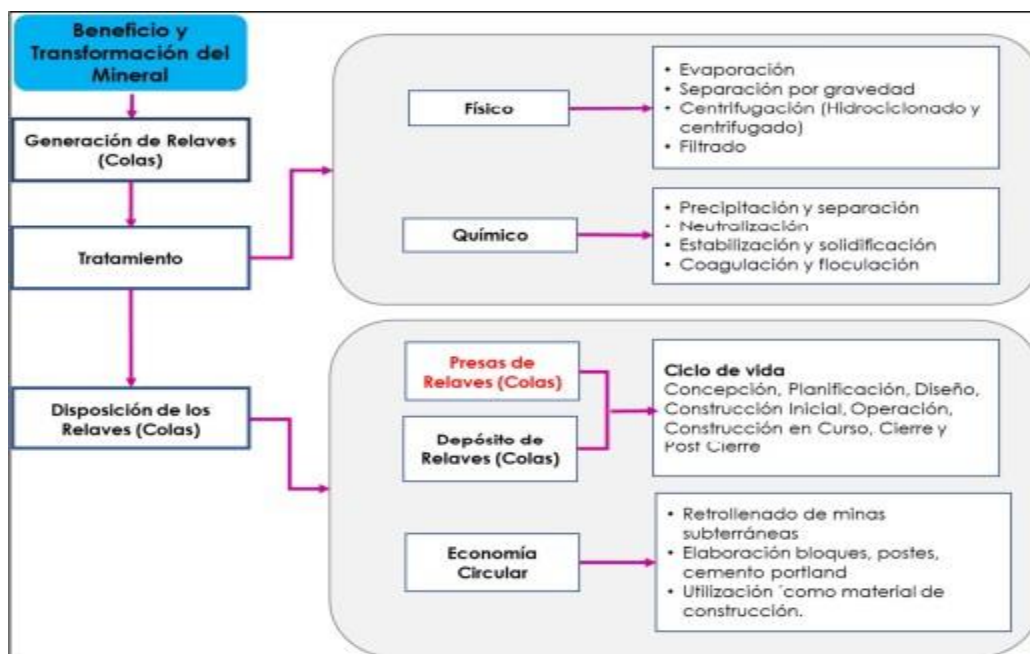
Existen muchos proyectos mineros a nivel mundial, en especial en Colombia, algunos lleva años en operación como en el caso de la mina de cobre de la compañía canadiense Ático mining⁴ minera el Roble ubicada en el Carmen de Atrato del departamento del Chocó; y otros muchos más proyectos con estudios en la etapa de diseño para entrar a operar en la explotación y extracción de diferentes metales y que requerirán la construcción de Presas para poder depositar los desechos mineros que se produzcan ya sean a mediana o gran escala y que pueden durar años en operación produciendo millones de toneladas de residuos de relaves y a la vez construyendo grandes presas para poderlos depositar.

⁴ (Aticomining, 2023)

Según Beltrán-Rodríguez, et al.(2018) Colombia es un país que, aunque se construyen presas de relaves no se cuenta con las innovaciones suficientes y el recurso humano especializado que concibe, diseña, construya, opere y mantenga y cierre estas estructuras con el conocimiento necesario que incluya temas técnicos de disposición y estabilidad, además de sostenibilidad ambiental y social. (Oportunidades en Colombia. Párrafo 1) por lo anterior, se entiende que las Presas se han construido de manera empírica o sin suficiente conocimiento ya que muchas veces se construyen estas infraestructuras en base a otros países, aplicando métodos de construcción que fallan tarde o temprano, o que muchas presas queden en el abandono con mínimo o sin ningún control.

Figura 2

Proceso generación de relaves



Fuente. (Geológicas,A.T, 2020, p. 18)

Gestión de Riesgo

Para esta línea estratégica según Geologicas,A.T,(2020) dice que 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, 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. (p. 33).

El uso de esta línea es muy importante para cuando se van a realizar gestiones y toma de decisiones en la construcción de las Presas 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” (Geologicas,A.T, 2020, p. 121).

De acuerdo a la lectura realizada se observa la importancia de retomar textualmente los siguientes apartados, dada la puntualidad en los lineamientos de la gestión de riesgos aplicables en las Presas que plantea (Geologicas,A.T, 2020, p. 121) las cuales dicen:

Es importante mencionar que las Presas 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 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.

En estos textos relaciona la importancia de la gestión de riesgos para minimizar posibles fallas o rompimiento en donde se aplica controles mediante los resultados obtenidos de manera periódica de allí parte la importancia que debe de tener toda presa de relaves mediante la implementación de esta línea transversal.

Para reducir el riesgo de una presa de relave se realiza “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” (Geologicas,A.T, 2020, p. 123).

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad presentada en este segmento, se aborda desde dos dimensiones, la vulnerabilidad propia de la Presa y la vulnerabilidad de las comunidades en el área de influencia de una Presa.

Vulnerabilidad desde la Presa

Toda Presa de relave presenta vulnerabilidad por la exposición a los diferentes peligros y riesgos de origen natural y humano que puedan causar que fallen o se rompan.

Uno de esos peligros es el cambio climático que en la actualidad varia de forma impredecible los cuales aumentan el peligro de manera natural y hacen que sean más vulnerables las presas de relaves. Para Hernández Columbié, T., & Guardado Lacaba, R, (2023) “La metodología empleada se basa en la propuesta de Wilches-Chaux (1988), la cual identifica diez

componentes o niveles de la vulnerabilidad global en los desastres, que conducen a determinar los tipos de vulnerabilidad.” (p. 274).

Según (Hernández Columbié, T., & Guardado Lacaba, R., 2023, p. 275) la clasificación cualitativa y cuantitativa de la vulnerabilidad global por cada grupo de eventos generadores de fallos, en cada zona y sus elementos estructurales y no estructurales como lo son:

La vulnerabilidad física (VF).

Vulnerabilidad estructural de la presa.

Vulnerabilidad no estructural de la presa.

Vulnerabilidad funcional y organizacional.

Vulnerabilidades complementarias (VC).

Vulnerabilidad ambiental y ecológica.

Vulnerabilidad económica.

Vulnerabilidad social.

Vulnerabilidad científica y tecnológica.

Vulnerabilidad desde las comunidades/vulnerabilidad social.

El aumento en la construcción de Presas está dado por el mismo aumento de explotación minera, sin embargo, se observa documentación o mención de las Presas cuando se presentan eventos adversos, pero no durante su concepción, diseño o implementación. Es de anotar, la importancia de verificar las diferentes vulnerabilidades, especialmente las sociales puesto que, al presentar fallas, los desenlaces e impactos son catastróficos y se incrementan con la cercanía a las comunidades/asentamientos humanos a la Presa.

Figura 3*Vulnerabilidad social*

Variable	Nivel de vulnerabilidad			
	VB ≤ 25 %	VM: 26 a 50 %	VA: 51 a 75 %	VMA: 76 a 100 %
Nivel de Organización de la Empresa (NOE)	Totalmente organizada	Organizada	Escasamente organizada	No organizada
Grado de Relación entre las Instituciones y Organizaciones Locales (GRIOL)	Fuerte relación	Medianamente relacionados	Débil relación	No existe

Fuente. Tomada de (Hernández Columbié, T., & Guardado Lacaba, R., 2023, p. 279)

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.⁵

Por lo anterior, se entiende que Colombia basa las construcciones de las Presas según como lo hacen en otros países, aplicando los mismos métodos de construcción (Aguas arriba, aguas abajo y mixtos) los cuales se han evidenciado que no son seguros, pero aun así son los conocimientos que se adquirían y se implementaban por la falta de experiencia en nuestro país, falta de regulaciones estrictas al momento de construirse y del manejo de estas estructuras.

⁵ (Geologicas,A.T, 2020, p. 8)

Las Presas de relaves son infraestructuras que utilizan diferentes métodos para su construcción como lo son de aguas arriba, aguas abajo y mixto que a la vez no son seguros ya que tarde que temprano fallan o se rompen, al igual tienen en común estos métodos que se construyen con el mismo material de relaves, lo cual hace que no sean tampoco sismo resistente. Todas las Presas son un riesgo independientemente donde estén construidas por lo que deben de ser monitoreadas y vigiladas, con un correcto mantenimiento de sus estructuras en donde se incorpore un programa de gestión de riesgo responsable, con elaboración de planes de contingencia que tenga en cuenta la vulnerabilidad tanto de la Presa, así como la vulnerabilidad social en donde no se desmejore la calidad de vida en el futuro de las comunidades ni su funcionamiento normal, que ayuden a prevenir y mitigar los impactos ambientales, sociales, y logísticos que se generan por las diferentes fallas o rotura de una Presa.

Fallas por las Cuales se Rompen más las Presas

Existen diferentes mecanismos de fallas en las Presas, los cuales la definición de cada concepto las mostrare como están en los lineamientos propuestos por (Geologicas,A.T, 2020).

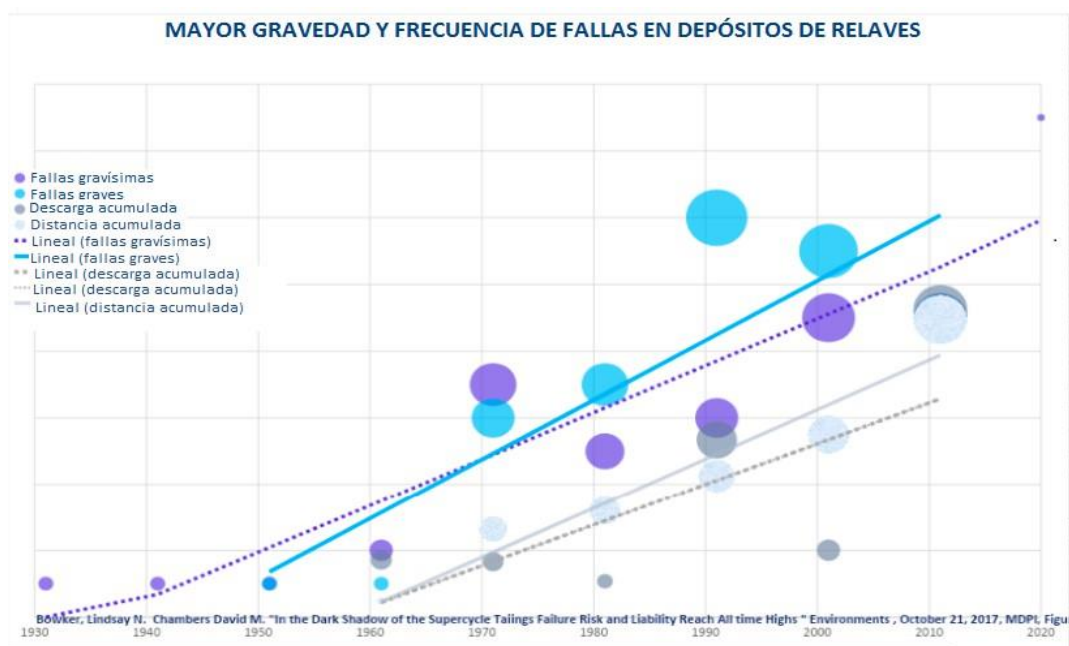
Conceptos Fundamentales y Características Comunes de las Presas Cuando Fallan o se Rompen

Las Presas como infraestructuras de depósitos pueden llegar a tener grandes volúmenes y ser muy altas, las cuales hacen que sean muy inestables y propensas a que fallen o se rompan.

Las presas de relave se han adoptado ampliamente en la industria minera metálica, en especial las de mina de cobre que han aumentado su producción durante los últimos 20 años y por ende requiriendo grandes depósitos para sus desechos mineros, creando Presas a bajo costo y empleando los diferentes métodos de construcción, para los cuales ha habido muchos incidentes y accidentes catastróficos, pero que aun en la actualidad se siguen manteniendo y usando esos métodos en especial el método de aguas arriba que estadísticamente es el que más accidentes a causado por rotura y sismos.⁶

Siempre que exista minas de poli metales hay por obligación subproductos como los relaves y por ende se necesita en donde depositarlos, lo cual, es de suma importancia aplicar métodos y construcciones con tecnologías adecuadas, en la cuales se involucre a la comunidad en la toma de estas decisiones para así mitigar el riesgo y sus impactos si llega a fallar o romperse una presa de relaves.

⁶ (Figuerola, et al, 2017, introducción, párrafo. 1)

Figura 4*Fallas en los depósitos de Relaves**Fuente.* (bnamericas, 2019)

En esta figura se puede observar el comportamiento de fallas en las Presas desde el año 1930 hasta el año 2020, en donde se evidencia que desde 1960 se han aumentado de manera considerable de forma más frecuente y de más gravedad cada vez que han sucedido fallas en estas estructuras.

Movimiento en Masa

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.⁷

En este caso de falla se da más por intervención humana, ya que si hay inestabilidad en factores que son determinados al momento de las construcciones de las Presas, como lo expresa Wilches-Chaux,(1993) el ser humano alberga autoría y responsabilidad, y cuya prevención está en sus manos, y aquellos ante los cuales somos apenas espectadores y muy poco podemos hacer para evitarlos (p. 9).

Licuación Sísmica

En los eventos de licuación sísmica las Presas 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.⁸

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).⁹

Aunque se conozcan amenazas sísmicas de la zona donde se encuentra la presa de relaves estos terremotos y eventos sísmicos son difíciles de predecir ya que pueden suceder en

⁷ (Geologicas,A.T, 2020, p. 34)

⁸ (Geologicas,A.T, 2020, p. 36)

⁹ (Geologicas,A.T, 2020, p. 36)

Cualquier momento a cualquier hora y no se sabrían a qué intensidad y magnitud real se generarían.

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. 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.¹⁰

Cuando una presa de relave se desborda tiene mucho que ver la acción humana ya que no se tuvieron en cuenta el sitio adecuado para construir la presa de relave, el bombeo del agua de las presas para que no se sobrellenaran o dejar de depositar relaves si ya se encuentra muy llenas.

Falla de la Fundación

Se genera debido generalmente por falta de 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 produce esfuerzos que superen la resistencia al corte de los suelos que conforman el estrato débil.¹¹

¹⁰ (Geologicas,A.T, 2020, p. 36)

¹¹ (Geologicas,A.T, 2020, p. 38)

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.¹²

Fallas de Estructuras Auxiliares

Es necesario un cálculo correcto de los volúmenes de agua y caudales a manejar en la presa de relaves 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.¹³ Tener bien controlado y organizado los procesos de manejo de la presa de relaves es de importancia ya que si llega a fallar algún proceso o estructuras de las cuales depende para su buen funcionamiento haría que la presa de relaves presente fallas o que se pueda romper.

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.¹⁴

Muchas fallas por erosión en las Presas se deben al sitio de construcción ya que son ubicadas muy cerca a laderas de fuentes hídricas (ríos, quebradas o nacimientos) que en temporadas de lluvias aumentan su caudal el cual llega hasta las Presas generando erosión en alguna parte de ellas y que se rompan vertiendo así sus desechos a estas fuentes hídricas que podrían causar desastres e impactos ambientales, sociales y logísticos.

¹² (Geologicas,A.T, 2020, p. 38)

¹³ (Geologicas,A.T, 2020, p. 39)

¹⁴ (Geologicas,A.T, 2020, p. 39)

Subsidencia de Minas Activas y 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.¹⁵

Existen Presas ya cerradas o abandonadas que fueron construidas con métodos empíricos o métodos que por lo general se rompen, que se encuentran cerca a fuentes hídricas y a comunidades que desconocen de su existencia o su potencial de daños que podrían causar al romperse.

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. 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 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.¹⁶

Las infraestructuras como lo son las Presas de relaves utilizan diferentes métodos de construcción que en común son construidas con el mismo material de relaves, todas las Presas deben de ser monitoreadas y vigiladas con un correcto mantenimiento de sus estructuras en donde se incorpore un programa de gestión de riesgo responsable, donde se tenga en cuenta la vulnerabilidad tanto de la Presa así como la vulnerabilidad de la comunidad/ vulnerabilidad

¹⁵ (Geologicas,A.T, 2020, p. 39)

¹⁶ (Geologicas,A.T, 2020, p. 39)

social, que ayuden a prevenir y mitigar los impactos ambientales, sociales, y logísticos que se generan por las diferentes fallas por las cuales se pueden romper una Presa.

Factores y Condiciones que Pueden Llevar al Colapso de una Presa de Relaves y sus Impactos

De acuerdo a Hernández Columbié, T., & Guardado Lacaba, R. (2023) la estabilidad de la presa de relaves depende de los factores condicionantes relacionados con las aguas subterráneas, la tectónica, la topografía, la textura y estructura de los materiales, así como su alteración o degradación mecánica. Los factores detonantes en las presas pueden ser eventos naturales como las lluvias, los sismos, la erosión, los deslizamientos, la licuefacción o artificiales como cortes, rellenos, deforestación y operacionales de la presa.(p. 274) por lo que estos factores principales inciden en las fallas o roturas de las Presas, se debe de tener previo conocimiento de estos para así tener y aplicar métodos preventivos el cual minimicen el riesgo y peligro de estos factores condicionantes y de los factores detonantes.

De acuerdo a estudios y “con el fin de analizar y caracterizar los riesgos principales de las presas de residuos mineros en donde se recopilieron 407 accidentes de fallos de Presas” (Fernández, 2017, p. 16) en donde se obtienen una serie de fallos o causas de estos accidentes los cuales son:

Deslizamiento del talud o inestabilidad de la pendiente.

Desbordamiento o sobrepaso.

Sismo o terremoto.

Filtración.

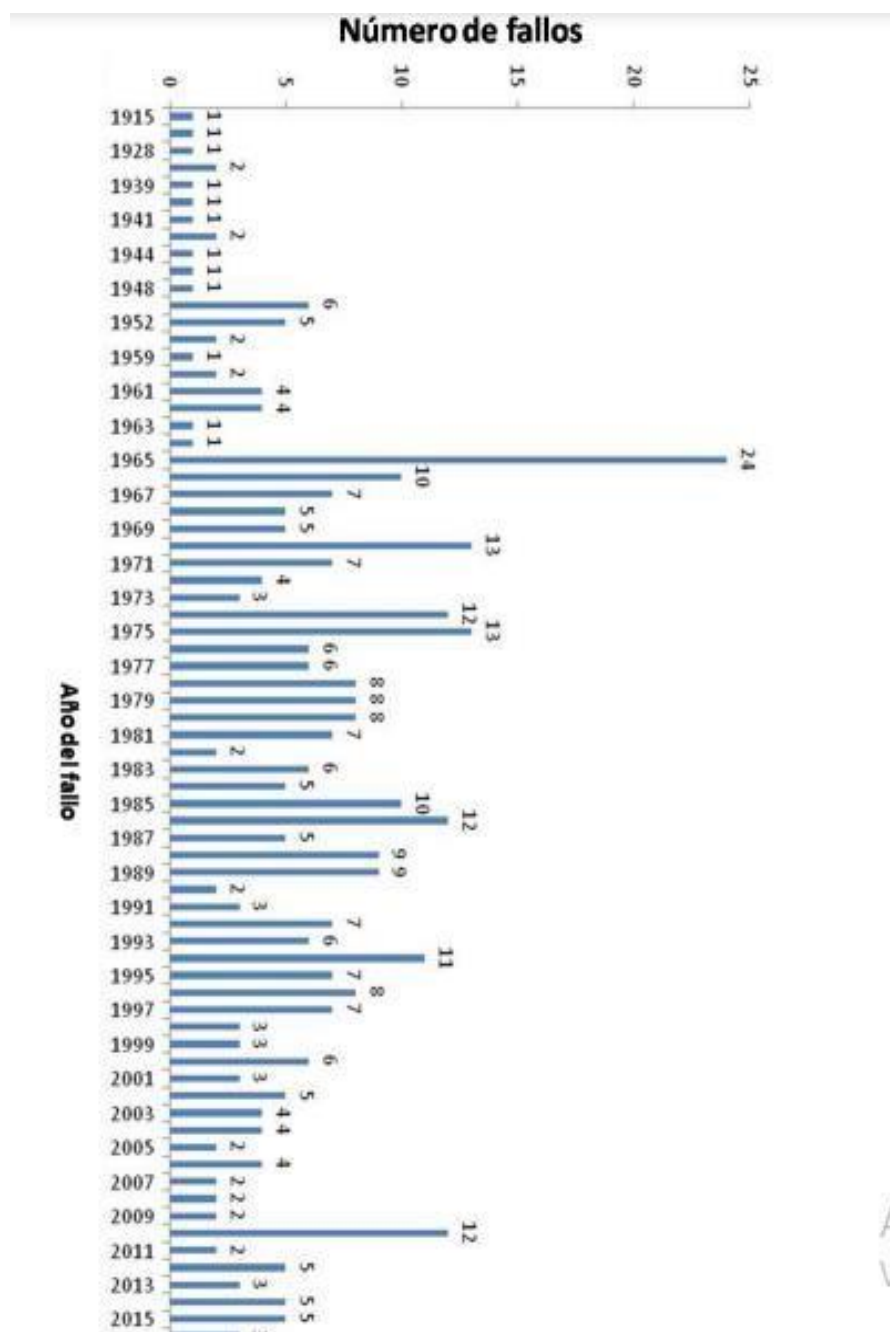
Erosión interna.

Licuefacción estática.¹⁷

¹⁷ (Fernández, 2017)

Figura 5

Número de fallos de presas a nivel mundial por año



Fuente. (Fernández, 2017, p. 15)

Se puede observar esta grafica el numero de fallas de Presa por cada año, en donde se evidencia que el mayor numero de fallas registradas fue en el año 1965 con 24 casos.

Influencia del Cambio Climático

En la actualidad es importante siempre tener en cuenta los fenómenos asociados al cambio climático y sus variaciones ya que puede tener niveles altos de lluvias y como también como escasas 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”. (Geologicas,A.T, 2020, p. 37).

De acuerdo a Hernández Columbié, T., & Guardado Lacaba, R (2023) el cambio climático constituye un detonante de los riesgos por fallos de las Presas en la industria minera. Este factor, incrementa la vulnerabilidad ante peligros de origen natural y antrópico de las obras, ocurriendo un incremento de los incidentes medioambientales de estas estructuras, a medida que alcanzan mayor altura, poniendo en riesgo a la población, la infraestructura y el ambiente. (p. 267).

“La acción del cambio climático transforma el comportamiento de las variables climatológicas de forma impredecible” (Hernández Columbié, T., & Guardado Lacaba, R., 2023, p. 268). Las Presas pueden mantener su estabilidad, pero aplicando muchos factores condicionales para que cuando aparezcan factores detonantes como lo son las lluvias, sequias o sismos no las lleguen a afectar, aunque son factores que muchas veces no sabemos con exactitud cuándo van a suceder.

Impactos que Generan las Presas Cuando Fallan o se Rompen

De acuerdo a toda la información que se ha analizado, los impactos ambientales, sociales y logísticos graves que han ocurrido en la industria minera son causados por fallas en el manejo de los residuos. Este elemento que no genera ingresos, pero sí costos, está presente en todas las operaciones mineras y suele pasarse por alto, ya que las empresas, los accionistas y los analistas se centran en aspectos que inciden en el resultado final como la ley mineral, los costos de producción, las ventas, los precios de los metales y la demanda. (bnamericas, 2019, párrafo. 1) lo que también hace de que sean las Presas un pasivo para las empresas y al no generar ingresos muchas veces pareciera que no se hace las inversiones correctas en construcción y prevención correctamente para evitar así que fallen o se rompan.

Impactos Ambientales

Cuando una presa de relave se rompe genera grandes impactos negativos en su entorno, en especial al medio ambiente, generando una gran problemática que en su afectación toman años o décadas en recuperarse y en los que mayor frecuencia afecta son:

Daños a la flora y fauna.

Daño a ecosistemas acuáticos.

Contaminación de fuentes hídricas.

Contaminación del aire.

Cambios en la geografía de la región.

Daños a la agricultura y ganadería.

Pérdida de biodiversidad.

Contaminación del suelo.

Inundaciones, avalanchas.

Los riesgos generados también pueden ser de carácter químico ocasionados por desplazamiento de metales pesados (el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el talio (Tl), así como el cobre (Cu), zinc (Zn) y cromo (Cr)) o generación de drenajes ácidos o alcalinos mineros potenciales contaminantes de fuentes hídricas, suelo y aire.¹⁸ Todos estos impactos ambientales son de gran afectación a todo el ecosistema en donde se generan, los cuales también contribuyen al cambio climático que estamos viviendo actualmente de forma negativa por la gran contaminación y daños al medio ambiente.

Impactos Sociales

Los impactos sociales que más se presentan son los siguientes:

Muerte de personas.

Afectación a la salud. (psicológicas, físicas).

Exposición a riesgos e incertidumbres.

Comunidades destruidas.

Desempleo.

Desplazamiento de personas, familias o comunidades.

Credibilidad empresa-comunidad.

En estos impactos sociales que genera una presa de relaves cuando falla o se rompe y llega a afectar las comunidades principalmente la vida humana causando muerte y que en muchos casos son de muchas víctimas debido a que las presas están cerca a las comunidades o que estos residuos logran llegar e impactar significativamente a la sociedad muchas veces de manera sorpresiva y espontánea.

¹⁸ (Geologicas,A.T, 2020, p. 34)

La afectación a la salud puede darse de forma progresiva o de manera espontánea debido a los residuos tóxicos de los relaves mineros que cuando hay fallas o ruptura de las Presas llegan ya sea por fuentes hídricas, aire o por eventos catastróficos afectando la salud de las personas, y para la parte psicológica el hecho de perder familiares, amigos, propiedades, el cambio que se genera en su entorno de hábitat hace que se afecten las personas y la comunidad en general en donde llegan a presentarse estos eventos e impactos.

Cuando una presa de relaves se rompe y genera catástrofes que destruyen comunidades, causa muerte, problemas de salud, genera incertidumbre en los cuales hace que mucha gente quede desempleada o que tengan que desplazarse ya sean familias o comunidades enteras debido a la exposición a los riesgos o que ya no hay más alternativas laborales impactando de manera significativa a la sociedad.

Impactos Logísticos

Los impactos logísticos que se generan por fallas o rompimiento de una presa de relaves son varios y algunos afectan solo a la empresa, otros a la comunidad y tiene otros que son en común, por lo tanto, podemos diferenciarlo de la siguiente manera.

Impactos logísticos que afectan a la empresa a la cual pertenece la presa de relaves son

Costos altos para el manejo de las Presas de las empresas que las construyen.

Malos diseños de construcción y calidad de la presa de relaves.

Daños a infraestructuras cercanas a la presa de relaves y pertenecientes a la operación de la empresa.

Pérdida de valor de la empresa en el mercado.

Impactos logísticos que afectan a la sociedad son los siguientes

Daños a procesos lineales de producción como plantaciones de cultivos (pan coger), ganadería y comercio que del cual depende la comunidad.

Daños a infraestructuras causado por la falla o rotura de la presa de relaves, en las cuales llegan a ser viviendas de las personas, calles y vías de comunicación terrestres, daños a infraestructura eléctrica, y en ocasiones a infraestructura de acueductos que abastecen a la comunidad.

Impactos que afectan en común a la empresa a la cual pertenece la presa de relaves como a la comunidad y su entorno la cual es

La logística de producción ya que puede hacer de que se tenga que parar la operación de la empresa he incluso cierre temporal o permanente, y al igual para la sociedad ya que en su grado de afectación hace que muchos sectores productores de la comunidad paren su producción o tengan que causar despidos causando desempleo e incertidumbre en la sociedad.

En los impactos logísticos esta los que le genera a la misma empresa ya que se ven obligadas a la mitigación de dichos eventos o a control de calidad en sus construcciones y esto requiere inversión económica generando altos costos ya sea en su logística de producción ya que si se presenta estos eventos muchas veces hace que la empresa deba de parar su operación o su mismo funcionamiento.

El impacto logístico a los procesos lineales de producción tanto de las empresas como de las mismas comunidades en su desarrollo económico se ven afectados ya que las comunidades dejen de producir su economía local, y las empresas pierden valor en su mercado comercial.

Existen diferentes factores y condiciones que inciden en las fallas y roturas de una Presa, en los cuales hay factores por acción humana o factores naturales, en las cuales el cambio climático es un muy determinante ya que se está volviendo muy variable e impredecible, haciendo que aumente el riesgo de los detonantes naturales y que para un futuro podrían llegar a

afectar con más facilidad las Presas generando mayores impactos de los que han sucedido hasta la fecha. Una presa de relaves genera impactos de gran importancia como lo son los *impactos ambientales* que afectan en su mayoría a fuentes hídricas, flora, fauna entre otros impactos que como resultado genera alteración climática y ecológica que para recuperasen nuevamente toman años o décadas, *los impactos sociales* como lo son pérdidas de vidas humanas, afectaciones a la salud, destrucción del hábitat de las comunidades, entre otros, que por la incapacidad para actuar adecuadamente ante la presencia de este riesgo que traen potenciales consecuencias negativas a futuro y *los impactos logísticos* como el daño a infraestructura ya sea de la misma empresa y de las infraestructuras de las comunidades afectadas, los costos por daños, rediseños por la mala calidad de su construcción, afectación a la logística de producción de la comunidad y la producción de la empresa ya que hace que paren su operación o si los hechos son catalogados grave hasta el cierre de las empresas y de otros sectores productores de la comunidad.

Casos Históricos por Fallas o Roturas de Presas a Nivel Internacional y sus Impactos

En la siguiente sección se describe varios eventos ocasionados por la falla o rotura de Presas a nivel mundial en distintos países. Cada evento en estos países tiene diferentes impactos negativos pero que aun así son muy parecidos ya que el resultado muestra la afectación ambiental, social, y de logística cuando falla o se rompe una presa de relave.

Figura 6

Presa de relaves



Fuente. (Padrino, 2018)

Se puede observar una presa de relaves de gran volumen y la alteración geográfica que se genera para poder ser construida.

Figura 7

Estadístico de estado de presas en Brasil



Fuente. (bnamericas, 2019)

En esta grafica muestra las Presas en Brasil desde el año 2016 hasta el año 2022 que son clasificadas como alarmantes ante posibles fallas o roturas, lo que se observa es que del año 2018 al 2019 muestra un aumento significativo en la cual paso de 68 casos a 156, para el año 2020 se reportaron 122, frente al año 2021 muestra un aumento significativo a 187 y que para el año 2022 volvió hacer de 122 casos.

Evento en Brasil

La rotura de una presa de relaves con residuos mineros en la municipalidad de Brumadinho en el estado de Minas Gerais suroeste de Brasil, la cual la mina era operada por la compañía minera Vale.S.A en donde sepultó gran parte de esa localidad dejando más de 120 muertos, 226 desaparecidos y produciendo daños e impactos ambientales irreversibles en la flora, fauna, vegetación nativa y aguas de fuentes hídricas superficiales de esa región.¹⁹

La falta de personal con experiencia, normas que carecen de rigidez sobre las construcciones de las Presas, leyes que no benefician al medio ambiente hicieron que se produjera el desplome de la presa desatando una avalancha de lodo aguas río abajo, aunque ya existía un registro de catástrofes anteriores como la del municipio de la Mariana en el 2015 que provocó la muerte de 19 personas no se tomaron medidas necesarias para prevenir de nuevo un desastre como el que ocurrió en Brumadinho.²⁰

En este evento por rotura de presa de relaves se evidencia los potenciales impactos generados social, ambiental y logístico para esta municipalidad, y aunque con anterioridad ya había pasado otro suceso catastrófico en una región cercana del municipio de la Mariana, que si se hubiera tenido en cuenta como advertencia tomando acciones de prevención, verificación y capacitación, hubiese podido mitigar o que fuera menores los impactos, ya que la comunidad podría haber estado preparada para este evento, evitando muertes, personas desaparecidas y todos los impactos ambientales, sociales y logísticos ya antes mencionados.

¹⁹ (Morales, 2019.Tragedias imborrables, párrafo. 1)

²⁰ (Revista semana, 2019, párrafo. 6)

Figura 8

Desastre presa de relave en Brumahindo Brasil



Fuente. (Revista semana, 2019)

Evento en Bolivia

El accidente por el rompimiento de una presa de relaves en la localidad sureña de Potosí perteneciente a la federación departamental de cooperativas mineras la cual provocó que mezcla de lodo y desechos mineros llegaran al Pilcomayo el cual es un río con gran extensión de 1.100 kilómetros de longitud y que es internacional ya que pasa por los países de Bolivia, Argentina y Paraguay, en donde según análisis el ecosistema con este daño tardaría en 10 años en recuperarse por completo, cabe recalcar que este río define la mayor parte de la frontera entre Argentina y Paraguay al igual que pasa por muchas comunidades las cuales llegan a tener contacto o beneficio del río.²¹

Dicho desastre producido por la rotura de la presa en Potosí nos permite evidenciar que estos desastres no conocen de límites geopolíticos ya que sus efectos e impactos pueden llegar a

²¹ (Chacon, 2022)

zonas más allá de donde fallo la presa de relave, si no como en este caso, que es un cuerpo de agua de gran extensión como lo es el río Pilcomayo generando gran contaminación en él y por donde pasa, de allí la importancia de prevenir estos eventos, aunque en este caso existe un reglamento ambiental para la actividad minera, no existe una norma técnica regulatoria en el caso de las Presas.²²

Eventos en Perú

Unos 50.000 metros cúbicos de desechos mineros colapsaron al medio ambiente por el rompimiento de una presa de relaves de la mina Huancapetí que explota la minera Lincuna en la región de Huaraz las cuales estos residuos llegaron hasta el río Sipchoc. La ruptura de la presa se produjo por el colapso del extremo y la base del dique.²³

Otro evento sucedió por falta de mantenimiento de la presa de relaves en San Pedro de Corismas 67.400 metros cúbicos se desprendieron proveniente de la unidad minera de cobriza de la empresa Doe Run Perú la cual afectó instalaciones de la misma empresa y llegó hasta uno de los ríos más importantes del país como lo es el Río Mantaro.²⁴

Evento en Chile

Un ejemplo es la de la tragedia de ‘‘el soldado ocurrida el 28 de Marzo de 1965 tras un terremoto con epicentro en el sector de la Ligua, que debido al movimiento sísmico dos Presas con desechos mineros colapsaron sobre el campamento minero El Cobre y que siguieron su avance por el valle hasta llegar a la zona urbana de El Melón dejando un aproximado de 500 personas fallecidas y que históricamente muestra que puede pasar cuando hay un sismo en estas zonas que tienen construidas Presas.²⁵

²² (Collazos Morales, 2023)

²³ (La Tercera, 2018)

²⁴ (SPDA, 2019)

²⁵ (Fajardo, 2023. Tragedias históricas. párrafos. 1 y 2)

Disaster in Canadá

De acuerdo al desastre catastrófico en la mina Mount polley de Canadá en donde se vertieron 25 mil millones de litros de materiales de relaves contaminados tóxicos de la minería de extracción de cobre y oro a una fuente de agua potable y de alimento para sus pobladores, el cual por fallas humanas de sus ingenieros de mina no tuvieron en cuenta que la construcción la realizaban sobre un sedimento glacial que con el pasar del tiempo fue afectando la estructura de la presa de relave y provocando que colapsara.

On August 4th, 2014 a four square kilometer sized tailings pond full of toxic copper and gold mining waste breached, spilling an estimated 25 billion litres of contaminated materials into Polley Lake, Hazeltine Creek and Quesnel Lake, a source of drinking water and major spawning grounds for sockeye salmon. According to Mount Polley mine records filed with Environment Canada in 2013, there were “326 tonnes of nickel, over 400 tonnes of arsenic, 177 tonnes of lead and 18,400 tonnes of copper and its compounds placed in the tailings pond,” in 2012.²⁶

An investigation into the cause of the spill revealed mine engineers failed to account for glacial silt underneath the tailings containment pond, leading to structural insufficiencies that caused the dam’s collapse. No charges or fines have been laid in response to the disaster. Several local landowners and business operators affected by the spill have launched legal challenges to seek compensation for damages.²⁷

The ministry led the response for the environmental monitoring, impact assessment, mitigation and remediation of the area impacted as a result of the Mount Polley Mine

²⁶ (thenarwhal, 2014. Overview of the Mount Polley Mine Disaster, párrafo. 1)

²⁷ (thenarwhal, 2014. Overview of the Mount Polley Mine Disaster, párrafo. 4)

tailings breach. This work was undertaken with First Nations, local governments, provincial and federal agencies and public representatives.²⁸

Incident Description

Figura 9

Descripción del incidente

Ubicación	Lago Polley, arroyo Hazeltine y lago Quesnel
Cantidad de producto	Pérdida de unos 17 millones de metros cúbicos de agua y 8 millones de metros cúbicos de relaves/materiales
Fuente	Falla de presa de relaves
Hora/Fecha del Incidente	01:00 horas del 4 de agosto de 2014

Fuente. (BRITISH COLUMBIA, 2014)

Con este ejemplo se observa que un país desarrollado como lo es Canadá, que en el año 2014 le sucedió este evento que produjo diferentes impactos ambientales, sociales y logísticos siendo una de las potencias mundiales en desarrollo e industria, se generan grandes impactos por presas de relaves y que en este caso son por causas humanas en la determinación del sitio de ubicación de la Presa, en donde se evidencia la falta de control social y mayor capacitación de quienes toman la decisión que lleva a determinar si ese sitio cumplía o no como zona adecuada para la construcción de esta infraestructura.

²⁸ (BRITISH COLUMBIA, 2014. Summary, párrafo. 5)

Figura 10

Mount Polley mine disaster



Fuente. (Dirk meisner, 2019)

Evento en España

El 25 de abril de 1998 se produce la rotura de la presa de contención de la balsa de decantación de la Mina de Piritas en Aznalcólar (Sevilla). Como resultado, aparece, un importante vertido de agua ácida y de lodos muy tóxicos, contenido de altas concentraciones de metales pesados, de gravísimas consecuencias para la región.²⁹

Cuando la balsa de residuos de la mina de Aznalcollar se rompió, vertió más de seis millones de toneladas de barro tóxico y aguas ácidas ricas en cinc y arsénico.³⁰

El impacto ambiental fue muy grande debido a la gran cantidad de residuos almacenados en la mina y que se vertieron generando un gran impacto ambiental. Los principales afectados

²⁹ (Martínez Alier & Waldron, 2014. Descripción del caso de conflicto, párrafo. 1)

³⁰ (Martínez Alier & Waldron, 2014. Descripción del caso de conflicto, párrafo. 1)

fueron los cultivos que se encuentran en las tierras colindantes a la presa, que han sido devastados, y las propias tierras que han quedado estériles.³¹

Figura 11

Desastre ecológico de Aznalcóllar



Fuente. Tomada de (Aguilar, et al, 2000)

Evento en Italia

Para este evento que sucedió en Italia, el desbordamiento de la presa de relaves tiene que ver mucho con su construcción al lado de una ladera de una colina y además de dos cuencas o Presas las cuales cuando la superior colapso sobre la cuenca inferior haciendo que esta se desbordara y colapsaran río abajo 185.000 m³ de lodo mineros relaves) a gran velocidad tapando y arrasando con los pueblos de Stava y Tesero causándole la muerte a 268 personas, mostrando el impacto destructivo que tienen las Presas aun en países desarrollado industrialmente como lo es Italia.

³¹ (Martinez Alier & Waldron, 2014. Descripción del caso de conflicto, parrafo. 1)

On July 19, 1985, the fluorite tailings dams of the Prealpi Mineraria mine, located on the Porcellini Creek, a small tributary of the Stava Creek, at an elevation ranging from 1330 to 1380 m asl., failed (Genevois and Tecca 1993). The tailings dam was built on a hill-slope, and consisted of two basins. The failure occurred when the up-slope basin collapsed into the lower one. The inflow of this material caused overtopping of the lower basin and its subsequent collapse.³²

The tailings that spilled out of the failed dams flowed downstream at a high speed. According to a survey that was conducted after the collapse, the total volume of sediment that had flowed out was estimated to be 88.300 m³ (12.000 m³ of fine sand and 76.300 m³ of silt). Moreover, after an estimation of the volumes of the supernatant water and the interstitial water, a total volume of 185.000 m³ of mud debris, with a volumetric solids concentration of 0.476, was calculated to have been released as a muddy debris flow (Takahashi 2007).³³

The villages of Stava and Tesero, located along the stream channel and at its end, respectively, were completely wiped out or buried. The flowing mass killed 268 people and completely destroyed three hotels, eight bridges, 53 homes and six industrial buildings. Nine more buildings were seriously damaged (Van Niekerk and Viljoen 2005).³⁴

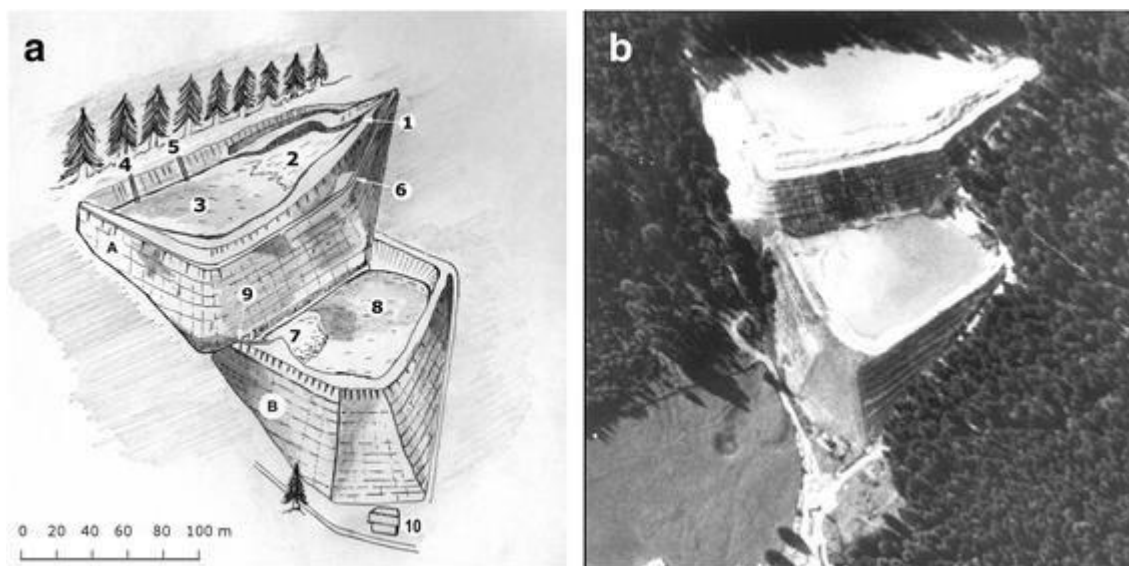
³² (Pirulli, 2017, The collapse of tailings dams at Stava párrafo. 2)

³³ (Pirulli, 2017, The collapse of tailings dams at Stava párrafo. 3)

³⁴ (Pirulli, 2017, The collapse of tailings dams at Stava párrafo. 4)

Figura 12

Presa de relaves de Fluorita de la mina Prealpi Mineraria 1985



Fuente. (Pirulli, 2017)

A nivel mundial han sucedido diferentes eventos de fallas o roturas de Presas ya sean por desplome de las presas, insuficiencia estructural, terremotos, desbordamientos, fallas de estructura, entre otros, causando eventos de grandes magnitudes en los cuales generan altos impactos ambientales, sociales y logísticos que no son ajenos en cualquier parte del mundo ya sean en países en desarrollo o ya desarrollados industrialmente, lo cual se evidencia que en donde existen Presas de relaves, tienen gran potencial de generarse impactos negativos, en cualquier momento, sin diferenciar desarrollo económico y en cualquier parte geográfica del mundo el cual hace ver la impreparación de los gobiernos y ausencia del liderazgo efectivo en una comunidad en donde se priorice la prevención y mitigación de estos eventos e impactos por falla o rotura de presas de relaves. Aunque estos eventos son de baja probabilidad que sucedan de manera muy continua, son de alto impacto cuando se llegan a presentar, notándose la falta de preparación y de conciencia para afrontar estos impactos ambientales, sociales y logísticos.

Tabla 2*Datos de algunos eventos por fallas o rotura de Presas y sus impactos*

Nombre	País	Año	Causa	Impactos
Campamento el Cobre, el Melón	Chile	1965	Terremoto	Más de 500 muertes, daño a fauna y flora
Mount Polley	Canadá	2014	Insuficiencia estructural	Contaminación de fuente hídrica
Deñen Mica Yancey, North Carolina	Estados unidos	1974	Inestabilidad de la pendiente	Afectación a un río
Cooperativas Mineras	Bolivia	2022	Fallo de presa de relaves	Afectación río internacional
Huamcapati minera Lincuna	Perú	2019	Rompimiento	Contaminación río
Brumadinho minera el Vale	Brasil	2019	Desplome de la presa de relaves	120 muertos, 226 desaparecidos, daño a fauna y flora, daño a infraestructura de la comunidad y empresa.
Riltec, Mathina, Tasmania	Australia	1995	Filtración presa de relaves	Daños al medio ambiente

Fuente. Elaboración propia a partir de diferentes referencias bibliográficas.

Presas de Relaves en Colombia

Existe muy poca información sobre el uso y manejo que se dan en las Presas en Colombia y los sectores mineros que las construyen, pero aun así las hay en nuestro país, las cuales, son fuentes potenciales de altos impactos ambientales, sociales y logísticos para los entornos donde están construidas. De acuerdo a Beltrán-Rodríguez, et al (2018) la información disponible sobre el manejo de relaves en Colombia es escasa y dispersa, por lo cual un diagnóstico completo y preciso sobre el tema es un desafío. La minería en Colombia ha ganado participación importante dentro de la actividad económica del país durante las últimas cuatro décadas. (Manejo de relaves en Colombia-generalidades, párrafo. 1).

Cada vez en el país hay más proyectos mineros de extracción de poli metales que están entrando en funcionamiento y también que se prevén que en un futuro empiecen a explotar esos minerales principalmente de cobre y oro, que en la actualidad son de importancia en la transición energética que se está viviendo en el mundo, para las cuales estos proyectos van a depender de la construcción de Presas para depositar los desechos mineros que se produzcan.

Marcos Normativos

En Colombia antes del año 2020 se manejaba el tema relacionado a las presas de relave mediante el Artículo 199 del Código de Minas (Ley 685 de 2001) y era este decreto con el cual se apoyaban el ministerio de minas y el ministerio de medio ambiente y así concebía, permitía los diseños y construcción, además, era por el cual realizaba control de las Presas y todo lo relacionado a estas estructuras.

En el año 2020 en Colombia se empieza a establecer lineamientos más estrictos con lo que tiene que ver con las Presas con una nueva propuesta de lineamientos técnicos de políticas de buenas prácticas para estandarizar los procesos de Presas. El presente documento lo elaboran

bajo el marco del contrato de consultoría GGC468-2020 celebrado entre el Ministerio de Minas y Energía (Dirección de Minería Empresarial) y ATG Ltda.

Presas en Colombia

En Colombia ya existen Presas mineras en lugares como Carmen de Atrato (Chocó) o Buriticá (Antioquia) y se proyecta hacer más en explotaciones mineras en Cajamarca (Tolima), Santurbán (Santander) y San Roque y Jericó (Antioquia), entre otras.³⁵

La mayoría de proyectos son de explotación a gran escala y, por lo tanto, las Presas que se construyan requieren una gran capacidad de disposición y almacenamiento para estos desechos mineros, las cuales entre más grandes son estos depósitos, su potencial de impactos son mayores.

Cajamarca

La empresa surafricana Anglogold Ashanti es la que más Presas ha propuesto. para el proyecto La Colosa, en Cajamarca, la empresa consideró construir una presa de relaves ubicada a unos 3.000 metros sobre el nivel del mar, con una capacidad superior a los 2.000 millones de metros cúbicos y una altura aproximada de 250 metros.³⁶

Buritica

En Buriticá (Antioquia), Continental Gold diseñó una estructura para almacenar 14 millones de metros cúbicos de relaves en un sistema encofrado, con lo que se espera evitar que relaves secos puedan humedecerse. Si bien este tipo de presas es menos inseguro, persisten las dudas sobre su comportamiento ante sismos. Además, ha sido emplazada en un valle que ha mostrado evidencias de torrencialidad.³⁷

³⁵ (Morales, 2019. Presas en Colombia, párrafo. 1)

³⁶ (Morales, 2019. Presas en Colombia, párrafo. 2)

³⁷ (Morales, 2019. Presas en Colombia, párrafo. 6)

Figura 13

Presa de relaves de Zijin Continental Gold Buriticá Antioquia



Fuente. (srk consulting, 2017)

De acuerdo a lo expuesto por Juan Camilo Martínez Rojas, (2020) la amenaza a la quebrada el Mermejál es uno de los proyectos de extracción minera en Colombia está en Buriticá, Antioquia. Según la empresa Continental Gold, para este se tendría un almacenamiento de relaves cercano a los 6,5 millones de m³ al final de su vida útil sobre la quebrada Mermejál. A pesar de que en la presa de Buriticá se vierten relaves compactados con un bajo contenido de humedad, este tipo de relaves puede presentar problemas de estabilidad en áreas con altas precipitaciones como las que hay en gran parte del país. (La amenaza en la quebrada Mermejál, párrafo. 1).

Con lo anterior se evidencia los riesgos de esta presa que esta cerca a fuentes hídricas y que como lo hemos observado en los anteriores eventos, cuando llega la presa a romperse y sus desechos llegan a estas, son desastrosos y su potencial de impactos son mayores.

Figura 14

Presa de relaves cerca a la quebrada Mermejál



Fuente. (Juan Camilo Martínez Rojas, 2020)

Suratá (Santander)

La empresa árabe Minesa pretende acumular 34 millones de metros cúbicos en un depósito de relaves secos que taponaría el valle de una quebrada y quedaría ubicado aguas arriba del casco urbano de varias poblaciones y de la bocatoma del acueducto de Bucaramanga, que sirve a más de dos millones de personas.³⁸

En Carmen de Atrato Chocó

En el municipio del Carmen De Atrato Chocó, se encuentra la mina de cobre (oro, plata).

El Roble operada por la multinacional canadiense Ático Mining corporation.³⁹

³⁸ (Morales, 2019. Presas en Colombia, párrafo. 7)

³⁹ (Aticomining, 2023, párrafo. 1)

Las presas del proyecto El Roble, de donde se extrae cobre, muestran problemas de estabilidad. Algunas de ellas se ubican en zonas donde el Río Atrato o sus afluentes pueden afectarlas. Esta corriente ha mostrado evidencias de torrencialidad y las presas podrían colapsar, lo que potenciaría su efecto destructor aguas abajo.⁴⁰

En el proyecto del Roble opera ya desde hace varias décadas en las cuales cuentan con Presas ya fuera de operación o cerradas en las cuales están la presa de relave #1, presa de relave #2 y presa de relave#3 que están construidas con métodos no tan estrictos , en sitios de montaña y cerca al “Río Atrato el cual se encuentra protegido por el estado Colombiano” (La Corte Constitucional, 2016) y que si llegaran a fallar o romperse caerían fácilmente al Río Atrato los cuales puede causar impactos ambientales, sociales y logísticos a la población del Carmen de Atrato que se encuentran en la parte de aguas abajo de estas Presas.

Para la presa de relaves #4 que está situada a la ladera del Río Atrato y en frente del hospital Municipal y en la parte superior de la misma se encuentra la bodega de explosivos llamada el polvorín perteneciente a la misma empresa, minera el Roble-Miner S.A que aunque se está realizando cierre, esta presa de relaves se encuentra construida a solo escasos metros del Río Atrato el cual, por estar en una zona de altas precipitaciones, muchas veces presenta aumento significativo del caudal por lo tanto, es una presa con gran potencial de impactos ambientales, sociales y logísticos.

La presa de relaves #5 se realiza el depósito de relave secos después de un proceso de filtrado en donde se retira el agua y quedando como especie de arena que es utilizada también como logística de retorno para operaciones con cemento dentro de la mina o relleno y otra parte se acumula en la presa la cual se va compactando sobre el mismo, la cual esta presa está

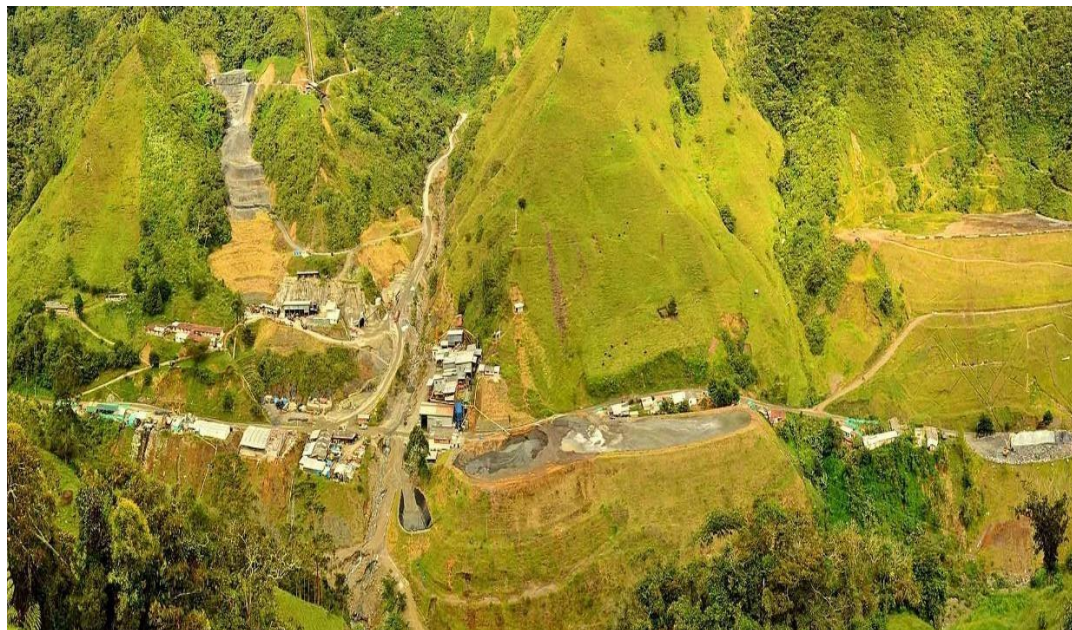
⁴⁰ (Morales, 2019. Presas en Colombia, párrafo. 8)

construida debajo del nacimiento de un cuerpo de agua, el cual, al construirse la Presa fue desviado su caudal mostrando así la alteración arbitraria de los cursos de fuentes hídricas.

Además de que estas Presas están construidas cerca al “Río Atrato el cual está protegido por el estado como sujeto de derecho sentencia T-622 DEL 2016” (La Corte Constitucional, 2016) y de que se encuentran en la parte antes del casco urbano del Municipio de El Carmen de Atrato, también se han presentado “sismo de magnitud de 4,7 en el año 2017”(telemedellin.tv, 2017, párrafo. 1) que aunque fue de esa magnitud podría llegar a pasar uno mayor o que sismos con epicentros en otras regiones cerca al municipio o de mayor magnitud también pueden llegar a afectar las Presas que están construidas allí.

Figura 15

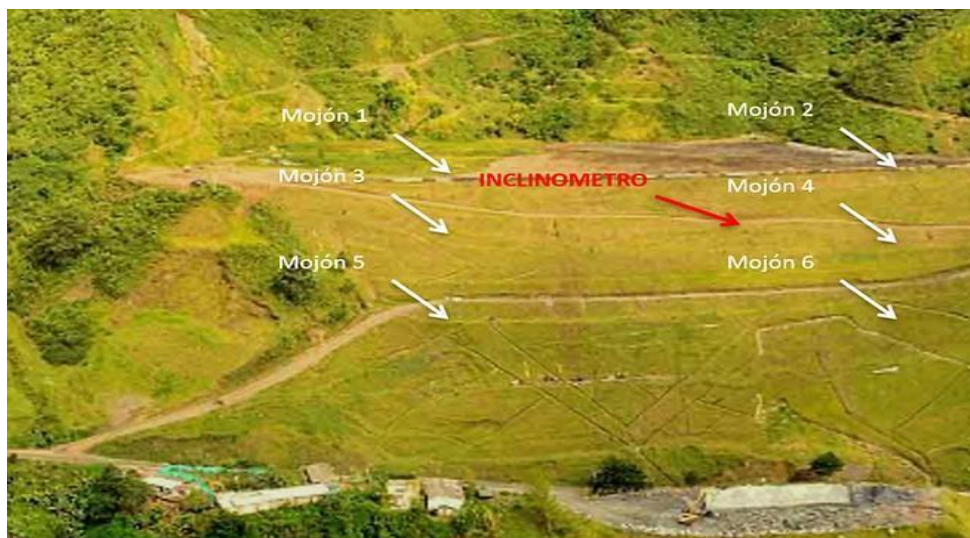
Presa de relaves #1 El Roble El Carmen de Atrato Chocó



Fuente. (dcringenieros, 2020)

Figura 16

Presa de Relaves#3 Minera El Roble El Carmen De Atrato



Fuente. (dcringenieros, 2020)

Figura 17

Presa de relaves #4 El Roble El Carmen de Atrato Chocó



Fuente. (dcringenieros, 2020)

En esta imagen podemos ver como el rio Atrato rodea la presa de relaves #4 perteneciente a la empresa El Roble Miner S.A de la compañía Ático Mining y en frente se encuentra el hospital municipal. Él rio pasa a escasos metros por toda la base de la Presa.

San Roque Antioquia

En su proyecto de Gramalote, en San Roque (Antioquia), el diseño (hecho por la firma Integral, la misma consultora de Hidroituango) muestra que ante un sismo los factores de seguridad son menores que uno, es decir, demuestran que la presa podría colapsar. Este dato debería hacerla inaceptable, pero a pesar de ello se le concedió una licencia ambiental. En Jericó, la misma empresa ha planteado un volumen de relaves de 25 millones de metros cúbicos.⁴¹

Segovia-Remedios Antioquia

Para estos municipios de Antioquia tenemos que la multinacional Gran Colombia produce oro de las operaciones de Segovia, un área de aproximadamente 9,000 hectáreas en los municipios de Segovia y el municipio de Remedios del departamento de Antioquia. Estas minas de alta ley han estado en operación continua por más de 150 años y durante ese tiempo han producido más de un estimado de 5 millones de onzas de oro (antioquia minera, 2022, párrafo. 2) las cuales son grandes empresas de muchos años de operación y de explotación a gran escala y que por lógica generan grandes cantidades de desechos mineros o relaves.

Para estas multinacionales las operaciones de Segovia incluyen las minas subterráneas El Silencio, Providencia y Sandra K en el Municipio de Segovia, y la mina subterránea Carla en el Municipio de Remedios, ubicada aproximadamente a 10 km al sureste de las minas de Segovia. Las operaciones mineras incorporan áreas operadas por la Compañía y un modelo de minería artesanal que contrata a terceros mineros locales para trabajar en las concesiones de Gran Colombia y entregar el mineral a la planta para su procesamiento. (antioquia minera, 2022, párrafo. 2).

⁴¹ (Morales, 2019. Presas en Colombia, párrafo. 5)

Aquí los relaves son sólidos los cuales quedan después del proceso de filtrarles el agua o la mayor humedad posible y después de esto pasan al “deposito El Chocho, un área donde se sedimentan las arenas inertes” (Revista semana, 2020. El medioambiente es la casa, por eso va primero, párrafo. 7) el cual es un sistema más avanzado para así no crear Presas con agua y residuos, si no más bien presas de relaves secos, aunque tambien se va construyendo con los mismos relaves las cuales tambien son de gran dimensión y altura.

Según la Revista semana (2020) para la multinacional hace que con este complejo sistema el agua de la empresa tenga las condiciones para ser reutilizada en el proceso industrial y que el depósito de arenas no tenga líquido, lo que por ende crea menos presión en el suelo y contribuye a proteger la flora y la fauna cercanas. (“El medioambiente es la casa, por eso va primero”, párrafo. 9).

Figura 18

Presas de relave en El Chocho Segovia Antioquia



Fuente. (Revista semana, 2020)

Las represas de Hidroituango y El Quimbo, que en su estado actual muestran serias deficiencias estructurales, también han puesto en evidencia la precariedad de los estudios presentados por las empresas, los vacíos regulatorios y la costumbre de aprobar la licencia ambiental sin estudios técnicos rigurosos por parte de la autoridad sectorial.⁴²

Muchas minas en Colombia llevan varios años he incluso décadas operando y construyendo estas Presas, solo con permisos y licencias ambientales y antes del año 2020 donde el ministerio de minas y energía implemento nuevos lineamientos para los procesos de Presas de relaves, fueron construidas y cerradas sin normas y lineamientos más estrictos que prevengan a futuro impactos por fallas ya sea de construcción(que se generen es con el tiempo)factores naturales(cambio climático, fuertes lluvias), sismos o roturas de la estructura de la Presas. También hay muchos proyectos que se planean realizar Presas de grandes volúmenes cerca a poblaciones, siendo potenciales creaciones de peligros y riesgos que podrían generar mayores impactos ambientales, sociales y logísticos cuando llegaran a presentar alguna falla o rotura de la presa.

⁴² (Morales, 2019. Tragedias imborrables, párrafo. 3)

Conclusiones

Las Presas de relaves son infraestructuras que utilizan diferentes métodos para su construcción como lo son de aguas arriba, aguas abajo y mixto que a la vez no son seguros ya que tarde que temprano fallan o se rompen, al igual tienen en común estos métodos que se construyen con el mismo material de relaves, lo cual hace que no sean tampoco sismo resistente. Todas las Presas son un riesgo independientemente donde estén construidas por lo que deben de ser monitoreadas y vigiladas, con un correcto mantenimiento de sus estructuras en donde se incorpore un programa de gestión de riesgo responsable, con elaboración de planes de contingencia que tenga en cuenta la vulnerabilidad tanto de la Presa, así como la vulnerabilidad social en donde no se desmejore la calidad de vida en el futuro de las comunidades ni su funcionamiento normal, que ayuden a prevenir y mitigar los impactos ambientales, sociales, y logísticos que se generan por las diferentes fallas o rotura de una Presa.

Existen diferentes factores y condiciones que inciden en las fallas y roturas de una Presa, en los cuales hay factores por acción humana o factores naturales, en las cuales el cambio climático es un muy determinante ya que se está volviendo muy variable e impredecible, haciendo que aumente el riesgo de los detonantes naturales y que para un futuro podrían llegar a afectar con más facilidad las Presas generando mayores impactos de los que han sucedido hasta la fecha. Una presa de relaves genera impactos de gran importancia como lo son los *impactos ambientales* que afectan en su mayoría a fuentes hídricas, flora, fauna entre otros impactos que como resultado genera alteración climática y ecológica que para recuperasen nuevamente toman años o décadas, *los impactos sociales* como lo son pérdidas de vidas humanas, afectaciones a la salud, destrucción del habitat de las comunidades, entre otros, que por la incapacidad para actuar adecuadamente ante la presencia del riesgo que traen potenciales consecuencias negativas a

futuro las Presas y *los impactos logísticos* como el daño a infraestructura ya sea de la misma empresa y de las infraestructuras de las comunidades afectadas, los costos por daños, rediseños por la mala calidad de su construcción, afectación a la logística de producción de la comunidad y la producción de la empresa ya que hace que paren su operación o si los hechos son catalogados grave hasta el cierre de las empresas y de otros sectores productores de la comunidad.

A nivel mundial han sucedido diferentes eventos de fallas o roturas de Presas ya sean por desplome de las presas, insuficiencia estructural, terremotos, desbordamientos, fallas de estructura, entre otros, causando eventos de grandes magnitudes en los cuales generan altos impactos ambientales, sociales y logísticos que no son ajenos en cualquier parte del mundo ya sean en países en desarrollo o ya desarrollados industrialmente, lo cual se evidencia que en donde existen Presas de relaves, tienen gran potencial de generarse impactos negativos, en cualquier momento, sin diferenciar desarrollo económico y en cualquier parte geográfica del mundo el cual hace ver la impreparación de los gobiernos y ausencia del liderazgo efectivo en una comunidad en donde se priorice la prevención y mitigación de estos eventos e impactos por falla o rotura de presas de relaves.

Aunque estos eventos son de baja probabilidad que sucedan de manera muy continua, son de alto impacto cuando se llegan a presentar, en el mundo se han presentado muchos eventos en donde se nota la falta de preparación y de conciencia para afrontar estos impactos ambientales, sociales y logísticos.

Muchas minas en Colombia llevan varios años he incluso décadas operando y construyendo estas Presas, solo con permisos y licencias ambientales y antes del año 2020 donde el ministerio de minas y energía implemento nuevos lineamientos para los procesos de Presas, fueron construidas y cerradas sin normas y lineamientos más estrictos que prevengan a futuro

impactos por fallas ya sea de construcción(que se generen es con el tiempo)factores naturales(cambio climático, fuertes lluvias), sismos o roturas de la estructura de la Presas. También hay muchos proyectos que se planean realizar Presas de grandes volúmenes cerca a poblaciones, siendo potenciales creaciones de peligros y riesgos que podrían generar mayores impactos ambientales, sociales y logísticos cuando llegaran a presentar alguna falla o rotura de la presa.

Recomendaciones

Las empresas vinculen más a las comunidades en donde están las presas de relaves en, capacitaciones, reconocimiento y prevención de riesgos para prevenir comunitariamente posibles desastres.

Que haya más control social sobre el riesgo que se tiene con la presencia de estas Presas ya que, es un riesgo de origen humano, y que los afectan los riesgos naturales, por lo tanto, se realice los estudios correspondientes de impactos sociales, ambientales y logísticos como herramientas de control en donde tenga participación y toma de decisiones de parte de la comunidad que se podría ver afectada por este riesgo y como paso previo a la decisión de adelantar las construcciones de estas infraestructuras para así mitigar y prevenir efectos cuando fallen o se rompan.

Si ya están construidas estas presas de relaves, preparar y alistar a las comunidades para afrontar un posible desastre, con elaboración de planes de evacuación y contingencia adecuados ante la presencia de este riesgo. De acuerdo a lo desarrollado en este proyecto, se evidencia que la mayoría de eventos potencializan sus impactos cuando falla o se rompe una Presa de relaves que están construidas cerca a fuentes hídricas o cerca a comunidades, por lo tanto antes de construirse se debe de capacitar a las comunidades de que son, que podrían pasar si fallan y si están de acuerdo en el sitio donde se van a construir, o si en ese sitio se puede construir o no, ya que con todos estos conocimientos entre empresas y la comunidad podría reducir el factor de riesgo que presenta las Presas y los impactos que generan.

Permitir que las comunidades adquieran mayor autonomía en programas preventivos y de toma de decisiones que afectan a su entorno, ya sea de proyectos existentes o de futuro con fuente de conocimiento y herramientas validas que permita mejores condiciones de la realidad

que presenta las construcciones o presencia de las presas de relaves, en donde, la preparación de la comunidad sea a través de la empresa y los organismos públicos que se consoliden y pongan a prueba los planes de contingencia y actualización de normativas vigentes que mitiguen los posibles desastres e impactos ambientales, sociales y logísticos.

Referencias

- Aguilar, J., Dorronsoro, C., Fernández, E., Fernández, J., García, I., Martín, F., Simón, M. (9 de Septiembre de 2000). *El desastre ecológico de Aznalcóllar[Fotografía]*.
<http://edafologia.ugr.es/donana/aznal.htm>
- antioquia minera. (Junio de 2022). *antioquiaminera.co*.
<https://antioquiaminera.co/en-ruta/>
- Aticomining. (2023). *Aticomining corporation*. Obtenido de <https://aticomining.com/>
- Beltrán-Rodríguez, L. N., Larrahondo, J. M., & Cobos, D. (2018). Tecnologías emergentes para disposición de relaves: oportunidades en Colombia. *scielo*, 44.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-36302018000200005
- bnamericas. (15 de agosto de 2019). *www.bnamericas.com*.
<https://www.bnamericas.com/es/noticias/bajo-la-lupa-el-estado-de-las-presas-de-relaves-en-brasil>
- BRITISH COLUMBIA. (05 de agosto de 2014). <https://www2.gov.bc.ca/>.
<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/spills-environmental-emergencies/spill-incidents/past-spill-incidents/mt-polley>
- Cerromatoso. (s.f.). <https://www.cerromatoso.com.co/>.
<https://www.cerromatoso.com.co/>
- Chacon, T. (1 de Agosto de 2022). *www.rumbominero.com*. (T. Chacon, Productor)
<https://www.rumbominero.com/peru/noticias/internacionales/autoridades-bolivianas-relaves-potosi/>

Collazos Morales, M. (6 de Junio de 2023). Gestión de riesgos en presas de relaves mineros.

sobrerriesgos. <http://www.sobrerriesgos.com/gestion-de-riesgos-en-presas-de-relaves-mineros/>

dcringenieros. (2020). *El Roble*. <https://www.dcringenieros.com/>:

<https://www.dcringenieros.com/el-roble?lightbox=dataItem-ka7lt0x3>

Dirk meisner. (4 de Agosto de 2019). *www.cbc.ca*. [https://www.cbc.ca/news/canada/british-](https://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/mount-polley-mine-disaster-5-years-later-emotions-accountability-unresolved-1.5236160)

[columbia/mount-polley-mine-disaster-5-years-later-emotions-accountability-unresolved-1.5236160](https://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/mount-polley-mine-disaster-5-years-later-emotions-accountability-unresolved-1.5236160)

Fajardo, M. (2023). Relaves mineros a un temblor de una bomba de tiempo. *EL Mostrador*.

<https://www.elmostrador.cl/cultura/2023/06/01/advierten-sobre-peligros-como-derrumbes-y-cancer-para-la-poblacion-por-depositos-de-relaves-mineros/>

Fernández, S. E. (Marzo de 2017). <https://oa.upm.es/PDF>.

https://oa.upm.es/46944/1/TFM_Sonny_Cruz_Fernandez.pdf

Figueroa, A., Solans, D., Gonzalez, C., & Campaña, J. (2017). Comportamiento sísmico de presas de relaves construidas aguas abajo y línea central. *scielo*, (21),30-37.

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132017000100004

Geologicas,A.T. (28 de 12 de 2020). *Propuesta de lineamientos técnicos de politica de buenas*

prácticas para estandarizar los procesos de Presas de Relaves en mineria.[Archivo

PDF]. Bogotá D.C. [https://www.minenergia.gov.co/static/cursos-](https://www.minenergia.gov.co/static/cursos-mineria/src/document/PROPUESTA%20LINEAMIENTOS%20T%C3%89CNICOS%20DE%20POL%C3%8DTICA%20DE%20BUENAS%20PR%C3%81CTICAS%20%20PRESAS%20DE%20RELAVES.pdf)

[mineria/src/document/PROPUESTA%20LINEAMIENTOS%20T%C3%89CNICOS%20](https://www.minenergia.gov.co/static/cursos-mineria/src/document/PROPUESTA%20LINEAMIENTOS%20T%C3%89CNICOS%20DE%20POL%C3%8DTICA%20DE%20BUENAS%20PR%C3%81CTICAS%20%20PRESAS%20DE%20RELAVES.pdf)

[DE%20POL%C3%8DTICA%20DE%20BUENAS%20PR%C3%81CTICAS%20-](https://www.minenergia.gov.co/static/cursos-mineria/src/document/PROPUESTA%20LINEAMIENTOS%20T%C3%89CNICOS%20DE%20POL%C3%8DTICA%20DE%20BUENAS%20PR%C3%81CTICAS%20%20PRESAS%20DE%20RELAVES.pdf)

[%20PRESAS%20DE%20RELAVES.pdf](https://www.minenergia.gov.co/static/cursos-mineria/src/document/PROPUESTA%20LINEAMIENTOS%20T%C3%89CNICOS%20DE%20POL%C3%8DTICA%20DE%20BUENAS%20PR%C3%81CTICAS%20%20PRESAS%20DE%20RELAVES.pdf)

Hernández Columbié, T., & Guardado Lacaba, R. (2023). Evaluación de la vulnerabilidad global en presas de colas.Moa, Cuba. *Revista Científica De FAREM-Estelí*, 12(45), 267–290.

<https://www.camjol.info/index.php/FAREM/article/view/16049/18975> Juan Camilo

Martínez Rojas. (02 de Junio de 2020). Amenaza en la quebrada Mermejál

(Antioquia) por explotación minera. *periodico Unal*.

<https://periodico.unal.edu.co/articulos/amenaza-en-la-quebrada-mermejál-antioquia-por-explotacion-minera/>

La Corte Constitucional. (2016). *Sentencia T-622 de 2016. Río Atrato como sujeto de*

derechos[Miisterio de Ambiente y Desarrollo]. Bogotá D.C: DO.

<https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/3573-sentencia-t-622-de-2016-rio-atrato-como-sujeto-de-derechos>

La Tercera. (5 de Marzo de 2018). *www.latercera.com*.

<https://www.latercera.com/mundo/noticia/rotura-una-presa-derrama-50-000-metros-cubicos-relaves-mineros-peru/88501/>

Lacaba, T. H. (2010). *Funcionamiento y mecanismos de rotura en Presas de Relaves*. [version PDF]. app.ingemmet.gob.pe: <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG15-237.pdf>

Martinez Alier, J., & Waldron, T. (26 de Mayo de 2014). <https://ejatlas.org/>.

<https://ejatlas.org/conflict/aznalcollar-tailings-dam-failure-spain/?translate=es>

Morales, j. f. (11 de febrero de 2019). Los desechos de la minería y las presas de relave: una bomba de tiempo. *Razon publica*, 4.

Morales, J. F. (11 de Febrero de 2019). Los desechos de la minería y las presas de relave: una bomba de tiempo. *Rázon pública*.

<https://razonpublica.com/index.php/econom-y-sociedad-temas-29/11747-los-desechos-de-la-mineria-y-las-presas-de-relave-una-bomba-de-tiempo.html>.

Muñoz, P. (30 de Agosto de 2018). Río Atrato, sujeto de derechos: 2 años a contracorriente.

UdeA Noticias. Obtenido de https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia/!ut/p/z0/fYwxC8IwEIX_ikvHcrHWqGNxEMTBQaTNlkcT7NWaa5NU_PmmOoiL8Lh73_HugYISIMUHXTEQW-wiV0pe1pttNi9ycRAyl6KQx3y5ynaL01nAHtT_QGygdhhUAapmG8wzQNmzC9iN2mAi0P9Sw3fz8dOcWQ5UE_pEvL8taZ5S

Industriall-union. (13 de Febrero de 2019). *Lo que se debe saber sobre las represas de relave*.

[www.industriall-union.org: https://www.industriall-union.org/es/lo-que-se-debe-saber-sobre-las-represas-de-relave](https://www.industriall-union.org/es/lo-que-se-debe-saber-sobre-las-represas-de-relave)

Padrino, L. A. (2018). Lecciones sobre Fallas en Presas de Relaves y de Desechos Mineros.

linkedin. [https://es.linkedin.com/pulse/lecciones-sobre-fallas-en-presas-de-relaves-y-mineros-padrino-](https://es.linkedin.com/pulse/lecciones-sobre-fallas-en-presas-de-relaves-y-mineros-padrino)

Pirulli, M. B. (2017). The failure of the Stava Valley tailings dams (Northern Italy): numerical

analysis of the flow dynamics and rheological properties. *Geoenvironmental Disasters*

4,1-15. doi:<https://doi.org/10.1186/s40677-016-0066-5>

Revista semana. (4 de febrero de 2019). www.semana.com:

<https://www.semana.com/internacional/articulo/consecuencias-de-la-ruptura-de-presa-en-brasil/266701/>

Revista semana. (9 de Septiembre de 2020). <https://www.semana.com/>. *Semana*.

<https://www.semana.com/hablan-las-marcas/articulo/crecer-de-la-mano-con-el-territorio/55125/>

SPDA. (22 de Julio de 2019). *Desastre ambiental: 67 mil metros cúbicos de relave minero afectaron al río Mantaro*. <https://www.actualidadambiental.pe/>

Srk consulting. (2017). <https://www.srk.com/>.

<https://www.srk.com/es/proyectos/mina-buritica>

Telemedellin.tv. (9 de Enero de 2017). Sismo de 4.7 y tuvo epicentro en el municipio de El Carmen de Atrato: <https://telemedellin.tv/reporte-preliminar-del-sismo-ocurrido-las-700-m/160702/>

Thenarwhal. (4 de Agosto de 2014). <https://thenarwhal.ca/>.

<https://thenarwhal.ca/topics/mount-polley-mine-disaster/>

Wilches-Chaux, G. (1993). *La vulnerabilidad global*. Los desastres no son naturales:

<https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/sites/sistema-nacional-emergencias/files/documentos/publicaciones/La%2Bvulnerabilidad%2Bsocial%20WILCHES%2BCHAUX.pdf>