

ESCUELA DE POSGRADO NEWMAN

MAESTRÍA EN
GESTIÓN MINERA Y AMBIENTAL



“Optimización del proceso constructivo de una presa de relaves de un proyecto minero del Oriente Ecuatoriano”

**Trabajo de Investigación
para optar el Grado a Nombre de la Nación de:**

Maestro en
Gestión Minera y Ambiental

Autores:

Msc. Jiménez Jaramillo, Wilson Javier

Docente Guía:

Niquén Espejo, Christopher

TACNA – PERÚ

2023

Wilson Jimenez_AOG Ordinario

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%
INDICE DE SIMILITUD

15%
FUENTES DE INTERNET

0%
PUBLICACIONES

8%
TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

“El texto final, datos, expresiones, opiniones y apreciaciones contenidas en este trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor, Wilson Javier Jiménez Jaramillo”

ÍNDICE

RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO I ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	13
1.1. Título del Tema:	13
1.2. Planteamiento del Problema:	13
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo General	14
1.3.2. Objetivos Específicos.....	14
1.4. Metodología:.....	15
1.4.1. Diagnóstico	15
1.4.2. Diseño de mejora	16
1.4.3. Mecanismos de control	16
1.4.4. Mecanismos de implementación.....	16
1.4.5. Costo / beneficio	16
1.5. Justificación:.....	16
1.6. Definiciones:.....	18
1.7. Alcances y Limitaciones:	18
1.7.1. Alcance	18
1.7.2. Limitaciones	18
1.8. Cronograma:	19

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	21
2.1. Dirección de Proyectos	21
2.1.1. Ciclo de vida del proyecto	21
2.1.2. Procesos de dirección de proyectos	22
2.1.3. Entornos en los que operan los proyectos	23
2.1.4. Evaluación Financiera	24
2.1.5. Lean Six Sigma	25
2.2. Principales conceptos técnicos	27
2.2.1. Mina	27
2.2.2. Relaves	28
2.2.3. Presa de Relaves	29
2.2.4. Recursos	33
2.3. Análisis Comparativo	38
2.3.1. Aguas Arriba (Upstream)	38
2.3.2. Aguas Abajo (Downstream)	39
2.3.3. Combinado	41
2.4. Análisis Critico	43
2.4.1. Aguas Arriba (Upstream)	43
2.4.2. Aguas Abajo (Downstream)	44
2.4.3. Combinado	45
CAPÍTULO III MARCO REFERENCIAL	47
3.1. Reseña histórica	47

3.2. Filosofía organizacional.....	48
3.2.1. Trabajo con seguridad	48
3.2.2. Cuidado del ambiente	48
3.2.3. Respeto.....	49
3.3. Diseño organizacional	49
3.4. Productos y/o servicios	51
3.5. Diagnóstico organizacional	51
3.5.1. Análisis FODA.....	52
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	56
4.1. Diagnóstico.....	56
4.1.1. Etapa 1.....	56
4.1.2. Etapa 2.....	60
4.1.3. Etapa 3.....	64
4.2. Análisis.....	68
4.2.1. Materiales	68
4.2.2. Costos.....	72
4.2.3. Análisis final	75
4.3. Diseño de Mejora	77
4.3.1. Maquinaria	77
4.3.2. Diseño y proyección.....	81
4.3.3. Materiales	83
CAPÍTULO V SUGERENCIAS	84

CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS.....	96

Índice de Figuras

Figura 1. Cronograma de la AOG	20
Figura 2. Ciclo de Vida de un Proyecto	22
Figura 3. Procesos de Dirección de Proyectos.....	23
Figura 4. DMAIC.....	27
Figura 5. Descarga de relaves.....	28
Figura 6. Presa de relaves.....	29
Figura 7. Construcción aguas abajo	30
Figura 8. Tractor	34
Figura 9. Bulldozer	35
Figura 10. Cargador frontal.....	36
Figura 11. Excavadora	36
Figura 12. Retroexcavadora	37
Figura 13. Rodillo	37
Figura 14. Volqueta	37
Figura 15. Método Aguas Arriba.....	38
Figura 16. Método Aguas Abajo	40
Figura 17. Método Combinado	42
Figura 18. Proyecto minero	48
Figura 19. Organigrama general.....	50
Figura 20. Organigrama Operaciones de Superficie	50
Figura 21. Diseño Etapa 1	56
Figura 22. Diseño Etapa 2.....	60
Figura 23. Diseño Etapa 3.....	64
Figura 24. Etapa 4	75

Figura 25. Volqueta 24 m ³	79
Figura 26. Tractor agrícola	81

Índice de Tablas

Tabla 1. Volumen proyectado Etapa 1	56
Tabla 2. Volumen colocado Etapa 1	57
Tabla 3. Maquinaria usada Etapa 1	57
Tabla 4. Personal Etapa 1	58
Tabla 5. Presupuesto Etapa 1	59
Tabla 6. Gasto real Etapa 1	59
Tabla 7. Volumen proyectado Etapa 2	60
Tabla 8. Volumen colocado Etapa 2.....	61
Tabla 9. Maquinaria usada Etapa 2.....	61
Tabla 10. Personal Etapa 2	62
Tabla 11. Presupuesto Etapa 2	63
Tabla 12. Gasto real Etapa 2.....	64
Tabla 13. Volumen proyectado Etapa 3	65
Tabla 14. Volumen colocado Etapa 3.....	65
Tabla 15. Maquinaria usada Etapa 3.....	66
Tabla 16. Personal Etapa 3	66
Tabla 17. Presupuesto Etapa 3	67
Tabla 18. Costos reales Etapa 3	68
Tabla 19. Volumen proyectado vs colocado Etapa 1.....	68
Tabla 20. Volumen proyectado vs colocado Etapa 2.....	70
Tabla 21. Volumen proyectado vs colocado Etapa 3.....	71
Tabla 22. Costos presupuestados vs reales Etapa 1	72
Tabla 23. Costos presupuestados vs reales Etapa 2	73
Tabla 24. Costos presupuestados vs reales Etapa 3	74

Tabla 25. Volumen proyectado Etapa 4	75
Tabla 26. Presupuesto Etapa 4	76
Tabla 27. Comparación valores volquetas	78
Tabla 28. Valores ahorrados volquetas	78
Tabla 29. Valores ahorrados Tractor Agrícola.....	80
Tabla 30. Volúmenes para drenajes.....	81

RESUMEN

La industria minera en Ecuador está experimentando un crecimiento significativo, destacando el compromiso de algunas empresas con la seguridad y la preservación del medio ambiente. Este trabajo se centra en una de estas empresas y se enfoca en la construcción de una estructura crucial en proyectos mineros: la presa de relaves.

Para llevar a cabo este análisis, se aplicó la metodología DMAIC, que incluye Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, aunque esta última fase aún no se ha ejecutado debido a que la etapa de construcción está en curso. Se realizó un análisis detallado de las etapas previas de construcción, identificando las áreas donde se produjeron las mayores variaciones y los cuellos de botella.

Los resultados obtenidos revelaron una oportunidad importante para optimizar el transporte de material. Se propone reemplazar un porcentaje de las volquetas de 12 m³ por volquetas de 24 m³. Esto reduciría la cantidad de vehículos involucrados en el proyecto, así como la cantidad de viajes y los costos de mantenimiento asociados.

Adicional, se identificó la posibilidad de mejorar ciertas actividades, como la manipulación del material en la Zona 1. La introducción de tractores agrícolas en lugar de volquetas y excavadoras podría reducir la demanda de estos equipos en otras tareas, mejorando la eficiencia general del proyecto de construcción.

Este estudio resalta la importancia del análisis constante y la mejora continua en proyectos mineros. La optimización del transporte de material y la revisión de métodos de trabajo pueden generar beneficios significativos, no solo en términos de eficiencia operativa, sino también en la gestión de recursos y costos. Estas medidas demuestran el compromiso de la empresa con la mejora continua y la sostenibilidad en el ámbito de la minería en Ecuador.

INTRODUCCIÓN

La industria minera es tan amplia y compleja que presenta una gran cantidad de desafíos, tanto ambientales como operacionales. Dentro de estos se encuentra una estructura que tiene un papel crucial como son las presas de relaves, encargadas de almacenar los residuos que se generan en el proceso de extracción y procesamiento del mineral.

El objetivo del presente trabajo es optimizar el proceso constructivo de una presa de relaves en un proyecto minero, para mejorar la eficiencia, disminuir costos, aumentar la seguridad y disminuir el impacto ambiental. Identificando los factores que influyen en la construcción y proponer soluciones adecuadas para cada caso.

La construcción de una presa de relaves conlleva una atención meticulosa debido a los riesgos asociados por su falla o colapso, que podrían ser devastadores. Adicional la eficiencia en la construcción es fundamental para el logro de los objetivos, tanto operativos como económicos, de la empresa. Por lo que es necesario desarrollar nuevos enfoques que optimicen la construcción cumpliendo con los estándares de calidad y seguridad, que logren el objetivo esperado.

Mediante un análisis de las etapas de construcción previas, recursos utilizados y resultados obtenidos se buscará identificar los desafíos actuales y factores críticos que afectan a la construcción.

Con esta información se determinará oportunidades de mejora que se puedan aprovechar mediante propuestas concretas y prácticas para optimizar el proceso constructivo.

CAPÍTULO I ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

1.1. Título del Tema:

Optimización del proceso constructivo de una presa de relaves de un proyecto minero del Oriente Ecuatoriano.

1.2. Planteamiento del Problema:

En todo proyecto minero existen diferentes estructuras que se construyen y que tienen un objetivo específico, una de estas es la presa de relaves. Es una estructura encargada de almacenar todos los relaves que se generan en la planta después de todos los procesos de extracción del mineral que se realizan.

La construcción de una presa de relaves es un proceso que implica diversos desafíos técnicos, logísticos y económicos.

Dependiendo del tamaño de las reservas y de la capacidad de la planta, las presas de relaves pueden extenderse varios metros de altura, pudiendo llegar a los 300 metros o más.

La construcción de una presa de relaves conlleva muchos recursos, tanto materiales como mano de obra, por lo que requiere una planificación adecuada. Debido a la gran cantidad de materiales y recursos que se utiliza, las presas de relaves se construyen en etapas, con un tiempo de reposo entre etapas.

Las presas de relaves desempeñan un papel crucial en la gestión adecuada de los residuos mineros, la protección del agua y los ecosistemas acuáticos, la prevención de deslizamientos, la posibilidad de recuperar recursos valiosos y la demostración de la responsabilidad ambiental de la industria minera. Su correcto diseño, construcción y operación son fundamentales para garantizar un manejo seguro y sostenible de los relaves y minimizar los impactos negativos en el entorno

Los equipos, el personal, los turnos, todo se debe definir con suficiente tiempo de anterioridad para que se desarrolle correctamente.

Una falla en una presa de relaves puede tener consecuencias devastadoras para las poblaciones cercanas. Además de la pérdida de vidas humanas y daños materiales, puede haber efectos a largo plazo en la calidad del agua, el medio ambiente y la salud de las comunidades. Por eso es fundamental implementar buenas prácticas de diseño, construcción, monitoreo y mantenimiento de las presas de relaves, con el fin de minimizar el riesgo de deslizamientos y proteger a las poblaciones cercanas de estos peligros.

Garantizar la seguridad, calidad y rentabilidad de la construcción es indispensable para que esta estructura de gran escala no tenga problemas a futuro y evitar posibles riesgos.

El presente trabajo se enfoca en analizar las etapas anteriores de construcción de la presa de relaves, identificar las posibles oportunidades de mejora y buscar soluciones o mejoras que se puedan aplicar para optimizar la construcción.

Adicional, la optimización del proceso constructivo ayuda a la reducción de los impactos ambientales y sociales que se generan con este tipo de estructuras.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Optimizar el proceso constructivo de una presa de relaves de un proyecto minero del Oriente Ecuatoriano.

1.3.2. Objetivos Específicos

- De acuerdo a las etapas previas de construcción, identificar los principales factores que afectan a la eficiencia y productividad en la construcción de una presa de relaves.

- Analizar la metodología de construcción de presas de relaves utilizada e identificar oportunidades de mejora.
- Analizar y proponer mejores prácticas en la selección y uso de la maquinaria y equipos que se utiliza en la construcción de una presa de relaves.
- Identificar los recursos que se utilizan en la construcción de una presa de relaves, junto a los valores que generan, para determinar las oportunidades de reducción de costos que se puede obtener.
- Analizar el proceso de la construcción de una presa de relaves e identificar los cuellos de botella.
- Proponer recomendaciones y estrategias para optimizar el proceso constructivo de una presa de relaves.

1.4. Metodología:

El presente trabajo consiste en la optimización del proceso constructivo de una presa de relaves, se trata de una propuesta de mejora en la que se llevará a cabo las actividades sugeridas por la Escuela de Postgrado Newman como se muestra a continuación:

1.4.1. Diagnóstico

Se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las etapas constructivas previas, con el objetivo de identificar todas las variables que han influido en cada fase. Esto incluirá una evaluación detallada de los recursos empleados y los plazos de ejecución. A través de este análisis en profundidad, se buscarán oportunidades para optimizar el proceso de construcción de la presa de relaves.

1.4.2. Diseño de mejora

Mediante el análisis del apartado anterior se definirán las propuestas de mejora para optimizar el proceso constructivo de la presa de relaves. Se considerarán diferentes aspectos relacionados con la construcción y elegirá los más adecuados de acuerdo con las condiciones de la compañía. Las propuestas deberán ser prácticas, viables y sustentadas de acuerdo con la información.

1.4.3. Mecanismos de control

Se definirán los mecanismos que se llevarán a cabo para controlar que las propuestas se desarrollen de acuerdo con lo establecido. Este apartado será puramente teórico debido a que no es posible confirmar los controles previo a la construcción.

1.4.4. Mecanismos de implementación

Se determinará la forma en la que se llevará a cabo la implementación de las propuestas generadas anteriormente. De igual manera que los mecanismos de control, este apartado será puramente teórico.

1.4.5. Costo / beneficio

Se evaluará todas las propuestas realizadas y se analizará la relación costo / beneficio para determinar si son viables a ejecutar o no.

1.5. Justificación:

El proyecto minero del cual se tratará en el presente proyecto se encuentra en el sur oriente ecuatoriano, delimitando con Perú y con casi 4 años de producción.

En Ecuador la minería a gran escala está iniciando con dos empresas, las mismas que se encuentran en la provincia de Zamora Chinchipe, por lo que aún no existen la formación adecuada, así como en otros países vecinos, Perú o Chile, debido

a esto existen bastantes inconvenientes que se presentan en construcciones o incluso en la operación misma.

La construcción de una presa de relaves tiene un impacto significativo en la seguridad, medio ambiente y rentabilidad de las operaciones mineras, es fundamental optimizar el proceso para abordar los desafíos e incrementar los beneficios que genera.

Con el presente trabajo se busca mejorar la eficiencia y productividad en la construcción de la presa de relaves, identificando las oportunidades de mejora y los desafíos que afectan la construcción. Se propondrán estrategias que aceleren la construcción, reducir tiempos de ejecución y optimizar el uso de los recursos.

Mediante la optimización del proceso se genera una reducción de costos asociados a la construcción de la presa. Eliminando o reduciendo gastos innecesarios y logrando una mejor planificación de las actividades a realizar.

Adicional se logra un aumento en la seguridad en el sitio de trabajo, con mejores prácticas, elección adecuada de maquinaria y equipos, y mejor formación al personal se reducen los riesgos de accidentes y se promueve un entorno de trabajo más seguro.

Con una buena optimización, reduciendo tiempos y mejorando la gestión de recursos, se puede minimizar el impacto ambiental provocado por el movimiento de tierras, la generación de residuos y la contaminación del suelo.

La empresa tendría un beneficio directo con este trabajo, debido a que se puede mejorar la eficiencia, reducir costos, aumentar la seguridad y buscar mantener al mínimo el impacto ambiental generado. Se busca identificar mejores prácticas, tecnologías y estrategias que contribuyan a la construcción de una presa de relaves más segura, eficiente y ambientalmente responsable.

1.6. Definiciones:

Presa de relaves: Son infraestructuras para almacenar o represar los relaves (Alfonso, y otros, 2021).

Minería: Es la actividad que permite la extracción y obtención selectiva de minerales de la corteza terrestre (Herrera, 2017).

Construcción: Es el acto mismo de construir, hacer obras duraderas, edificaciones, empleando para ello los saberes de la ingeniería, arquitectura y diseño.

Relaves: Son los desechos de los procesos de beneficio y transformación del mineral luego someterse a diferentes tratamientos químicos para su transporte a la presa (Alfonso, y otros, 2021).

Proceso constructivo: Se refiere a todas las actividades y etapas involucradas en la construcción. (De Solminihac & Thenoux, 1977)

1.7. Alcances y Limitaciones:

1.7.1. Alcance

El alcance del presente trabajo se limita al proceso constructivo de la presa de relaves, considerando actividades como extracción, transporte y compactación del material. También se incluye la implementación de medidas de seguridad, control de calidad y control ambiental.

Se buscará identificar y analizar los factores claves que afectan a la construcción, como la maquinaria y equipos, la planificación, organización, entre otros.

1.7.2. Limitaciones

Como limitación principal se tiene la disponibilidad y acceso de datos sobre las etapas de construcción previas, pueden existir falta de detalle que afecte la calidad y cantidad del análisis.

Toda construcción de una presa de relaves está afectada por factores externos que están fuera del control de la investigación, entre los que se destacan: Clima y condiciones meteorológicas, aspectos socioeconómicos y comunitarios, regulaciones y permisos y estabilidad política.

Las lluvias intensas o tormentas eléctricas pueden dificultar los trabajos, aumentar la erosión, el riesgo de deslizamientos y afectar la estabilidad de la presa. Cuando llueve por mucho tiempo afecta al material a colocar, saturándolo y obliga a detener las actividades.

La participación y aceptación de la comunidad local es esencial para evitar malestar o incluso bloqueos que puedan interferir con la construcción de la presa. Es necesario establecer una comunicación efectiva con las partes interesadas, considerar las preocupaciones y necesidades de la comunidad y cumplir con los requisitos legales y normativos relacionados con el desarrollo de la presa.

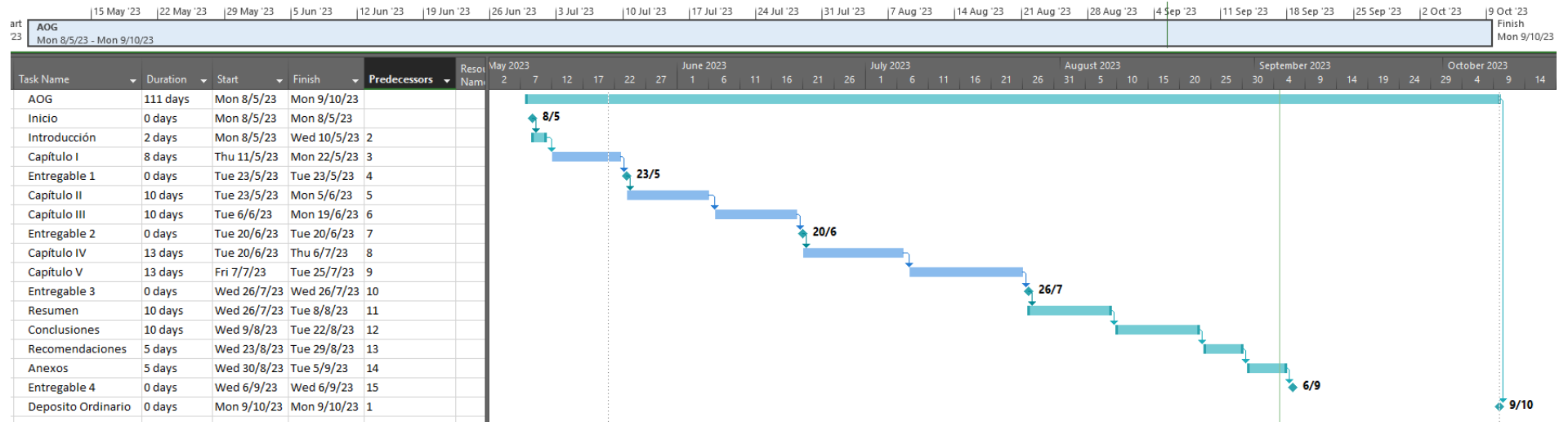
La inestabilidad política puede generar contratiempos en toda la operación minera, no solo en la construcción de la presa. Cambios de gobiernos, modificaciones en las políticas públicas o incluso ofertas de campaña electoral pueden influenciar negativamente en las actividades de construcción por lo que se debe tener una comunicación constante con los directivos locales para evitar estos inconvenientes.

Pueden existir limitaciones de tiempo y recursos que influyan en el avance del trabajo, recopilación de datos, el análisis y la profundidad de las propuestas.

1.8. Cronograma:

El presente trabajo seguirá las fechas establecidas por la Escuela de Posgrado Newman, las mismas que son:

Figura 1. Cronograma de la AOG



CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Dirección de Proyectos

2.1.1. Ciclo de vida del proyecto

El ciclo de vida de un proyecto incluye las etapas necesarias para el desarrollo de este, es necesario que el ciclo se cumpla debido a que ayuda a desarrollar los planes para llevar a cabo el proyecto.

Inicio del Proyecto: Se refiere al desarrollo del objetivo inicial y de las especificaciones técnicas de un proyecto. Se determina el alcance del trabajo, se identifican los recursos necesarios y los interesados del proyecto. (Pinto, 2015)

Planificación: Es la etapa en la que se planifican todas las especificaciones detalladas, esquemas y programas. Las partes del proyecto se descomponen, se asignan trabajos individuales y el proceso de ejecución queda claramente definido. (Pinto, 2015)

Ejecución y Control: Se lleva a cabo la ejecución del proyecto. Durante esta fase, el equipo del proyecto lleva a cabo la mayoría de sus labores. (Pinto, 2015)

Finalizar el proyecto: Se proveen los entregables al cliente, sus recursos se reasignan y se cierra formalmente el proyecto. (Pinto, 2015)

Figura 2. Ciclo de Vida de un Proyecto



2.1.2. Procesos de dirección de proyectos

Se trata de una serie de actividades que se ejecutan para llevar a cabo la gestión del ciclo de vida del proyecto.

Constan de entradas, que son documentos o información inicial que se tiene del proyecto, que mediante la aplicación de diferentes herramientas y técnicas se obtienen las salidas, documentos conocidos como entregables o información de salida. (Project Management Institute, 2017)

Para alcanzar los objetivos específicos del proyecto se crean diferentes grupos de procesos independientes de las fases del proyecto que son:

Grupo de procesos de inicio: Tienen el propósito de definir y autorizar el proyecto en su totalidad o una etapa específica del mismo. (Arboleda, 2013)

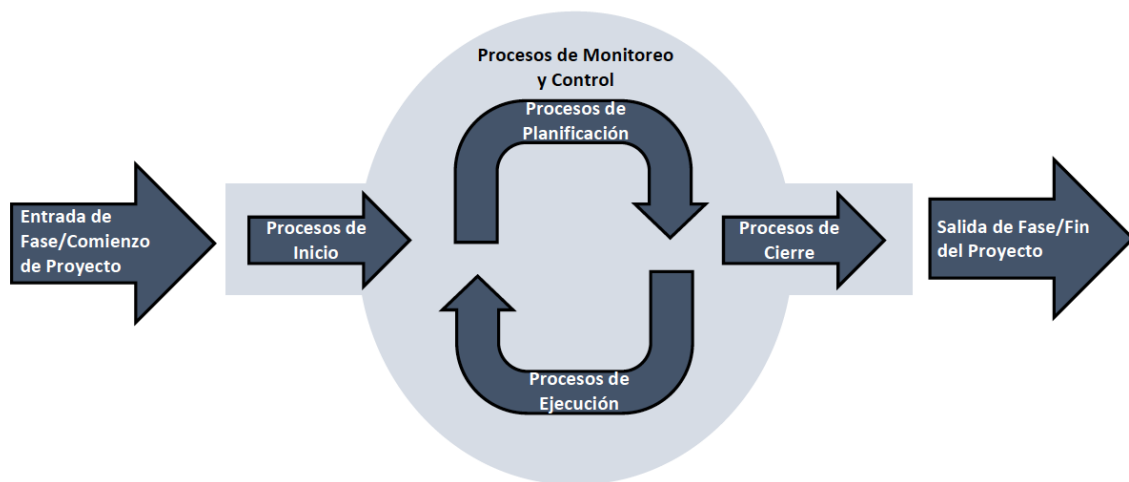
Grupo de procesos de planificación: Establecen y mejoran los objetivos, planifican el proceso para alcanzar las metas de tiempo, costo y calidad, y desarrollan en detalle el alcance del proyecto. (Arboleda, 2013)

Grupo de procesos de ejecución: Implica coordinar personas y recursos, e integrar y realizar las actividades del “plan del proyecto”. (Arboleda, 2013)

Grupo de procesos de monitoreo y control: Se encarga de monitorear, analizar y controlar el progreso de la ejecución del proyecto mediante mediciones y supervisión periódica. Esto permite detectar desviaciones con respecto al plan establecido y tomar medidas preventivas y correctivas para asegurar el logro de los objetivos del proyecto. (Arboleda, 2013)

Grupo de procesos de cierre: Se encargan de formalizar la aprobación del producto, servicio o resultado, y finalizan de manera organizada los contratos y el proyecto en su totalidad o en una fase específica del mismo. (Arboleda, 2013)

Figura 3. *Procesos de Dirección de Proyectos*



2.1.3. Entornos en los que operan los proyectos

Existen diferentes entornos que pueden influir en la realización de un proyecto, que pueden tener un impacto favorable o negativo para el desarrollo del mismo, estos entornos se clasifican en:

2.1.3.1. Factores ambientales de la empresa

Los factores ambientales de la empresa se refieren a las condiciones del entorno que están fuera del control del equipo del proyecto o de la empresa responsable de su desarrollo. Estas condiciones pueden tener un impacto tanto

positivo como negativo en el desarrollo del proyecto. (Project Management Institute, 2017)

Los factores ambientales se clasifican en internos y externos:

Factores internos: Cultura, estructura y gobernanza de la organización. Distribución geográfica de instalaciones y recursos. Infraestructura. Software informático. Disponibilidad de recursos. Capacidad de los empleados. (Project Management Institute, 2017)

Factores externos: Cultura, estructura y gobernanza de la organización. Distribución geográfica de instalaciones y recursos. Infraestructura. Software informático. Disponibilidad de recursos. Capacidad de los empleados. (Project Management Institute, 2017)

2.1.3.2. Activos de los procesos de la organización

Son los planes, procesos, políticas, procedimientos y bases de conocimiento específicos de la organización ejecutora y utilizados por la misma. Contienen cualquier objeto, práctica o conocimiento de alguna o todas las organizaciones ejecutoras que participan en el proyecto y que puedan usarse para ejecutar el proyecto. (Project Management Institute, 2017)

2.1.4. Evaluación Financiera

Tiene como objetivo determinar la rentabilidad de un proyecto para lo cual se compara los ingresos vs los costos del proyecto, considerando el costo de oportunidad. Asimismo, el objetivo financiero es generar y maximizar el valor de la empresa para los accionistas. (Buendía, Cárdenas, Caceres, Díaz, & Vara, 2020)

La Evaluación de un Proyecto debe tener como base el análisis con el que se mide la rentabilidad económica, para esto se utiliza diferentes herramientas como son:

Valor Actual Neto (VAN): Es la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo generados por el proyecto y el valor presente de los desembolsos o inversiones iniciales requeridas. En otras palabras, el VAN calcula el valor actual de los beneficios netos de un proyecto, descontando los flujos de efectivo esperados a una tasa de descuento determinada. Un VAN positivo indica que el proyecto es rentable y genera más beneficios que los costos asociados, mientras que un VAN negativo indica que el proyecto puede no ser rentable. El VAN se utiliza ampliamente en la toma de decisiones de inversión, ya que permite comparar proyectos y determinar cuál ofrece el mayor retorno económico. (Buendía, Cárdenas, Caceres, Díaz, & Vara, 2020)

Tasa Interna de Retorno (TIR): Es la tasa de rendimiento o rentabilidad anualizada que se espera obtener a partir de los flujos de efectivo generados por el proyecto. En otras palabras, la TIR es la tasa de descuento que iguala el valor presente neto (VAN) de los flujos de efectivo del proyecto a cero. Se considera que un proyecto es rentable si su TIR es mayor que la tasa de descuento utilizada. En términos prácticos, la TIR indica la tasa de crecimiento anual esperada de la inversión y se utiliza para comparar proyectos y determinar cuál ofrece el mayor rendimiento. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento, se considera que el proyecto es viable y rentable. (Buendía, Cárdenas, Caceres, Díaz, & Vara, 2020)

2.1.5. Lean Six Sigma

Lean busca mejorar el flujo de cadena de valor y eliminar residuos, trata de hacer las cosas rápidamente, mientras que Six Sigma busca descubrir las causas fundamentales para entender y reducir la variación, tratando de hacer las cosas bien y sin defectos. (Hernández C. , 2014)

La combinación de estas metodologías proporciona una filosofía de mejora que incorpora herramientas basadas en datos de gran alcance para resolver problemas y crear una mejoría a un menor costo. La idea de Lean es centrarse en lo que agrega valor y Six Sigma ayuda a entender y reducir la variación. (Hernández C. , 2014)

Lean Six Sigma es una metodología cuyo objetivo es mejorar los procesos, con el propósito de incrementar la rentabilidad y productividad de estos.

El objetivo principal del método Lean Six Sigma es suprimir todos los aspectos que impidan o dificulten que el producto no se ajuste a los requerimientos del cliente. Por lo que reduce los defectos en la entrega final. (Hernández C. , 2014)

Los desperdicios que trata de eliminar son: defectos, sobreproducción, esperas, talento no empleado, transportes no necesarios, inventario, entre otros.

2.1.5.1. DMAIC

Permite desarrollar soluciones o procesos defectuosos en forma estructurada, lógica y comprensible en todos los niveles del proyecto. (Navarro, Gisbert, & Pérez, 2017)

Está compuesta por cinco fases:

Definir: Establece cuál es la situación actual y marca claramente los objetivos que se quieren conseguir.

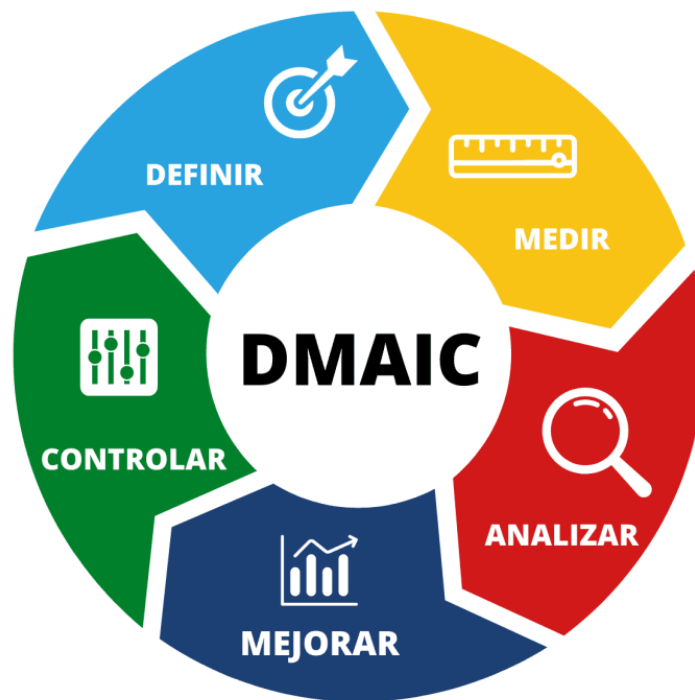
Medir: Permite conocer de forma más detallada los procesos incluidos en el alcance del proyecto. Proporciona información sobre el rendimiento del proceso, sus entradas y salidas y las expectativas del cliente.

Analizar: Permite investigar las relaciones entre el rendimiento de los procesos y las entradas del proceso gracias a los datos recogidos en la fase de medición.

Mejorar: Verifica el trabajo realizado en la fase de análisis mediante propuestas de acción. Se diseña, prueba e implementa la solución propuesta.

Controlar: Se encarga de establecer controles lo más automatizados posible para que la mejora del proceso perdure en el tiempo, incluyendo planes de mitigación y una estructura específica para gestionar los riesgos.

Figura 4. DMAIC



2.2. Principales conceptos técnicos

2.2.1. Mina

Es el conjunto de excavaciones y labores necesarias para explotar un yacimiento y conseguir la extracción de minerales. Se pueden dividir en minas a cielo abierto, subterráneas y explotaciones por sondeos.

El presente trabajo se encuentra en una mina subterránea donde se extrae el material y es llevado a superficie para ser tratado en superficie mediante diferentes métodos.

En una mina existen diferentes estructuras que se construyen para el correcto funcionamiento de la misma. La misma mina subterránea, la planta de procesos, la presa de relaves, el campamento, oficinas, entre otros.

2.2.2. Relaves

El relave minero comprende los residuos no aprovechables y de poco valor económico generados durante el procesamiento metalúrgico de minerales, los cuales son exportados. Las grandes cantidades de toneladas de relave generadas por una empresa minera tienen un alto impacto en el medio ambiente y en las personas. Por lo tanto, es necesario transportar y almacenar estos residuos en depósitos especialmente diseñados para ellos, donde se someten a un proceso de decantación que separa el agua del residuo mineral, permitiendo su recuperación y uso en diferentes actividades. (Buendía, Cárdenas, Caceres, Díaz, & Vara, 2020)

Figura 5. *Descarga de relaves*



2.2.3. Presa de Relaves

Las presas de relaves son estructuras que se encargan de almacenar o represar los relaves, construidas a partir de un muro inicial conformado por material de préstamo, estéril y/o material grueso del relave previamente separado en procesos de tratamiento físico. (ATG LTDA., 2020)

Las presas deben estar impermeabilizadas con el objetivo de evitar infiltraciones que influyan en la estabilidad física o contaminen las fuentes hídricas subterráneas. Estas estructuras cuentan por lo general con canales perimetrales, sistemas de drenajes subsuperficiales y tuberías de desagüe para minimizar la saturación de los relaves, con aguas del proceso, aguas superficiales, y aguas lluvias. Adicional sobre toda la superficie de la presa se instala una geomembrana de polietileno, que hace la función de barrera adicional y evita el paso de fluidos. (ATG LTDA., 2020)

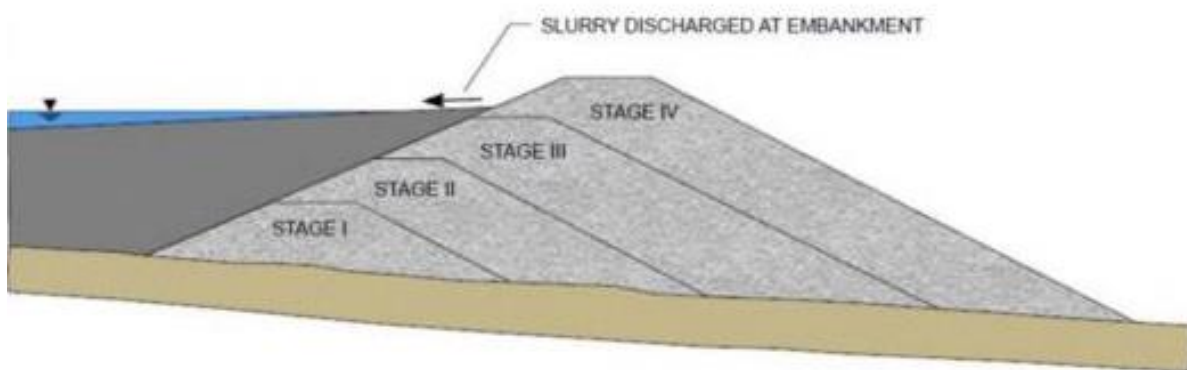
Figura 6. *Presa de relaves*



Las presas de relaves presentan un peligro ambiental significativo en caso de producirse una fuga. Por esta razón, es crucial llevar a cabo un riguroso mantenimiento y supervisión constante del volumen de relave en crecimiento. Esto permite detectar tempranamente la necesidad de realizar un crecimiento gradual o recrecimiento de la presa, brindando alertas anticipadas. (Buendia, Cárdenas, Caceres, Díaz, & Vara, 2020)

En este proyecto se está usando el método aguas abajo, lo cual implica la creación de un muro de contención como barrera inicial. Posteriormente, se va depositando y compactando más material, lo que resulta en un incremento gradual de la altura de la presa a medida que se acumulan más relaves. Este proceso se asemeja al funcionamiento de una presa de agua. (Consejo Minero, 2022)

Figura 7. *Construcción aguas abajo*



Importancia

Las presas de relaves son fundamentales dentro del éxito del proyecto, por lo que se puede destacar:

Gestión adecuada de los residuos mineros: Las presas de relaves son esenciales para la gestión adecuada de los residuos generados por la industria minera. Estas estructuras permiten almacenar los relaves, que son los residuos finos resultantes del procesamiento de minerales. Al almacenarlos de manera controlada,

se evita su dispersión en el medio ambiente y se reducen los impactos negativos en los ecosistemas circundantes.

Protección del agua y los ecosistemas acuáticos: Las presas de relaves juegan un papel fundamental en la protección del agua y los ecosistemas acuáticos. Al retener los relaves, se evita que contaminantes y sedimentos se filtren hacia los cuerpos de agua cercanos. Esto ayuda a mantener la calidad del agua, preservar los hábitats acuáticos y proteger la biodiversidad en los ríos, arroyos y lagos de la región.

Prevención de deslizamientos y colapsos: Las presas de relaves, cuando están diseñadas y construidas correctamente, proporcionan estabilidad a los depósitos de residuos. Esto reduce el riesgo de deslizamientos o colapsos que podrían tener consecuencias catastróficas, como el flujo de lodo y escombros que pone en peligro a las comunidades cercanas, la infraestructura y el medio ambiente.

Recuperación de recursos valiosos: En algunos casos, los relaves almacenados en presas pueden contener minerales o metales valiosos que pueden ser recuperados en el futuro. A medida que avanzan las tecnologías de procesamiento y recuperación de minerales, es posible aplicar técnicas para extraer estos recursos de los relaves, lo que brinda oportunidades para la reutilización y la generación de valor económico adicional.

Responsabilidad ambiental y cumplimiento normativo: Las presas de relaves bien gestionadas reflejan el compromiso de la industria minera con la responsabilidad ambiental. Cumplir con los estándares de diseño, construcción y operación establecidos por las regulaciones y las mejores prácticas garantiza un manejo adecuado de los residuos mineros y ayuda a prevenir impactos negativos en el medio ambiente y las comunidades circundantes

Peligros

Contaminación del agua: Sin una presa de relaves adecuada, los residuos mineros pueden filtrarse hacia los cuerpos de agua cercanos. Esto puede resultar en la contaminación de los ríos, arroyos y acuíferos con sustancias químicas y sedimentos, lo que afecta negativamente la calidad del agua y pone en riesgo la salud humana y la vida acuática.

Daños a los ecosistemas: La dispersión de los relaves sin control puede causar impactos ambientales significativos en los ecosistemas circundantes. Los sedimentos pueden cubrir hábitats naturales, destruir la vegetación, alterar los ciclos naturales del agua y dañar la biodiversidad local. Esto puede tener consecuencias a largo plazo para las especies de plantas y animales, así como para las interacciones ecológicas en el área.

Riesgos para la salud humana: Los relaves pueden contener sustancias tóxicas y metales pesados, como arsénico, plomo, mercurio, entre otros, que representan un riesgo para la salud humana si se liberan al medio ambiente. La exposición a estas sustancias puede tener efectos negativos en la salud de las comunidades locales que dependen del agua y los recursos naturales de la zona.

Peligro de deslizamientos: La falta de una presa de relaves adecuada puede aumentar el riesgo de deslizamientos o colapsos en los depósitos de relaves. Esto puede tener consecuencias devastadoras, como el flujo de lodo y escombros que puede inundar áreas pobladas, dañar infraestructuras y poner en peligro la vida de las personas que viven en las cercanías.

Daño a la reputación y responsabilidad corporativa: La gestión inadecuada de los relaves y los impactos ambientales negativos pueden generar una mala reputación para la empresa minera Kon, así como enfrentar críticas de la opinión pública y los

grupos ambientalistas. Además, puede resultar en litigios, sanciones regulatorias y obligaciones financieras para remediar los impactos causados

2.2.4. Recursos

En todas las construcciones existen diferentes recursos que son necesarios para su desarrollo, entre los cuales se tiene la mano de obra, materiales, equipos, tiempos, entre otros.

2.2.4.1. Materiales

En la construcción de la presente presa se utilizan diferentes tipos de materiales, de diferente calidad y procedencia. De tal manera que se cumplan con los parámetros de diseño y calidad requeridos por el diseñador y que cumplan con las legislaciones nacionales e internacionales.

Para el presente proyecto se le dio una nomenclatura a cada uno de estos materiales, de acuerdo con el tamaño de estos y su aplicación, la cual es:

Zona 1: Generalmente saprolita, es un limo arenoso que se mezcla con cemento de acuerdo con la necesidad, usualmente la relación es 24/1.

Material que pasa sobre el tamiz #4, los contenidos de fino son mayores al 40% y el contenido de arcilla esta entre el 15% y 30%. Plasticidad baja y no dispersivo.

Se coloca en la cresta de la presa.

Zona 2: Es arena de río clasificada y lavada.

Tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ " (19 mm), menos del 5% de finos. Uniforme y limpio.

Se coloca en los filtros como transición entre la Zona 1 y la Zona 3.

Zona 3: Es grava de río clasificada y lavada.

Resistente, duradero, tamaño máximo de 3" (75 mm), menos del 5% de finos. Uniforme y limpio.

Se coloca en los filtros como transición ente la Zona 2 y la Zona 4.

Zona 4: Es roca triturada y cribada.

Relleno de roca limpio, roca fresca, sin fracturas o cualquier defecto estructural.

Tamaño máximo de partículas de 450 mm.

Se coloca en el drenaje del basal, bajo la presa, es capa inferior a la Zona 3 y protección al talud externo.

Zona 5: Es material rocoso con poca matriz de suelo.

Arenisca, los fragmentos deben estar bien físicamente, durables, roca fresca.

Es el corazón de la presa, se coloca en toda la estructura aguas abajo.

Zona 5ª: Es una mezcla de rocas trituradas y arena con poca matriz de suelo.

Material de grano fino de trabajos comunes de excavación, que usualmente está muy húmedo para descargarlo en el núcleo de la estructura.

Se utiliza como relleno para soporte a la geomembrana.

2.2.4.2. Maquinaria

Entre los equipos de excavación y movimiento de tierra se tiene los siguientes:

Tractor: Tiene como objetivo tirar o empujar cargas dentro de una obra, se clasifican de acuerdo con su medio de movimiento: oruga y con ruedas. Son las máquinas más básicas y versátiles que existen y sirven, y usualmente se catalogan según su tamaño y potencia. (De Solminihac & Thenoux, 1977)

Figura 8. *Tractor*



Bulldozer: Son tractores equipados con una cuchilla, la cual puede ir: perpendicular a la dirección de avance, por lo que empuja la tierra hacia adelante; o en ángulo con la dirección de avance, caso en el que empuja la tierra hacia adelante y a un lado. Estas máquinas se utilizan durante el proyecto de construcción en operaciones tales como: limpieza del terreno de árboles y maleza, apertura de brechas en terrenos rocosos, movimientos de tierras en estanques, cortes carreteros u otros, esparcimiento de rellenos de tierras y limpieza de escombros en sitios de construcción. (De Solminihac & Thenoux, 1977)

Figura 9. *Bulldozer*



Cargador frontal: Consiste en un tractor equipado con un cucharón de carga en el frente. Los cargadores son usados para: excavar material blando a medio, mover materiales dentro de la obra o acumularlos en alguna zona específica y rellenar fosos. Los cargadores poseen una excelente movilidad de trabajo y están disponibles en tamaños distintos para cubrir las necesidades específicas de cada obra. (De Solminihac & Thenoux, 1977)

Figura 10. *Cargador frontal*

Excavadora: Máquina utilizada para excavar frontalmente todo tipo de material, excepto roca no triturada. Logra su mayor eficiencia en el caso de cavar desde el nivel de terreno en que está instalada hacia arriba, hasta la altura que logra su brazo. (De Solminihac & Thenoux, 1977)

Figura 11. *Excavadora*

Retroexcavadora: Máquina que excava con la pala en dirección opuesta a la dirección de avance de la máquina, se usa principalmente para excavar bajo la superficie natural del terreno (sobre el cual está instalada la máquina), son muy adecuadas para hacer pozos, trincheras, zanjas y otras obras en que sea necesario un control sobre las profundidades que se desee lograr. (De Solminihac & Thenoux, 1977)

Figura 12. *Retroexcavadora*

Rodillo: Es un equipo utilizado para compactar el suelo y de esta manera incrementar la densidad del mismo.

Figura 13. *Rodillo*

Volquetas: Los volquetes o volquetas son vehículos automóviles que poseen un dispositivo mecánico para volcar la carga que transportan en un cajón que reposa sobre el chasis del vehículo. Son los equipos usados comúnmente para movimientos de materiales debido a la flexibilidad y habilidad para moverse con rapidez entre sitios de trabajo dentro de una obra y en carreteras públicas, además de poseer un costo de acarreo bajo con respecto a su capacidad. (De Solminihac & Thenoux, 1977)

Figura 14. *Volqueta*

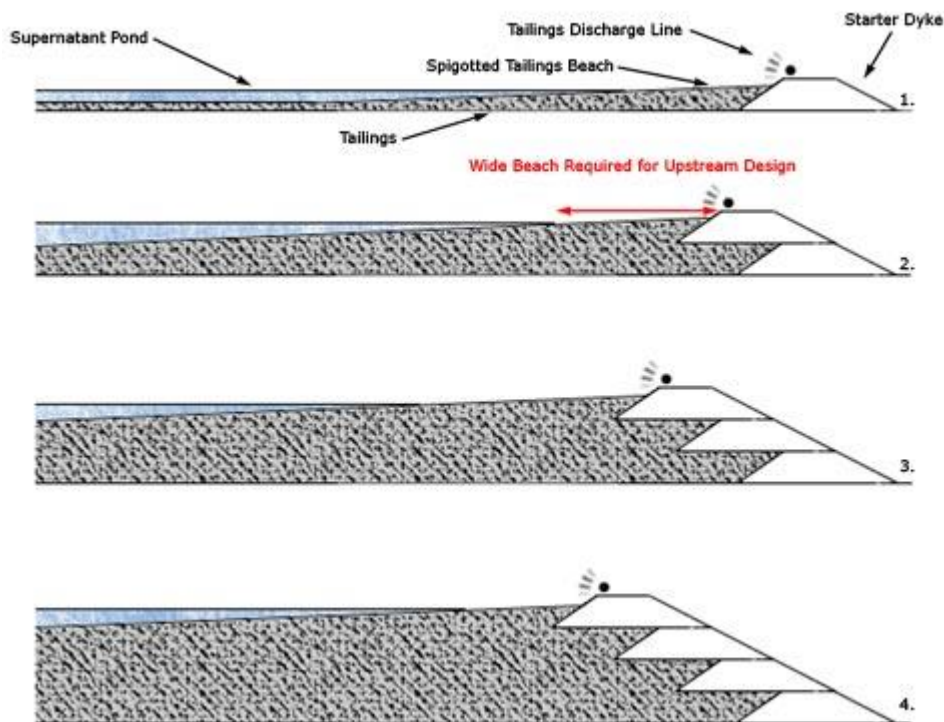
2.3. Análisis Comparativo

Existen tres métodos para realizar la construcción de una Presas de Relaves, los cuales son:

2.3.1. Aguas Arriba (Upstream)

En este tipo de presa de relaves, se construye desde aguas abajo hacia aguas arriba a medida que se depositan más relaves. Los relaves frescos se colocan en la parte superior de la presa existente (De la Cruz, 2017).

Figura 15. Método Aguas Arriba



Construcción Inicial: En este método, se comienza construyendo la estructura de la presa en la parte aguas abajo del sitio de disposición de relaves. Es decir, la estructura inicial se construye en la dirección de la corriente de relaves que fluirán desde la planta de procesamiento hacia el depósito.

Deposición de Relaves: A medida que se construye la estructura inicial, los relaves frescos se depositan en la parte superior de esta. Los relaves se colocan y se

compactan sobre la estructura existente, lo que aumenta gradualmente la altura de la presa.

Formación de Cresta: Con el tiempo, a medida que se acumulan más relaves y se compactan, se forma una cresta en la parte superior de la presa. Esta cresta es la parte más alta de la estructura y se utiliza para contener y gestionar los relaves adicionales que llegan.

Mayor Estabilidad Inicial: Una ventaja clave de este método es que proporciona una mayor estabilidad inicial, ya que la estructura se construye hacia arriba, lo que ayuda a prevenir el colapso de la presa en las etapas iniciales de construcción.

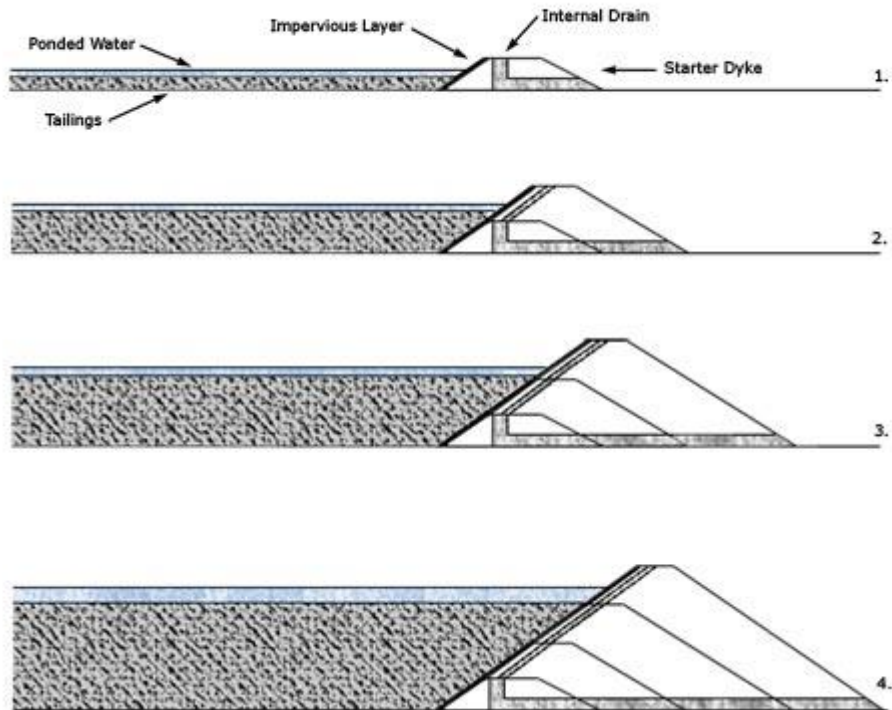
Eficiencia a Largo Plazo: A medida que se acumulan más relaves en la parte superior de la presa, la construcción "aguas arriba" puede ser más eficiente a largo plazo en términos de espacio de almacenamiento, ya que se utiliza el espacio existente de manera más efectiva.

Requerimientos de Espacio: Sin embargo, es importante tener en cuenta que este método requiere un espacio adecuado para la construcción inicial de la presa y puede no ser adecuado en áreas con limitaciones de espacio.

Monitoreo Continuo: A medida que se depositan más relaves, es esencial realizar un monitoreo continuo de la presa para garantizar su estabilidad y seguridad a lo largo del tiempo

2.3.2. Aguas Abajo (Downstream)

En una presa de relaves agua arriba, se construye inicialmente la estructura de la presa y los relaves se depositan en la parte superior de la presa existente (De la Cruz, 2017).

Figura 16. *Método Aguas Abajo*

Construcción de la Estructura Principal: En este método, la construcción de la presa comienza con la estructura principal en la parte aguas arriba del sitio de disposición de relaves. En otras palabras, se construye la parte inicial de la presa en la dirección contraria al flujo de relaves que provienen de la planta de procesamiento.

Deposición de Relaves: A medida que se construye la estructura principal, los relaves frescos se depositan en la parte inferior de la presa, cerca de la planta de procesamiento. Los relaves se extienden sobre la estructura existente y se dejan fluir hacia abajo por gravedad.

Formación de Cresta en la Parte Inferior: Con el tiempo, a medida que los relaves se acumulan y se compactan en la parte inferior de la presa, se forma una cresta en la parte aguas abajo. Esta cresta contiene y gestiona los relaves adicionales que fluyen hacia ella.

Estabilidad Inicial Menos Pronunciada: En comparación con el método "aguas arriba", el método "aguas abajo" tiende a tener una estabilidad inicial menos pronunciada, ya que se depositan los relaves sobre la estructura en construcción. Esto significa que se necesita un monitoreo constante para garantizar la seguridad durante la construcción inicial.

Requisitos de Espacio: El método "aguas abajo" generalmente requiere menos espacio inicialmente, ya que se construye la estructura principal en la dirección de la corriente de relaves. Esto puede ser beneficioso en áreas con restricciones de espacio.

Eficiencia en la Deshidratación: A medida que los relaves fluyen hacia abajo y se acumulan, este método puede ser eficiente en términos de deshidratación de los relaves, ya que la gravedad ayuda en este proceso.

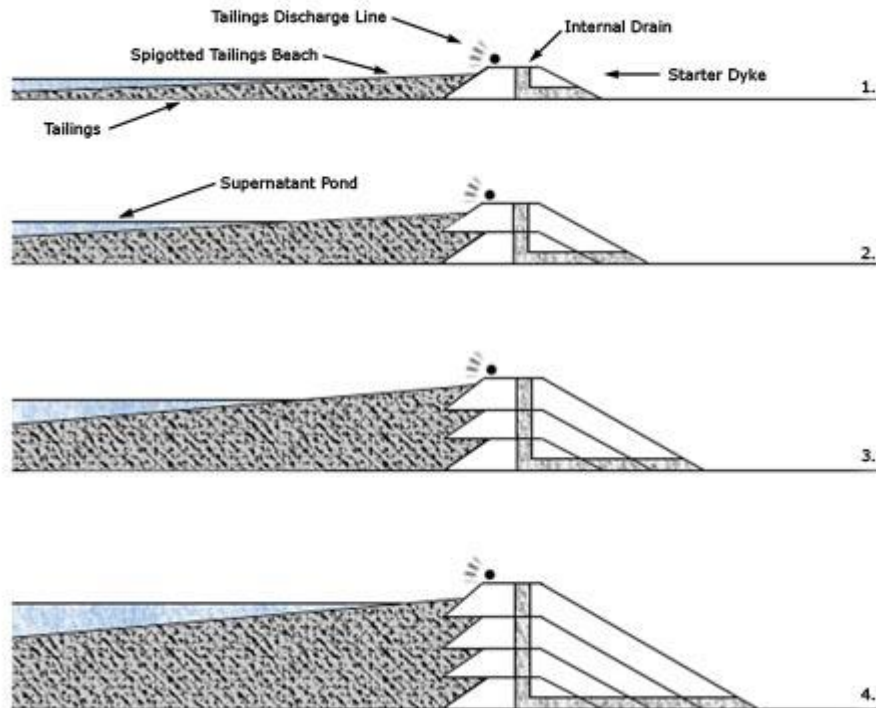
Continuo Depósito de Relaves: Este método permite un depósito continuo de relaves a medida que se construye la presa, lo que puede ser ventajoso en proyectos donde se necesita una gestión constante de los relaves.

Monitoreo y Mantenimiento: Dado que la estabilidad puede ser un desafío inicial, el monitoreo y el mantenimiento continuo son esenciales para garantizar la seguridad y la integridad de la presa a lo largo del tiempo.

2.3.3. Combinado

Este enfoque combina elementos de ambas técnicas. Se construye una parte inicial aguas abajo y luego, cuando se alcanza cierta altura, se cambia al método de construcción aguas arriba (De la Cruz, 2017).

Figura 17. Método Combinado



Fase "Agua Abajo" Inicial: La construcción comienza inicialmente en la parte aguas abajo de la ubicación de disposición de relaves. Se construye una estructura principal en esta dirección, similar al método "aguas abajo". Los relaves frescos se depositan en la parte inferior de la presa en esta fase inicial.

Transición a "Agua Arriba": Una vez que se ha construido una porción significativa de la presa en la dirección "aguas abajo" y se ha alcanzado cierta altura, se realiza una transición al método "aguas arriba". En esta etapa, la construcción se dirige hacia arriba, en contra del flujo de relaves.

Deposición en la Parte Superior: En la fase "aguas arriba", los relaves se depositan en la parte superior de la estructura existente, similar al método "aguas arriba". La cresta de la presa se forma en la parte superior de la estructura de construcción "aguas arriba".

Equilibrio entre Estabilidad y Eficiencia: Este método busca equilibrar la estabilidad inicial proporcionada por la construcción "aguas abajo" con la eficiencia a largo plazo de la construcción "aguas arriba". La transición se realiza para aprovechar las ventajas de ambos enfoques.

Requisitos de Espacio: Los requisitos de espacio en la fase inicial son similares a los del método "aguas abajo", lo que puede ser beneficioso en áreas con limitaciones de espacio.

Monitoreo Continuo: Dado que se combina la construcción en ambas direcciones, el monitoreo y el mantenimiento continuo son cruciales para garantizar la estabilidad y la seguridad de la presa

2.4. Análisis Crítico

2.4.1. Aguas Arriba (Upstream)

2.4.1.1. Ventajas

Estabilidad Inicial: Una de las ventajas más críticas del método "aguas arriba" es la mayor estabilidad inicial que proporciona. Dado que se construye desde abajo hacia arriba, la estructura de la presa es más sólida en las primeras etapas de construcción. Esto reduce significativamente el riesgo de colapso temprano, lo que es crucial para la seguridad de la presa y el medio ambiente circundante.

Eficiencia a Largo Plazo: A medida que se acumulan más relaves y se compactan en la parte superior de la presa, el método "aguas arriba" puede ser más eficiente en términos de espacio de almacenamiento. Esto significa que se utiliza el espacio existente de manera más efectiva a medida que la presa se eleva, lo que puede ser beneficioso en áreas con limitaciones de espacio.

Requisitos de Espacio Iniciales Limitados: Este método requiere menos espacio en las etapas iniciales de construcción en comparación con el método "aguas

abajo". Esta ventaja puede ser crítica en proyectos ubicados en áreas con espacio limitado para la construcción de la presa

2.4.1.2. Desventajas

Inversión Inicial: A pesar de sus ventajas, el método "aguas arriba" a menudo conlleva una inversión inicial más alta. Esto se debe a la construcción hacia arriba y a la necesidad de una estructura de cresta sólida para contener los relaves. La inversión inicial puede ser un desafío financiero para algunos proyectos.

Monitoreo Constante: Dado que la estabilidad inicial es una ventaja crítica, el monitoreo constante es esencial durante la construcción y a lo largo de la vida útil de la presa. Esto implica costos continuos de monitoreo y mantenimiento que deben ser considerados.

Planificación Detallada: Se requiere una planificación cuidadosa para la construcción de una presa "aguas arriba". La secuencia de construcción y la transición a la etapa "aguas arriba" deben ser meticulosamente planificadas y ejecutadas para garantizar la seguridad y la eficiencia.

2.4.2. Aguas Abajo (Downstream)

2.4.2.1. Ventajas

Menor Inversión Inicial: Una de las ventajas más destacadas del método "aguas abajo" es que tiende a requerir una inversión inicial más baja en comparación con el método "aguas arriba". Esto se debe a que la construcción se realiza en la dirección del flujo de relaves, lo que minimiza la necesidad de estructuras de cresta masivas en las etapas iniciales.

Adecuado para Espacios Limitados: Este método es particularmente adecuado para proyectos ubicados en áreas con espacio limitado en la parte superior

de la presa. Dado que la construcción se realiza en la dirección del flujo, no se necesita un espacio inicial extenso.

Gestión Continua de Relaves: El método "aguas abajo" permite un depósito continuo de relaves a medida que se construye la presa. Esto puede ser beneficioso en proyectos donde se necesita una gestión constante de los relaves y no se pueden detener las operaciones de procesamiento.

2.4.2.2. Desventajas

Estabilidad Inicial Limitada: Una de las principales desventajas de este método es que proporciona una estabilidad inicial limitada. Debido a que los relaves se depositan sobre la estructura en construcción, la presa puede ser menos estable en las primeras etapas. Esto requiere un monitoreo constante para garantizar la seguridad.

Mayor Riesgo de Acumulación: La acumulación de relaves en la parte aguas abajo puede ser un desafío. Si no se gestiona adecuadamente, esta acumulación puede aumentar el riesgo de colapso de la presa.

Eficiencia de Espacio a Largo Plazo: A medida que se acumulan más relaves en la parte aguas abajo, la eficiencia de espacio puede disminuir en comparación con el método "aguas arriba". Esto significa que, a largo plazo, es posible que se requiera más espacio para alcanzar la misma capacidad de almacenamiento.

2.4.3. Combinado

2.4.3.1. Ventajas

Equilibrio entre Estabilidad y Eficiencia: La ventaja más crítica del método combinado es que busca equilibrar la estabilidad inicial proporcionada por el método "aguas abajo" con la eficiencia a largo plazo del método "aguas arriba". Esto permite

gestionar el riesgo de colapso temprano mientras se aprovechan las ventajas de espacio y eficiencia a largo plazo.

Flexibilidad: El método combinado ofrece flexibilidad para adaptarse a las condiciones específicas del proyecto. La transición entre los métodos "aguas abajo" y "aguas arriba" puede ser planificada de acuerdo a las necesidades del sitio y el ritmo de acumulación de relaves.

Gestión Continua de Relaves: Al combinar ambos métodos, se permite un depósito continuo de relaves durante la construcción. Esto es beneficioso en proyectos donde se necesita una gestión constante de los relaves sin interrupciones

2.4.3.2. Desventajas

Planificación Compleja: La planificación de la transición entre los métodos "aguas abajo" y "aguas arriba" puede ser compleja y requerir una supervisión y ejecución cuidadosas. Cualquier error en la transición podría afectar la seguridad de la presa.

Monitoreo Continuo: Dado que se combinan ambos enfoques, el monitoreo continuo es esencial durante toda la construcción y la vida útil de la presa. Esto implica costos operativos sostenidos.

Necesidad de Espacio Inicial: Aunque la transición al método "aguas arriba" se realiza más tarde en el proceso, aún se necesita espacio inicial para la construcción "aguas abajo". Esto puede ser un desafío en áreas con limitaciones de espacio.

CAPÍTULO III MARCO REFERENCIAL

3.1. Reseña histórica

La mina se encuentra ubicada en la provincia de Zamora Chinchipe, en el sur oriente de Ecuador. Es considerada una de las minas de oro más grandes de América Latina, por lo que ha sido objeto de interés tanto a nivel nacional como internacional debido a su potencial y sus impactos en el desarrollo económico y social del país.

La historia de la mina se remonta a la década de 2000, cuando se descubrieron importantes yacimientos de oro en la región. En 2006, una compañía minera canadiense realizó el descubrimiento principal en el área, confirmando la existencia de un depósito de oro de alto grado.

En 2016, tras varios años de análisis y negociaciones, el gobierno ecuatoriano otorgó los derechos de explotación de la mina a una la empresa minera Kon con sede en Canadá. Se establecieron acuerdos y compromisos para garantizar el cumplimiento de estándares ambientales y sociales, así como para impulsar el desarrollo local y nacional.

La construcción de la mina comenzó en 2017 y se completó en 2019. En noviembre de 2019, comenzó oficialmente la producción comercial de oro.

La apertura de la mina ha tenido un impacto significativo en la economía ecuatoriana. Generando empleos directos e indirectos, ingresos fiscales y contribuyendo al desarrollo de la región y del país en general. Además, la extracción de oro en la mina tiene el potencial de atraer inversiones y fortalecer la industria minera en Ecuador.

Es la primera mina subterránea a gran escala, lo que representa un hito en la industria minera de Ecuador sirviendo de ejemplo para las futuras minas que están descubriéndose en todo el territorio ecuatoriano.

Figura 18. Proyecto minero



3.2. Filosofía organizacional

La empresa minera Kon tiene tres principios fundamentales con los que buscan operar diariamente, estos son trabajo con seguridad, cuidado del ambiente y respeto.

Considera que las prácticas transparentes y sustentables son elementos fundamentales para el éxito a largo plazo de un negocio.

3.2.1. Trabajo con seguridad

El trabajo con seguridad es esencial en la industria minera debido a los riesgos inherentes asociados con las operaciones mineras, como la maquinaria pesada, los productos químicos, las excavaciones, entre otros. La empresa tiene políticas y programas específicos para garantizar la seguridad y el bienestar de los empleados y contratistas.

3.2.2. Cuidado del ambiente

La empresa se enfoca en prácticas sostenibles que minimicen los impactos ambientales y sociales de sus operaciones. Esto implica el cumplimiento con las

regulaciones nacionales e internacionales y de igual manera de estándares ambientales y de seguridad, la gestión responsable de los recursos naturales y la protección de la biodiversidad.

3.2.3. Respeto

El respeto es un valor fundamental que puede generar un ambiente laboral positivo, fomentar la colaboración y mejorar la productividad. Al promover una cultura de respeto dentro de la organización, se crea un entorno donde los empleados se sienten valorados, motivados y comprometidos.

Implica tratar a todas las personas con consideración, dignidad y equidad, independientemente de su posición jerárquica, antecedentes o características personales.

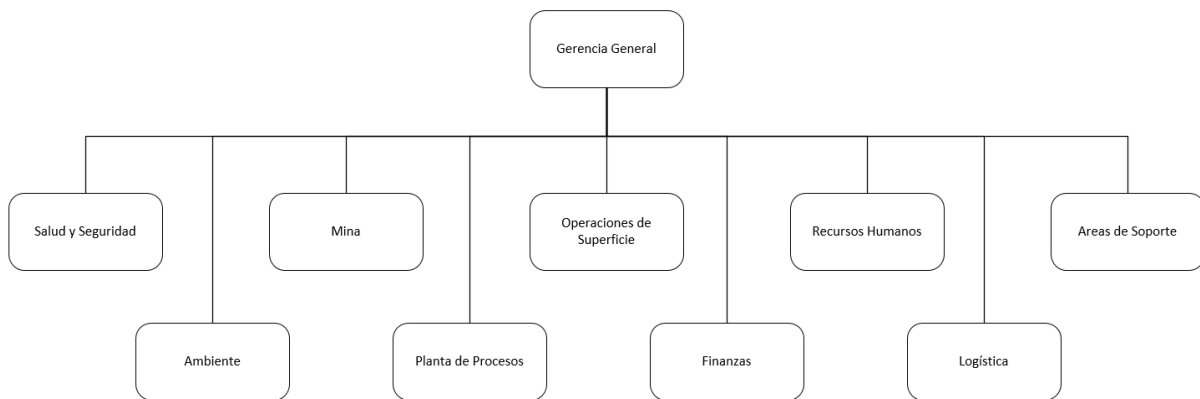
3.3. Diseño organizacional

La empresa está dividida en varias áreas o departamentos que trabajan en conjunto para buscar el objetivo final, producir cumpliendo con todos los principios básicos establecidos.

Se puede decir que existen 17 áreas en total dentro de la empresa, con más de dos mil empleados, entre las que destacaremos las más importantes como Salud y Seguridad, Ambiente, Mina, Planta de Procesos, Operaciones de Superficie, Finanzas, Recursos Humanos y Logística.

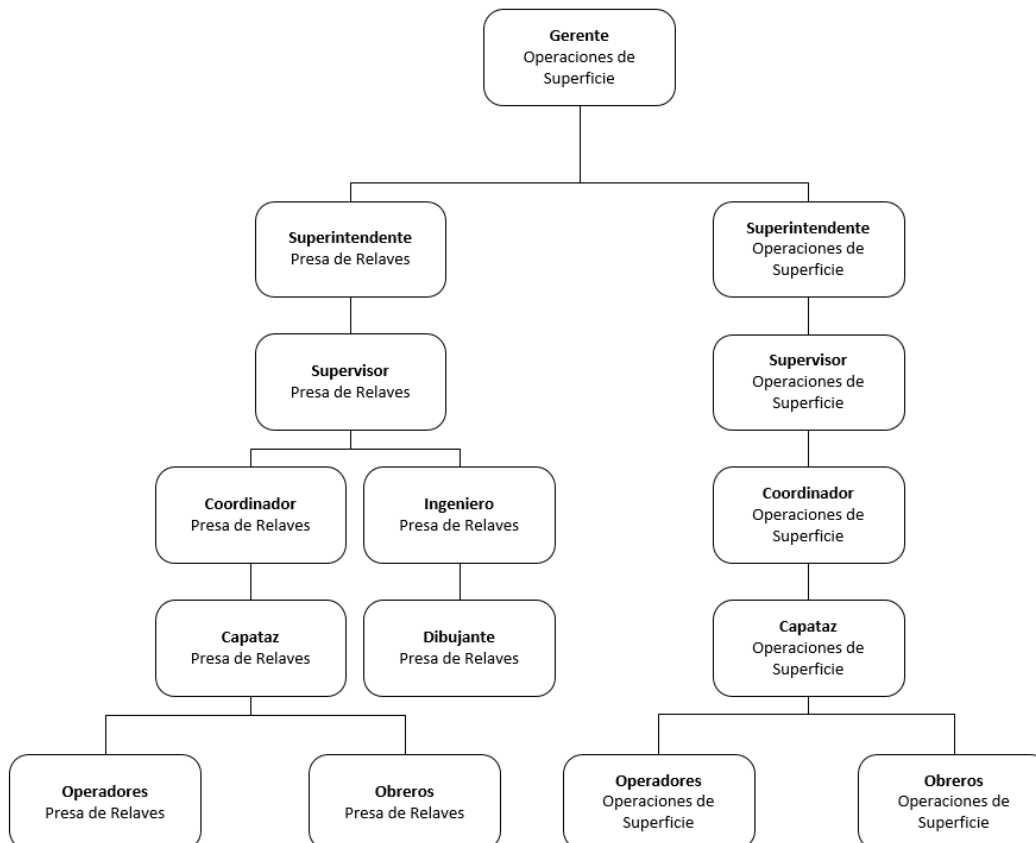
Todas las áreas son importantes, pero para el presente trabajo se las tomará en cuenta a las mencionadas anteriormente.

A continuación, en la figura se observa el organigrama general de la empresa.

Figura 19. *Organigrama general*

El área encargada de la construcción de la presa de relaves es Operaciones de Superficie. El diseño en cambio está a cargo de una empresa externa que se encarga también de la fiscalización de la construcción y que se cumpla con los estándares establecidos.

A continuación, se encuentra el organigrama de operaciones de superficie:

Figura 20. *Organigrama Operaciones de Superficie*

3.4. Productos y/o servicios

Su principal producto es el oro. La mina es uno de los yacimientos de oro más grandes de América Latina y se estima que tiene unas reservas probables de 5.02 millones de onzas de oro y un periodo de explotación de aproximadamente 15 años con una producción diaria de 3500 toneladas para un promedio de 310 mil onzas de oro al año.

Al tratarse de una mina remota en el sur oriente del país, el acceso es difícil por diferentes situaciones geográficas, tanto el personal como el transporte pesado que ingresa y sale de la mina debe hacer un trayecto considerable.

La planta de procesos por medio de diferentes tratamientos y procesos tiene como resultado final el concentrado, el mismo que es almacenado y enviado en contenedores.

El concentrado es enviado al puerto marítimo más cercano para su transporte hacia el destino final, donde se terminará de procesar y será comercializado.

3.5. Diagnóstico organizacional

La empresa tiene una estructura establecida en cuanto a gestión de salud y seguridad y gestión ambiental, con procedimientos, estándares y lineamientos establecidos para que todas las actividades se desarrollen con normalidad y sin posibles incidentes que se puedan dar.

Las diferentes áreas tienen clara la estructura que deben seguir al momento de realizar una actividad, siempre respetando los principios básicos de la compañía y cumpliendo con los estándares establecidos.

El área de operaciones de superficie encargada de la construcción de la presa de relaves trabaja en conjunto con el área de salud y seguridad para las actividades que se van a realizar en la construcción. Con el área de ambiente para los permisos

necesarios para empezar con los trabajos y el cumplimiento de la normativa ambiental del país. Adicional con el área de recursos humanos y logística para la contratación del personal y de los equipos necesarios para el movimiento de tierras.

En conjunto con el departamento de finanzas y la aprobación final de gerencia general se define el presupuesto necesario para la construcción.

3.5.1. Análisis FODA

3.5.1.1. Fortalezas

Recurso mineral significativo: El proyecto alberga una reserva mineral significativa de oro y plata. Esta presencia de minerales valiosos en la propiedad proporciona una base sólida para el potencial económico del proyecto y la generación de ingresos.

Compromiso con la responsabilidad social y ambiental: La empresa ha mostrado compromiso con la responsabilidad social y ambiental. Han implementado programas y medidas para minimizar los impactos ambientales, promover la participación de las comunidades locales, y cumplir con las regulaciones y estándares ambientales.

Experiencia y conocimiento técnico: La empresa cuenta con un equipo experimentado y expertos en la industria minera. Esto les permite abordar los desafíos técnicos y operativos asociados con la construcción y operación de una mina, y tomar decisiones informadas basadas en su experiencia previa.

Estabilidad y apoyo gubernamental: La empresa ha trabajado en colaboración con el gobierno ecuatoriano en el desarrollo del proyecto. Un entorno estable y el apoyo gubernamental pueden proporcionar un marco favorable para el avance y éxito del proyecto.

Enfoque en la seguridad: La seguridad es una prioridad en la industria minera y la empresa ha demostrado un compromiso con altos estándares de seguridad. La implementación de protocolos y prácticas de seguridad robustas puede proteger la salud y la seguridad de los trabajadores y las comunidades cercanas

3.5.1.2. Oportunidades

Potencial de crecimiento y expansión: Si la empresa logra el éxito en el desarrollo y operación del proyecto, existe la posibilidad de expandir su presencia en la industria minera y buscar nuevas oportunidades de desarrollo de proyectos en Ecuador u otras regiones.

Aumento de la demanda de metales preciosos: Los metales preciosos, como el oro y la plata, tienen una demanda constante en los mercados internacionales. El aumento de la demanda de estos metales podría brindar a la empresa la oportunidad de beneficiarse de los precios favorables en el mercado y generar mayores ingresos.

Relaciones con las comunidades locales: La empresa puede aprovechar las relaciones establecidas con las comunidades locales para fomentar una mayor colaboración y participación en el desarrollo del proyecto. Esto puede generar beneficios mutuos, como la creación de empleo local, el apoyo a iniciativas de desarrollo comunitario y la mejora de la reputación y la aceptación social.

Innovación tecnológica y eficiencia operativa: La empresa puede explorar oportunidades para adoptar tecnologías innovadoras en sus operaciones mineras. Esto puede conducir a mejoras en la eficiencia operativa, la reducción de costos y la optimización de los procesos, lo que podría brindar una ventaja competitiva en el mercado.

Cumplimiento de estándares ESG: Existe una creciente atención en la industria minera sobre los aspectos ambientales, sociales y de gobierno corporativo (ESG, por

sus siglas en inglés). La empresa tiene la oportunidad de fortalecer su desempeño en estas áreas y cumplir con los estándares ESG, lo que puede atraer inversores, mejorar su reputación y fortalecer la sostenibilidad a largo plazo de sus operaciones

3.5.1.3. Debilidades

Dependencia de un solo proyecto: La empresa actualmente depende en gran medida del proyecto actual, por lo que el éxito y la rentabilidad de la compañía están fuertemente vinculados a este. Cualquier problema, retraso o dificultad en el desarrollo u operación del proyecto podría tener un impacto significativo en los resultados financieros de la compañía.

Riesgos operativos y geológicos: La industria minera está sujeta a diversos riesgos operativos y geológicos, como problemas técnicos, fallas en los equipos, problemas de seguridad y geología compleja. La empresa debe gestionar adecuadamente estos riesgos para garantizar una operación segura y eficiente, así como para evitar posibles interrupciones en la producción.

Sensibilidad a los precios de los metales: Como productor de oro y plata, la empresa está expuesto a la volatilidad de los precios de estos metales en los mercados internacionales. Las fluctuaciones en los precios del oro y la plata pueden afectar significativamente los ingresos y los márgenes de beneficio de la compañía.

Reputación y aceptación social: La minería es una industria que a menudo enfrenta críticas y preocupaciones relacionadas con su impacto ambiental y social. La empresa debe abordar estos desafíos y trabajar para ganar y mantener la confianza y aceptación de las comunidades locales, los grupos ambientalistas y otros actores relevantes.

Cambios regulatorios y políticos: Los cambios en las leyes, regulaciones y políticas gubernamentales pueden tener un impacto en la operación de la empresa.

Esto puede incluir modificaciones en los requisitos ambientales, restricciones en la concesión de permisos, cambios en los impuestos o regulaciones laborales, entre otros. La capacidad de la compañía para adaptarse a estos cambios y cumplir con los nuevos requisitos puede influir en su desempeño

3.5.1.4. Amenazas

Riesgos geopolíticos y legales: La industria minera está sujeta a cambios en el entorno geopolítico y legal. Los cambios en las políticas gubernamentales, la incertidumbre política, los conflictos sociales y los problemas legales pueden afectar la estabilidad y las operaciones de la empresa. Los cambios adversos en la legislación minera o en las regulaciones ambientales podrían tener un impacto negativo en el proyecto y las perspectivas de la compañía.

Riesgos ambientales y sociales: Las preocupaciones ambientales y sociales asociadas con la minería son una amenaza constante para la empresa y otras compañías del sector. El incumplimiento de los estándares ambientales, los impactos negativos en las comunidades locales, los conflictos sociales y los problemas relacionados con los derechos humanos pueden afectar la reputación de la compañía, generar conflictos y retrasos en las operaciones, y tener consecuencias legales y financieras significativas.

Volatilidad de los precios de los metales: Los precios del oro y la plata son altamente volátiles y están sujetos a influencias globales, como la demanda del mercado, la fortaleza del dólar estadounidense y los cambios en la política monetaria. Una caída en los precios de los metales preciosos puede afectar negativamente los ingresos y los márgenes de beneficio de la empresa.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. Diagnóstico

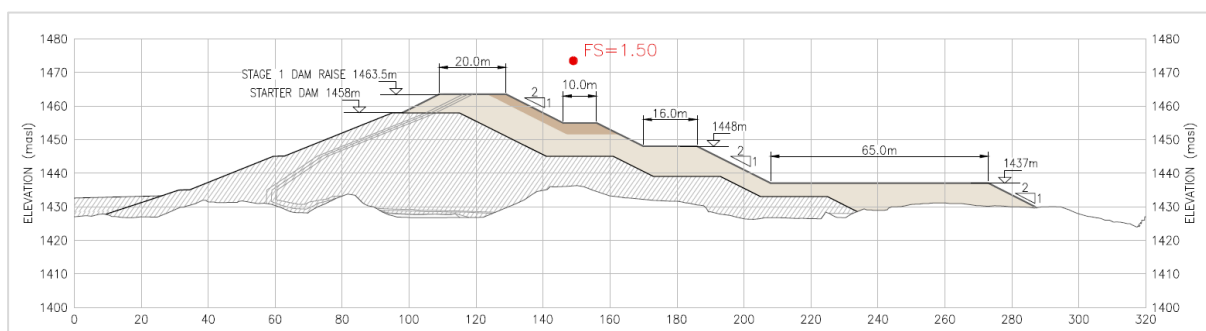
4.1.1. Etapa 1

4.1.1.1. Diseño

Una empresa tercera fue la encargada de realizar el diseño de la presa desde su inicio y todas las etapas siguientes. En total se tiene proyectado 9 etapas para concluir la construcción, hasta llegar a una elevación de 1490.5 msnm.

Para la primera etapa se programó el recrecimiento hasta una elevación de 1463.5 msnm y su construcción duró seis meses.

Figura 21. *Diseño Etapa 1*



Para la primera etapa de acuerdo con el diseño se proyectó los siguientes volúmenes de materiales:

Tabla 1. *Volumen proyectado Etapa 1*

Material	Volumen [m3]
Zona 1	20,400
Zona 2	4,350
Zona 3	9,790
Zona 4	10,190
Zona 5	418,100
Zona 5A	19,800

Material	Volumen [m3]
Total	482,630

4.1.1.2. Recursos

Materiales

Para la etapa 1 se utilizó los siguientes volúmenes de material y su promedio diario.

Tabla 2. *Volumen colocado Etapa 1*

Material	Volumen [m3]	Volumen diario [m3/día]
Zona 1	43,413	350
Zona 2	6,842	80
Zona 3	11,572	80
Zona 4	14,930	220
Zona 5	573,902	3,700
Zona 5A	21,110	200
Total	671,769	4,630

Maquinaria

La maquinaria fue rentada a una empresa especializada en equipos pesado, la misma que se encargó del mantenimiento y repuestos de los equipos.

En total se tuvo 44 equipos que se puede observar en la tabla.

Tabla 3. *Maquinaria usada Etapa 1*

Equipo	Unidades
Rodillo	2
Bulldozer	3
Miniexcavadora	1

Equipo	Unidades
Excavadora	5
Volqueta	27
Iluminaria	4
Compactadora	2
Total	44

Personas

Para el total de la primera etapa se contrató a un total de 33 personas por turno, un total de 65, las que se despliegan de la siguiente manera:

Tabla 4. *Personal Etapa 1*

Cargo	Número
Superintendente	1
Coordinador	2
Asistente Administrativa	2
Bodeguero	2
Ingeniero de control de calidad	2
Técnico control de calidad	4
Control de Documentos	2
Ayudante de Laboratorio	6
Topógrafo	2
Ayudante de topografía	2
Ingeniero Senior	2
Ingeniero QA	4
Capataz	4

Cargo	Número
Operadores	22
Obreros	8
Total	65

4.1.1.3. Costos

Presupuestado

Para la primera etapa se presupuestó un total de \$12,926,806, que se desglosa de la siguiente manera:

Tabla 5. *Presupuesto Etapa 1*

Descripción	Valor
Equipos	4,811,073
Ingeniería	975,620
Materiales	5,171,364
Personal	426,461
Logística	1,190,051
Combustible	352,237
Total	12,926,806

Gasto Real

Para la primera etapa el gasto real que se realizó fue de \$15,859,922, los que se desglosan en los siguientes valores:

Tabla 6. *Gasto real Etapa 1*

Descripción	Valor
Equipos	4,901,419

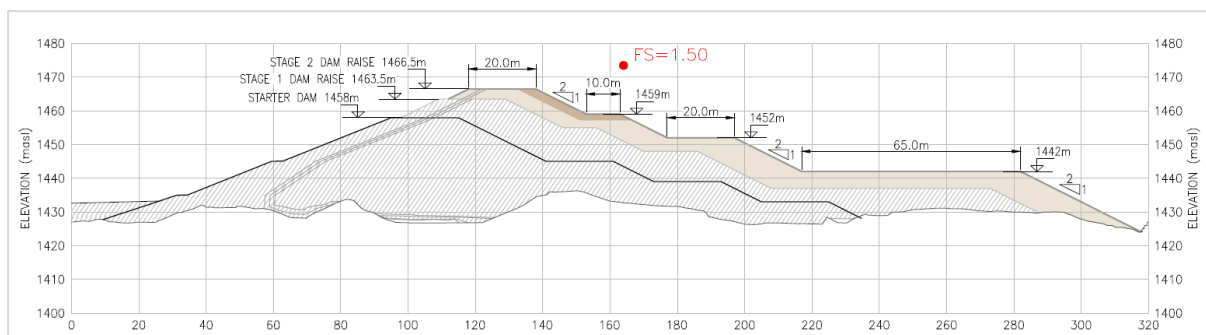
Descripción	Valor
Ingeniería	993,041
Materiales	7,537,792
Personal	584,413
Logística	1,260,916
Combustible	582,341
Total	15,859,922

4.1.2. Etapa 2

4.1.2.1. Diseño

Para la segunda etapa se programó el recrecimiento hasta una elevación de 1466.5 msnm y su construcción fue de seis meses.

Figura 22. *Diseño Etapa 2*



Para la segunda etapa de acuerdo con el diseño se proyectó los siguientes volúmenes de materiales:

Tabla 7. *Volumen proyectado Etapa 2*

Material	Volumen [m3]
Zona 1	10,600
Zona 2	2,520
Zona 3	6,380

Material	Volumen [m3]
Zona 4	8,080
Zona 5	428,550
Zona 5A	12,900
Total	469,030

4.1.2.2. Recursos

Materiales

Para la segunda etapa se utilizaron los siguientes volúmenes de materiales:

Tabla 8. *Volumen colocado Etapa 2*

Material	Volumen [m3]	Volumen diario [m3/día]
Zona 1	25,867	350
Zona 2	3,740	80
Zona 3	6,814	80
Zona 4	10,155	220
Zona 5	651,055	3,700
Zona 5A	10,683	200
Total	708,314	4,630

Maquinaria

En la segunda etapa se tuvo el mismo número de equipos que en la primera, con un total se tuvo 44, como se puede observar en la tabla.

Tabla 9. *Maquinaria usada Etapa 2*

Equipo	Unidades
Rodillo	2

Equipo	Unidades
Bulldozer	3
Miniexcavadora	1
Excavadora	5
Volqueta	27
Iluminaria	4
Compactadora	2
Total	44

Personas

Para la segunda etapa se contrató a un total de 33 personas por turno, un total de 69, las que se despliegan de la siguiente manera:

Tabla 10. *Personal Etapa 2*

Cargo	Número
Superintendente	1
Coordinador	2
Asistente Administrativa	2
Bodeguero	2
Ingeniero de control de calidad	2
Técnico control de calidad	4
Control de Documentos	2
Ayudante de Laboratorio	6
Topógrafo	2
Ayudante de topografía	2
Ingeniero Senior	2

Cargo	Número
Ingeniero QA	4
Capataz	4
Operadores	22
Obreros	12
Total	69

4.1.2.3. Costos

Presupuestado

Para la segunda etapa se presupuestó un total de \$13,311,805, los cuales están desglosados de la siguiente manera:

Tabla 11. *Presupuesto Etapa 2*

Descripción	Valor
Equipos	4,839,330
Ingeniería	1,029,090
Materiales	4,694,082
Personal	768,320
Logística	1,421,928
Combustible	559,055
Total	13,311,805

Gasto Real

Para la segunda etapa tuvo un gasto real de \$14,335,933, como se puede observar en la tabla siguiente:

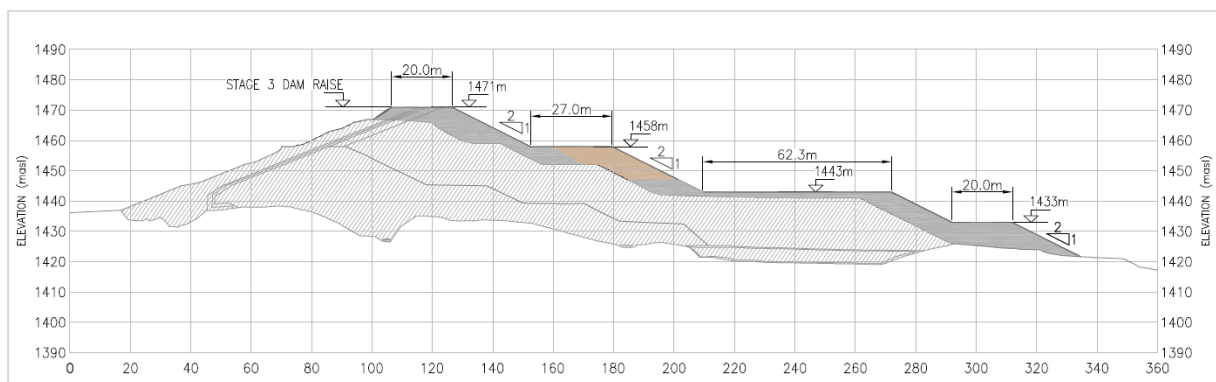
Tabla 12. *Gasto real Etapa 2*

Descripción	Valor
Equipos	3,857,278
Ingeniería	646,819
Materiales	7,258,474
Personal	686,118
Logística	1,284,398
Combustible	602,846
Total	14,335,933

4.1.3. Etapa 3

4.1.3.1. Diseño

Para la tercera etapa se programó el recrecimiento hasta una elevación de 1471 msnm y su construcción duró ocho meses.

Figura 23. *Diseño Etapa 3*

Para la segunda etapa de acuerdo con el diseño se proyectó los siguientes volúmenes de materiales:

Tabla 13. *Volumen proyectado Etapa 3*

Material	Volumen [m3]
Zona 1	19,680
Zona 2	5,160
Zona 3	8,000
Zona 4	8,570
Zona 5	623,760
Zona 5A	11,480
Total	676,650

4.1.3.2. Recursos

Materiales

En el tercer recrecimiento se tuvo los siguientes volúmenes de materiales:

Tabla 14. *Volumen colocado Etapa 3*

Material	Volumen [m3]	Volumen diario [m3/día]
Zona 1	16,346	540
Zona 2	6,904	125
Zona 3	9,476	125
Zona 4	8,176	225
Zona 5	829,779	4,090
Zona 5A	21,375	370
Total	892,056	5,475

Maquinaria

Para la tercera etapa se utilizaron los siguientes equipos:

Tabla 15. *Maquinaria usada Etapa 3*

Equipo	Unidades
Rodillo	2
Bulldozer	2
Miniexcavadora	1
Excavadora	7
Volqueta	31
Iluminaria	4
Compactadora	2
Total	49

Personas

La tercera etapa se contrató a un total de 41 personas por turno, un total de 81, las que se despliegan de la siguiente manera:

Tabla 16. *Personal Etapa 3*

Cargo	Número
Superintendente	1
Supervisor TSF	2
Asistente Administrativa	2
Bodeguero	2
Supervisor Senior QAQC	2
Técnico de Laboratorio	4
Control de Documentos	2
Ayudante de Laboratorio	6
Topógrafo	2

Cargo	Número
Ayudante de topografía	4
Ingeniero Senior	2
Ingeniero QA	4
Capataz	8
Operadores	25
Obreros	15
Total	81

4.1.3.3. Costos

Presupuestado

Para la tercera etapa se presupuestó un total de \$19,313,482, como se puede observar en la tabla:

Tabla 17. *Presupuesto Etapa 3*

Descripción	Valor
Equipos	5,965,045
Ingeniería	1,031,240
Materiales	6,862,169
Personal	1,852,392
Logística	2,407,095
Combustible	1,195,541
Total	19,313,482

Gasto Real

Para la tercera etapa se gastó un total de \$21,646,841, en la siguiente tabla se encuentran los valores desglosados:

Tabla 18. *Costos reales Etapa 3*

Descripción	Valor
Equipos	7,271,063
Ingeniería	927,846
Materiales	8,777,976
Personal	1,373,400
Logística	1,470,520
Combustible	1,826,036
Total	21,646,841

4.2. Análisis

4.2.1. Materiales

4.2.1.1. Etapa 1

En la tabla siguiente se puede ver una comparación entre el volumen planificado y el colocado en la Etapa 1.

Claramente se observa que el volumen colocado es mayor al planificado en todos los materiales, resaltando que en Zona 1 se colocó más del doble de material planificado.

Tabla 19. *Volumen proyectado vs colocado Etapa 1*

Material	Volumen planificado [m3]	Volumen colocado [m3]	Variación de volumen [m3]	% de varianza
Zona 1	20,400	43,413	23,013	113%

Material	Volumen planificado [m3]	Volumen colocado [m3]	Variación de volumen [m3]	% de varianza
Zona 2	4,350	6,842	2,492	57%
Zona 3	9,790	11,572	1,782	18%
Zona 4	10,190	14,930	4,740	47%
Zona 5	418,100	573,902	155,802	37%
Zona 5A	19,800	21,110	1,310	7%
Total	482,630	671,769	189,139	39%

Durante toda la primera etapa con respecto a los materiales se tuvo un 39% más volumen colocado que el presupuestado.

La principal razón del mayor volumen colocado de Z1 en comparación con el planificado se debe a una mala planificación debido a que no se consideró el factor de esponjamiento del material.

La explicación principal para los materiales Z2 y Z4 fue de igual manera el factor del esponjamiento y mayor uso de estos en los drenajes instalados.

4.2.1.2. Etapa 2

En la tabla siguiente se puede se tiene una comparación entre el volumen planificado y el colocado en la Etapa 2.

Claramente se observa que el volumen colocado es mayor al planificado en casi todos los materiales, a excepción de la Zona 5ª. Al igual que en la Etapa 1 se colocó más del doble de material de Zona 1.

Tabla 20. Volumen proyectado vs colocado Etapa 2

Material	Volumen planificado [m3]	Volumen colocado [m3]	Variación de volumen [m3]	% de varianza
Zona 1	10,600	25,867	15,267	144%
Zona 2	2,520	3,740	1,220	48%
Zona 3	6,380	6,814	434	7%
Zona 4	8,080	10,155	2,075	26%
Zona 5	428,550	651,055	222,505	52%
Zona 5A	12,900	10,683	-2,217	-17%
Total	469,030	708,314	239,284	51%

En la segunda etapa con respecto a los materiales se tuvo un 51% más volumen colocado que el presupuestado

De igual manera que en la Etapa 1, el factor principal que afecto a la mayor necesidad de material que el presupuestado fue el factor de esponjamiento, lo que obligo a colocar más material del requerido.

Para los materiales Z2 y Z4, el aumento se debe a su mayor colocación en los drenajes que se instalaron dentro de la presa. Para el material Z5, el exceso se debe a una planificación conservadora, dentro de la cual no se tuvo en cuenta la presencia de material de mala calidad, que no pase las pruebas de laboratorio y se deba remover para colocar mejor material.

4.2.1.3. Etapa 3

En la tabla siguiente se puede se tiene una comparación entre el volumen planificado y el colocado en la Etapa 3.

En esta etapa se observa un cambio con respecto en las anteriores, especialmente en la colocación de Zona 1, que fue menor al planificado. En las 2 etapas previas siempre fue mayor al doble de planificado, pero para la tercera se optimizó.

Tabla 21. *Volumen proyectado vs colocado Etapa 3*

Material	Volumen planificado [m3]	Volumen colocado [m3]	Variación de volumen [m3]	% de varianza
Zona 1	19,680	16,346	-3,334	-17%
Zona 2	5,160	6,904	1,744	34%
Zona 3	8,000	9,476	1,476	18%
Zona 4	8,570	8,176	-394	-5%
Zona 5	623,760	829,779	206,019	33%
Zona 5A	11,480	21,375	9,895	86%
Total	676,650	892,056	215,406	32%

En la tercera etapa se colocó un 32% más de volumen que el presupuestado.

El material Z3 fue mayor debido a que se necesitó colocar más en los drenajes de lo previsto.

El material Z1 tiene el mayor ahorro debido a que para evitar lo sucedido en las Etapas 1 y 2, se calculó el esponjamiento mejor manera y se agregó un porcentaje adicional en caso de que se sature por las lluvias y no se pueda usar.

El material Zona 5A es el que presenta la mayor varianza con casi el doble de material colocado que el planificado, esto se debe a un mal diseño inicial que no considero zonas donde se lo colocaría.

4.2.2. Costos

4.2.2.1. Etapa 1

En la tabla siguiente se puede observar la comparación del presupuesto con el gasto real durante la Etapa 1, resaltan los campos de personal y combustible que los gastos finales fueron significativamente menores a los presupuestados.

Tabla 22. Costos presupuestados vs reales Etapa 1

Descripción	Presupuesto	Gasto Real	Variación de costos	% de varianza
Equipos	4,811,073	4,901,419	90,346	2%
Ingeniería	975,620	993,041	17,421	2%
Materiales	5,171,364	7,537,792	2,366,427	46%
Personal	426,461	584,413	157,952	37%
Logística	1,190,051	1,260,916	70,865	6%
Combustible	352,237	582,341	230,104	65%
Total	12,926,806	15,859,922	2,933,115	23%

Los gastos de combustible representan en porcentaje la mayor varianza durante la primera etapa, esto se debe claramente a la variación de los precios de Diesel, los mismos fueron mayores que los presupuestados inicialmente, y que a lo largo del año fueron incrementándose.

El gasto de personal se debe a que se necesitó más personal del que se tenía planificado inicialmente, esto debido a los trabajos adicionales que se realizaron y a la poca experiencia del personal inicial, lo que forzó a la empresa a contratar más personal capacitado.

Adicional de acuerdo con lo observado en el análisis de materiales, el volumen de Zona 1 fue más del doble de lo planificado, lo que afecta directamente al costo total de materiales.

4.2.2.2. Etapa 2

Como se observa en la tabla siguiente, la mayoría de los gastos fueron menores a los presupuestados, a excepción de los materiales que fueron mayores.

Tabla 23. *Costos presupuestados vs reales Etapa 2*

Descripción	Presupuesto	Gasto Real	Variación de costos	% de varianza
Equipos	4,839,330	3,857,278	-982,052	-20%
Ingeniería	1,029,090	646,819	-382,271	-37%
Materiales	4,694,082	7,258,474	2,564,392	55%
Personal	768,320	686,118	-82,202	-11%
Logística	1,421,928	1,284,398	-137,530	-10%
Combustible	559,055	602,846	43,791	8%
Total	13,311,805	14,335,933	1,024,128	8%

En la segunda etapa se presupuestó de mejor manera los valores en comparación con la primera, únicamente los materiales se encontraron con una varianza considerable, siendo Z1 el mayor responsable como sucedió en la Etapa 1.

El mayor ahorro se tuvo en la Ingeniería, muchos trabajos se decidieron realizar internamente dentro del área y evitar usar a la empresa contratista para estos.

4.2.2.3. Etapa 3

En la Etapa 3 la mayoría de los gastos fueron menores a los presupuestados, al igual que en la Etapa 2, con la excepción del combustibles, equipos y materiales, cuyos gastos fueron más elevados a lo presupuestado.

Tabla 24. Costos presupuestados vs reales Etapa 3

Descripción	Presupuesto	Gasto Real	Variación de costos	% de varianza
Equipos	5,965,045	7,271,063	1,306,018	22%
Ingeniería	1,031,240	927,846	-103,394	-10%
Materiales	6,862,169	8,777,976	1,915,807	28%
Personal	1,852,392	1,373,400	-478,992	-26%
Logística	2,407,095	1,470,520	-936,575	-39%
Combustible	1,195,541	1,826,036	630,495	53%
Total	19,313,482	21,646,841	2,333,359	12%

De igual manera que en la etapa 1, los costos de combustible son los que presentan la mayor varianza, debido a que existieron problemas políticos dentro del país lo que hizo que los precios aumentaran y de esta manera el valor que se tenía presupuestado inicialmente fue menor al real.

Se tuvo un mayor gasto en equipos debido a que se tuvo que realizar trabajos adicionales que no estaban considerados, como la construcción de una escombrera temporal.

En cuanto a los materiales se tuvo valores más elevados que los planificados, pero la varianza fue menor en comparación que las etapas anteriores debido a que el

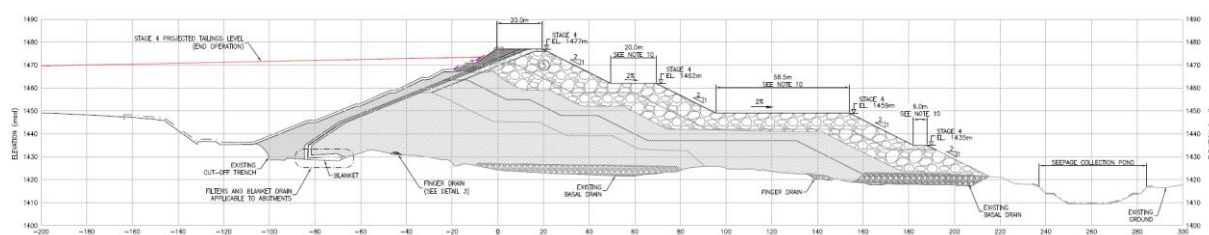
volumen de Zona 1 fue menor al proyectado, siendo este el que más costo representa en comparación de los demás materiales.

Como se tuvo menor consumo de materiales, también se tuvo menos consumo en la logística para su ingreso al proyecto y al terminar antes de lo esperado la construcción mucho personal salió antes de tiempo, dando lugar al ahorro de persona.

4.2.3. Análisis final

La cuarta etapa está prevista a inicial a fines del año para lo cual se tiene previsto llegar a una elevación de 1,477 msnm, 6 metros adicionales a los obtenidos en la Etapa 3.

Figura 24. Etapa 4



Para esta etapa se tiene planificado colocar los siguientes volúmenes de materiales.

Tabla 25. Volumen proyectado Etapa 4

Material	Volumen [m3]
Zona 1	25,810
Zona 2	6,360
Zona 3	8,025
Zona 4	6,430
Zona 5	632,700
Zona 5A	20,110
Total	699,435

Como se puede observar la Etapa 4 tiene volúmenes similares a los de la Etapa 3, con la diferencia que el material Zona 5A casi se duplica debido a las zonas adicionales donde se lo va a colocar.

Se tiene planificado un tiempo similar a la de la tercera etapa de aproximadamente 8 meses de construcción.

De acuerdo a que esta Etapa es similar a la Etapa 3, se tiene planificado el mismo número de personal e igual número de equipos, con los valores con el material proyectado para esta nueva etapa, el presupuesto sería de \$20,088,176 como se observa en la tabla:

Tabla 26. *Presupuesto Etapa 4*

Descripción	Valor
Equipos	6,369,800
Ingeniería	1,031,240
Materiales	7,232,108
Personal	1,852,392
Logística	2,407,095
Combustible	1,195,541
Total	20,088,176

Se puede concluir que la programación realizada para las Etapas iniciales fue muy conservadora, debido a esto se tuvo una gran diferencia de material colocado con el presupuestado.

También un valor que fluctuó mucho y fue uno de los más afectados es el precio del combustible, el valor del Diésel no se puede definir con precisión ni pronosticar

exactamente cuál sería en el futuro, debido a los cambios políticos que se encuentra atravesando el País.

Los equipos que se contrataron son uno de los ítems que más costo representan en la construcción, al ser maquinaria pesada se requiere un mantenimiento constante por las condiciones donde operan, adicional los operadores deben estar capacitados para manejar el equipo y contar con la licencia vigente correspondiente.

De acuerdo a esto se definió los siguientes tres puntos principales donde se propondrá las mejoras para los siguientes recrecimientos: Maquinaria y personal, diseño y proyección, y materiales.

4.3. Diseño de Mejora

De acuerdo a lo analizado en los puntos anteriores, se van a desarrollar propuestas en tres puntos específicos, maquinaria y personal, diseño y proyección, y materiales.

4.3.1. Maquinaria

4.3.1.1. Reducción de maquinaria:

En las etapas anteriores se tiene un total de 27 volquetas para trasladar el material a la presa, cada una de estas tiene una capacidad de 12 m³ de carga.

Existen volquetas con mayor capacidad, de 24 m³, las mismas que reducirían los viajes que deben realizar y por ende el número de equipos necesarios.

Con esto se puede reducir el valor total en un 8% del costo total y mejorar el rendimiento diario en un 25%.

Cabe destacar que para llevar a cabo esto es necesario llevar a cabo un dialogo extenso con la comunidad y las empresas contratistas, debido a se puede tener los

conflictos debido a que se reducen los equipos contratados, y personas van a dejar de tener esos ingresos.

Para las etapas siguientes se seguiría contando con un mínimo de 31 volquetas por etapa, de acuerdo a los volúmenes el número de estas se incrementaría a medida que se aumenta la elevación.

Por tal motivo si se incluyen al menos 6 volquetas de 24 m³, estas podrían mover un volumen de 130 mil m³ de material.

Tabla 27. *Comparación valores volquetas*

Equipo	Unidades	Costo por Hora	Costo por equipos
Volqueta 12 tons	12	50	600
Volqueta 24 tons	6	70	420

Se tendría un ahorro de 180 \$/hora, un 30 % en comparación a etapas anteriores, manteniendo el mismo volumen de material.

Tabla 28. *Valores ahorrados volquetas*

Descripción	Costo por equipos	Horas estimadas	Total
Ahorro	180	3,200	576,000

Figura 25. Volqueta 24 m³

De acuerdo con el presupuesto para la Etapa 4, con el cambio de las 12 volquetas por 6 de 24 m³, se tuviera un ahorro de \$576,000, lo que equivale a un 9% del total.

4.3.1.2. Uso de Maquinaria Agrícola

Cuando se habla de material Z1 como una mezcla de saprolita con cemento, se lo hace en el lugar con el uso de una pala para mezclar el cemento con el suelo y cargarlo a una volqueta.

Para reducir el uso de la pala para hacer la mezcla, se puede utilizar un equipo de maquinaria agrícola de labranza para que la mezcla sea realizada en el lugar donde se descarga el material, es decir en la presa en sí. De esta forma solo se descarga el material y el cemento y el tractor agrícola pasa arando y mezclando estos materiales, formando la mezcla necesaria para que luego el rodillo pase compactando el sitio.

La pala puede pasar a realizar actividades más importantes dentro de la presa y se logra optimizar una tarea que usualmente toma bastante tiempo y no se tiene el control adecuado cuando se mezcla.

El tiempo de alquiler del tractor agrícola sería poco, debido a que solo se usa para la cresta de la presa, al comparar con el ahorro que se tendrá por las horas de la excavadora y volqueta se puede observar claramente el beneficio.

Equipo	Unidades	Costo por Hora	Costo por equipos
Excavadora	1	58	58
Volqueta	1	50	50
Tractor Agrícola	1	35	35

Se tiene un ahorro de 73 \$/hora al utilizar el tractor agrícola, un ahorro del 68%. Comparando con los valores de la etapa anterior se tendría un ahorro de 22 mil dólares por el uso del tractor agrícola, adicional del uso de la excavadora y volqueta en otras actividades.

Tabla 29. Valores ahorrados Tractor Agrícola

Descripción	Costo por equipos	Horas estimadas	Total
Ahorro	73	300	21,900

De acuerdo a lo comentado previamente el uso del tractor es poco en comparación al resto de equipos, pero al no ser difícil de operar no es necesario contratar a una persona adicional para el equipo.

Figura 26. *Tractor agrícola*

4.3.2. Diseño y proyección

4.3.2.1. Diseño de drenaje eficiente

Para la construcción de los drenajes, en todas las etapas anteriores se presentó el caso de que el volumen de material colocado fue mayor al planificado, el factor principal que ocasiono esto es el mal diseño previo que se hizo a los drenajes.

Los drenajes tuvieron que ser modificados durante cada recrecimiento por lo que el material proyectado inicialmente quedo corto.

Se tuvo en las tres etapas anteriores un 25% más de volumen de material colocado que el planificado, se considera los materiales Zona 2, Zona 3 y Zona 4.

Tabla 30. *Volúmenes para drenajes*

	Volumen [m3]	Volumen colocado	Varianza	%
Etapa 1	24,330	33,344	9,014	37%
Etapa 2	16,980	20,709	3,729	22%

Etapa 3	21,730	24,556	2,826	13%
Total	63,040	78,609	15,569	25%

Se propone incorporar un sistema de drenaje eficiente en el diseño para gestionar el agua dentro de la presa de relaves y reducir el riesgo de saturación y erosión, elaborado por la empresa contratista encargada del diseño.

Con esto no se presentaría tanta variación de los volúmenes proyectados y se tendría un ahorro de por lo menos el 10%, que es menos del exceso generado en la Etapa 3.

4.3.2.2. Modelación

Debido a ser un país joven en cuanto a minería se refiere, aún no se tiene toda la experiencia necesaria cuando se están desarrollando este tipo de construcciones.

Se tiene varios estudios y análisis realizados por diferentes empresas, con los que se ha llevado a cabo el diseño de la presa y que se tiene de base para las construcciones de todas las etapas.

Se propone utilizar herramientas de modelado y simulación avanzadas para prever el comportamiento de la presa bajo diferentes condiciones y cargas, lo que puede ayudar a optimizar el diseño y anticipar posibles problemas.

Al tener solo los estudios y análisis no se tiene una modelación y simulación propia y adaptada a la realidad, por lo que esto sería de gran ayuda para el proyecto actual y todos los futuros recrecimientos que se tenga.

4.3.3. Materiales

4.3.3.1. Evaluación de proveedores

Existieron algunos problemas y retrasos por la calidad del material, al no pasar las pruebas de laboratorio realizadas se tuvo que retirar el material y colocar uno que cumpliera con los requisitos establecidos.

Muchas veces el material saturado puede llevar a que no se supere las pruebas y se pueda ver afectada la resistencia de la presa, por lo que contar con un proveedor que pueda entregar material adecuado de forma continua es lo mejor.

Existen una gran cantidad de proveedores que pueden brindar el servicio, pero se propone seleccionar a los que han ofrecido mejores resultados a lo largo de las etapas de construcción previas, y dejar de contar con los que han tenido inconvenientes por el material.

4.3.3.2. Pruebas de laboratorio

Existen muchas pruebas que se llevan a cabo en estructuras de este tamaño, para determinar si la compactación de la tierra es la adecuada o si el material cumple con los requisitos mínimos establecidos.

Las pruebas se están llevando a cabo en sitio con personal interno, pero es tanta la cantidad que deben realizar que propongo utilizar una empresa externa para comparar los valores obtenidos y tener más datos que se pueden usar para tomar acciones inmediatas.

CAPÍTULO V SUGERENCIAS

Se sugiere llevar a cabo un estudio adicional sobre el tratamiento de los relaves, explorando diversos escenarios para su gestión y aprovechamiento. En la situación actual, los relaves se almacenan exclusivamente en la presa, pero existen oportunidades significativas para su tratamiento y utilización más eficaz. Entre las opciones a considerar se encuentran la recuperación de minerales valiosos contenidos en los relaves o su aprovechamiento como material de relleno en cámaras subterráneas. Este estudio adicional permitirá una toma de decisiones más informada y contribuirá a optimizar los recursos y la sostenibilidad del proyecto minero.

Se sugiere realizar un estudio adicional más detallado para evaluar exhaustivamente el impacto potencial de ajustar el factor de seguridad en el proceso de construcción de la presa. Este análisis permitiría comprender mejor cómo un aumento o disminución del factor de seguridad podría influir en el volumen necesario para futuras etapas del proyecto y en los costos asociados. Tal estudio brindaría una visión más precisa de las implicaciones financieras y de seguridad, lo que facilitaría la toma de decisiones informadas y la optimización de recursos en el proyecto de construcción de la presa de relaves.

Se sugiere explorar la posibilidad de adjudicar la totalidad del proceso de construcción a un contratista externo. Hasta la fecha, la empresa ha llevado a cabo todas las fases de construcción internamente, pero mediante un análisis de las diversas ofertas disponibles, podría evaluarse con mayor precisión si esta opción es viable y beneficioso para el proyecto. La externalización de la construcción a través de un contratista externo podría ofrecer ventajas significativas en términos de eficiencia, especialización y control de costos, lo que justifica una evaluación más profunda de esta alternativa.

Se debería llevar a cabo un análisis de todo el material de desecho que se generará a lo largo de todas las etapas de construcción. Este análisis debe incluir una evaluación de la capacidad actual de las escombreras existentes para el almacenamiento de dicho material. Se destaca la importancia de este análisis debido a experiencias previas en las que se tuvo que crear una nueva escombrera inesperada, utilizando equipos destinados originalmente para la construcción de la presa. Esta situación no solo incrementó el costo final del proyecto, sino que también representó un desvío no previsto en la planificación inicial. Un análisis de las necesidades de almacenamiento de desechos puede contribuir a una gestión más efectiva de los recursos y a la reducción de costos imprevistos en futuras etapas de construcción.

Se sugiere implementar una categorización más precisa y clara de los costos, tanto en términos de asignación a los centros de costos como de presentación. Actualmente, se observa que los valores se asignan a diferentes centros de costos, tanto relacionados con equipos como con personal, sin una presentación coherente y transparente. Esta falta de claridad podría dar lugar a confusiones y dificultades en el análisis económico del proyecto. Además, existe el riesgo de duplicación de costos o la omisión de valores cuando la asignación no se lleva a cabo de manera precisa. Esto podría afectar negativamente la integridad de los datos utilizados en el análisis económico, lo que a su vez podría influir en la toma de decisiones. Una categorización más rigurosa y una presentación transparente de los costos son esenciales para garantizar la precisión y la confiabilidad de los análisis económicos, lo que resultará en una gestión financiera más eficaz y en la toma de decisiones basadas en datos sólidos.

La construcción de una presa de relaves representa una inversión significativa en términos de recursos, tiempo y esfuerzos por parte de las empresas mineras. Además, está sujeta a rigurosos requisitos legales y ambientales, incluyendo el cumplimiento del plan de manejo ambiental. En este contexto, es imperativo que se preste una mayor atención a cada uno de los componentes que dentro de una presa de relaves. Uno de los aspectos críticos es la calidad del material utilizado en la construcción. Es fundamental que este material cumpla rigurosamente con todas las especificaciones establecidas por el diseñador de la presa. Garantizar la calidad del material es esencial para prevenir retrasos en la construcción y para asegurar que la presa cumpla con los estándares requeridos. Esta consideración minuciosa de los componentes es esencial para el éxito del proyecto y para el cumplimiento de las obligaciones legales y ambientales asociadas a la construcción de presas de relaves.

Es esencial que los equipos y el personal estén perfectamente alineados con la planificación del proyecto. Los retrasos que puedan surgir debido a la falta de capacitación o experiencia del personal para operar los equipos deben ser considerados desde el inicio del proyecto. La formación continua y periódica del personal es un pilar fundamental dentro de todas las empresas. La inversión en formación y desarrollo del personal no solo garantiza que estén equipados con las habilidades y conocimientos necesarios para llevar a cabo sus tareas de manera efectiva, sino que también contribuye a la seguridad, la eficiencia y el cumplimiento de los plazos del proyecto. Por tanto, la formación periódica debe ser una prioridad, ya que asegura que el personal esté siempre actualizado y preparado para afrontar los desafíos que surgen en la construcción de la presa de relaves.

Es importante destacar que la construcción de una presa de relaves involucra numerosos aspectos que, en este trabajo, no han sido abordados dentro de su

alcance. Entre estos aspectos se encuentran la instalación de geomembranas y los sistemas de instrumentación. La geomembrana, en particular, es un material crítico que a menudo se desperdicia durante la instalación y puede dar lugar a retrasos significativos debido a su método de instalación. Por lo tanto, se sugiere realizar futuros trabajos sobre este tema, ya que abordarlos adecuadamente puede mejorar la eficiencia y la gestión de proyectos de construcción de presas de relaves.

Cuando se aborda el tema de la instrumentación en el contexto de una presa, se debe destacar la presencia de instrumentos críticos para el monitoreo, como los piezómetros y acelerómetros. Estos dispositivos deben ser sometidos a un control y monitoreo constante para garantizar un análisis continuo de la integridad de la estructura de la presa. Este enfoque proactivo es esencial para detectar posibles problemas a tiempo y tomar medidas preventivas que eviten daños o incidentes que puedan afectar adversamente la presa y su funcionamiento. Por lo tanto, se recomienda un monitoreo riguroso y constante de estos instrumentos como una práctica fundamental en la gestión y seguridad de las presas de relaves.

CONCLUSIONES

Con el objetivo de mejorar la eficiencia, elevar los niveles de seguridad y optimizar la rentabilidad en un proyecto minero que abarca la construcción de una presa de relaves en esta región, se han desarrollado diversas propuestas estratégicas. Estas iniciativas están diseñadas para alcanzar una notable reducción del 10% en el costo total del proyecto, contribuyendo así a una gestión más eficiente y sostenible de los recursos y a la mejora del rendimiento económico en esta importante actividad minera.

Se identificó que dos factores fundamentales, la maquinaria y la planificación, ejercieron un impacto significativo en las etapas iniciales de construcción de la presa. Específicamente, se encontró que la planificación deficiente del material en las etapas 1 y 2 representó el factor principal detrás del exceso de presupuesto experimentado en dichas etapas. Este hallazgo subraya la importancia crítica de una planificación precisa y una gestión eficiente de los recursos para el éxito y la rentabilidad de proyectos similares en el futuro.

En el proceso de construcción de la presa de relaves, se ha adoptado el método de construcción aguas abajo, caracterizado por la edificación inicial de un muro de contención seguido de la progresiva colocación y compactación de material para su crecimiento. Al evaluar este enfoque en relación con los métodos alternativos, aguas arriba y combinado, se ha evidenciado que la correcta planificación y gestión de materiales antes de cada etapa, junto con la asignación adecuada de equipos para carga, transporte y compactación, se mantienen como factores críticos que impactan significativamente en la construcción en general y por lo que el método seleccionado es el adecuado.

Mediante la propuesta de cambiar de volquetas de 12 m³ a volquetas de 24 m³, se identificó la posibilidad de lograr una reducción significativa del 30% en los costos relacionados con la maquinaria, en comparación con la tercera etapa. Además de este beneficio económico, esta transición también permite aumentar la capacidad de transporte de material, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa al reducir la cantidad de equipos requeridos para la tarea. Este enfoque no solo optimiza los recursos disponibles, sino que también contribuye a una gestión más eficaz y sostenible de la construcción de la presa de relaves.

En el proceso de construcción de la presa, se observó que los aspectos más influyentes son la gestión de materiales y la disponibilidad de equipos, seguidos de cerca por la logística y la ingeniería. Se concluyó que existe el potencial de lograr una reducción de costos significativa, con la posibilidad de disminuir tanto los gastos en materiales como en equipos hasta en un 10% en comparación con la última etapa del proyecto. Esta optimización en la gestión de recursos no solo contribuye a una mayor eficiencia operativa, sino que también respalda la rentabilidad y sostenibilidad del proceso de construcción de la presa de relaves.

Se identificó que el principal cuello de botella radica en el transporte de material. Actualmente, el uso de volquetas de 12 m³ requiere la contratación de un mayor número de vehículos para el acarreo del material hacia la presa, lo que resulta en una prolongación del tiempo de operación, un aumento en la necesidad de personal y una disminución del rendimiento general del proyecto. En contraste, la adopción de volquetas de 24 m³ se ha revelado como una solución eficaz para mitigar este desafío, con la capacidad de reducir los costos totales en un 8% en comparación con la última etapa de construcción. Esta optimización no solo mejora la eficiencia operativa, sino

que también respalda la gestión más efectiva de recursos y el logro de los objetivos de construcción de la presa de relaves.

Se plantean diversas propuestas destinadas a mejorar y optimizar la producción en el proyecto, con el fin de asegurar un enfoque eficiente y rentable. Entre estas propuestas, se destaca la necesidad de llevar a cabo una evaluación exhaustiva de los proveedores de materiales, con el objetivo de identificar las fuentes que ofrezcan la mejor relación calidad-precio. Adicionalmente, se sugiere la implementación de pruebas de laboratorio realizadas por terceros para obtener una evaluación comparativa precisa de la conformidad de la construcción de la presa con las especificaciones mínimas requeridas. Esta medida garantiza la integridad estructural a largo plazo y reduce la probabilidad de problemas futuros en la presa, contribuyendo así a una gestión más efectiva y a la seguridad en la construcción del proyecto de la presa de relaves.

RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar la búsqueda de proveedores, diversificando las fuentes de abastecimiento. Esto permitirá disponer de una variedad más amplia de opciones para la selección de productos y servicios, lo que a su vez facilitará la obtención de los precios más competitivos del mercado. En muchos casos, la limitación en las opciones de proveedores se debe a la presión por parte de las comunidades para favorecer la adquisición de productos locales en lugar de buscar alternativas externas. Sin embargo, esta restricción en las opciones puede resultar en precios elevados en comparación con los del mercado más amplio, lo que aumenta los costos finales del proyecto. Por tanto, diversificar las fuentes de abastecimiento puede contribuir a la optimización de costos y a la eficiencia en la gestión de recursos.

Es fundamental llevar a cabo un análisis exhaustivo del impacto ambiental generado por la construcción de la presa de relaves, abordando tanto los aspectos constructivos como el almacenamiento a cielo abierto de los relaves. Obtener datos precisos sobre el impacto actual en el medio ambiente y proyectar los posibles efectos futuros es esencial. Estos resultados deben ser comunicados de manera transparente y efectiva tanto al personal de la empresa como a las comunidades cercanas. La divulgación de esta información ambiental proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas y fomenta la responsabilidad ambiental. Al compartir estos datos con todas las partes interesadas, se promueve un mayor compromiso con la gestión sostenible del proyecto y se fortalecen las relaciones con la comunidad, contribuyendo a un enfoque más integral y responsable hacia el medio ambiente en la construcción de la presa de relaves.

Se recomienda realizar mejoras en las escombreras existentes y llevar a cabo una revisión exhaustiva de sus capacidades máximas. Esto permitirá determinar si

estas instalaciones son adecuadas para la disposición de los materiales resultantes de la construcción de la presa o si es necesario considerar la creación de nuevas escombreras. La optimización de las escombreras actuales y la evaluación de su capacidad son esenciales para garantizar una gestión eficiente de los residuos generados durante el proyecto. Además, esta medida contribuirá a evitar posibles desafíos y retrasos asociados con la disposición de materiales y garantizará que se cumplan los requisitos legales y ambientales pertinentes en relación con la gestión de desechos de construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- Alberruche, E. (2015). *La gestión del riesgo de las estructuras de residuos mineros en la minería abandonada*. Madrid, España: Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- Alfonso, M., López, O., Martínez, P., Teherán, R., Barragán, N., & Meneses, R. (2021). *Propuesta de Lineamientos Técnicos de Política de Buenas Prácticas para Estandarizar los procesos relacionados con Presas de Relaves*. Colombia: Ministerio de Minas y Energía, Dirección de Minería Empresarial, Asesorías Técnicas Geológicas ATG Ltda.
- Arboleda, G. (2013). *Proyectos: Identificación, formulación, evaluación y gerencia*. Bogotá: Alfaomega.
- ATG LTDA. (2020). *Propuesta de Lineamientos Técnicos de Política de Buenas Prácticas para Estandarizar los procesos relacionados con Presas de Relaves*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Minas y Energía. Gobierno de Colombia.
- Buendía, R., Cárdenas, T., Caceres, C., Díaz, R., & Vara, K. (2020). *Construcción e implementación del recrecimiento de la presa de relaves en mina de cobre y zinc del distrito de San Marcos para la empresa Minera S.A.* Lima: Universidad ESAN.
- Consejo Minero. (2022). *Plataforma de Relaves*. Obtenido de Consejo Minero: <https://consejominero.cl/comunicaciones/plataforma-de-relaves/>
- De la Cruz, S. E. (2017). *Evaluación del Fallo de Presas de Relaves con el Método del Árbol de Fallos*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía.

- De Solminihaç, H., & Thenoux, G. (1977). *Procesos y Técnicas de Construcción*. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile. Quinta edición.
- Hernández, C. (2014). *La metodología Lean Seis Sigma, sus Herramientas y Ventajas*. Veracruz, Mexico: Universidad Veracruzana. Facultad de Estadística e Informática Xalapa.
- Hernández, T., & Guardado, R. (2010). *Funcionamiento y Mecanismos de Rotura en Presas de Relaves Mineros: Estudio de Caso la Presa de Colas de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba de Moa*. Cusco: Sociedad Geológica del Perú, Pub. Esp. N° 9. XV Congreso Peruano de Geología.
- Herrera, J. (2017). *Introducción a la Minería. Conceptos, tecnologías y procesos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S. de Ingenieros de Minas y Energía.
- Martínez, C. (2002). *Evaluación Económica e Inversión sobre un Condominio Horizontal en la Delegación Álvaro Obregón*. México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2018). *Anexo II. Guía Técnica para la Presentación de Proyectos de Diseño de los Depósitos de Relaves*. Quito, Ecuador: Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables.
- Navarro, E., Gisbert, V., & Pérez, A. (2017). *Metodología e Implementación de Six Sigma*. Valencia, España: 3C Empresa, Edición Especial.
- Pinto, J. (2015). *Gerencia de Proyectos*. Bogotá: Pearson. Tercera edición.
- Project Management Institute. (2017). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos*. Pennsylvania: Independent Publishers Group. Sexta Edición.

Ramírez, N. (2007). *Guía Técnica de Operación y Control de Depósito de Relaves*.

Santiago de Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería. Departamento de Seguridad Minera.

Rico, M., Benito, G., Salguero, A., Díez-Herrero, A., & Pereira, H. (2008). *Reported Tailings Dam Failures. A review of the European incidents in the worldwide context*. Madrid. España: CSIC-Instituto Pirenaico de Ecología.

Tailings.Info. (20 de Julio de 2012). Obtenido de Conventional Impoundment Storage - The current techniques: <https://tailings.info/disposal/conventional.htm>

ANEXOS

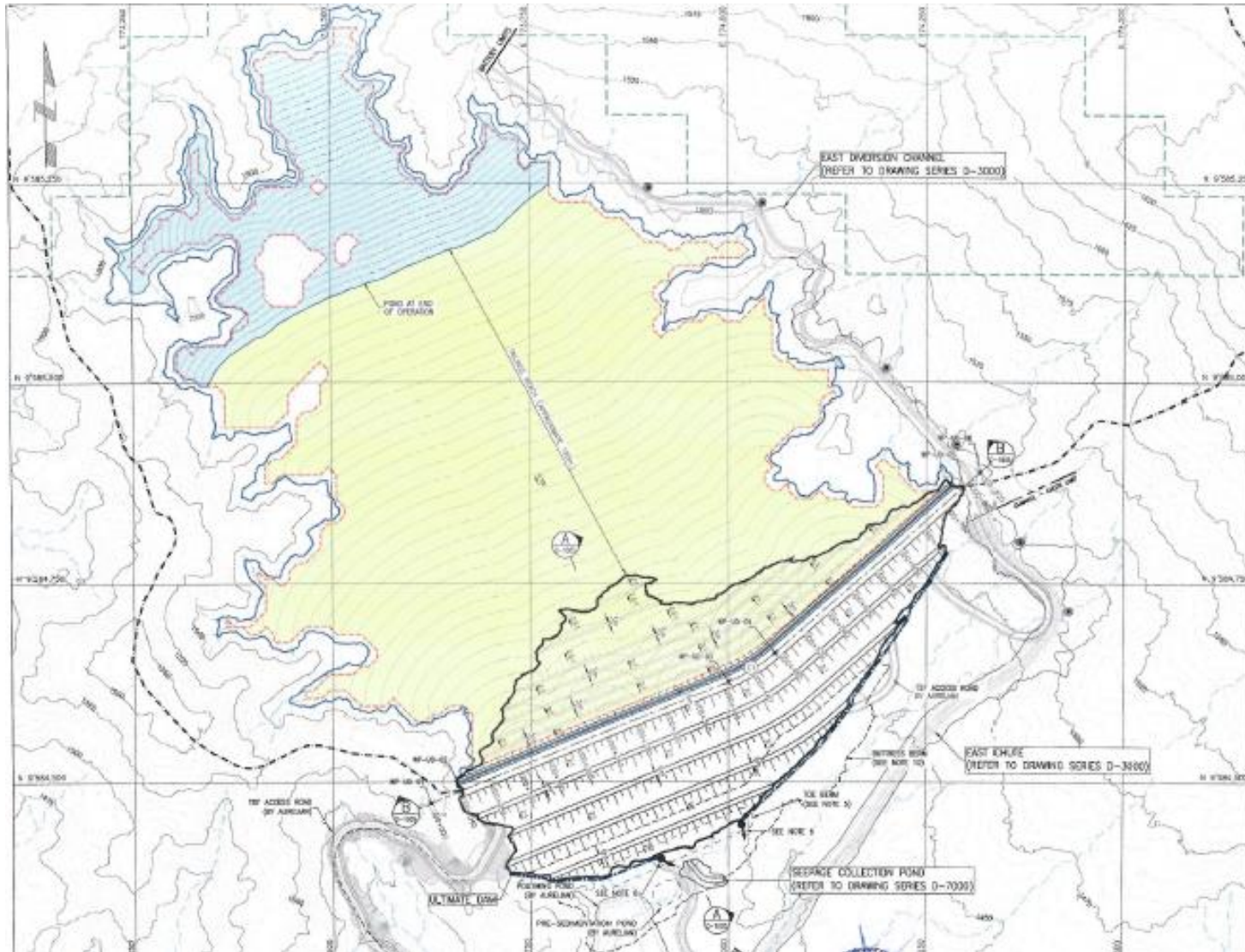
Anexo I. Materiales finales Presa de Relaves

Material	Volumen [m3]
Zona 1	151,377
Zona 2	41,180
Zona 3	57,716
Zona 4	185,500
Zona 5	2,958,069
Zona 5A	200,800

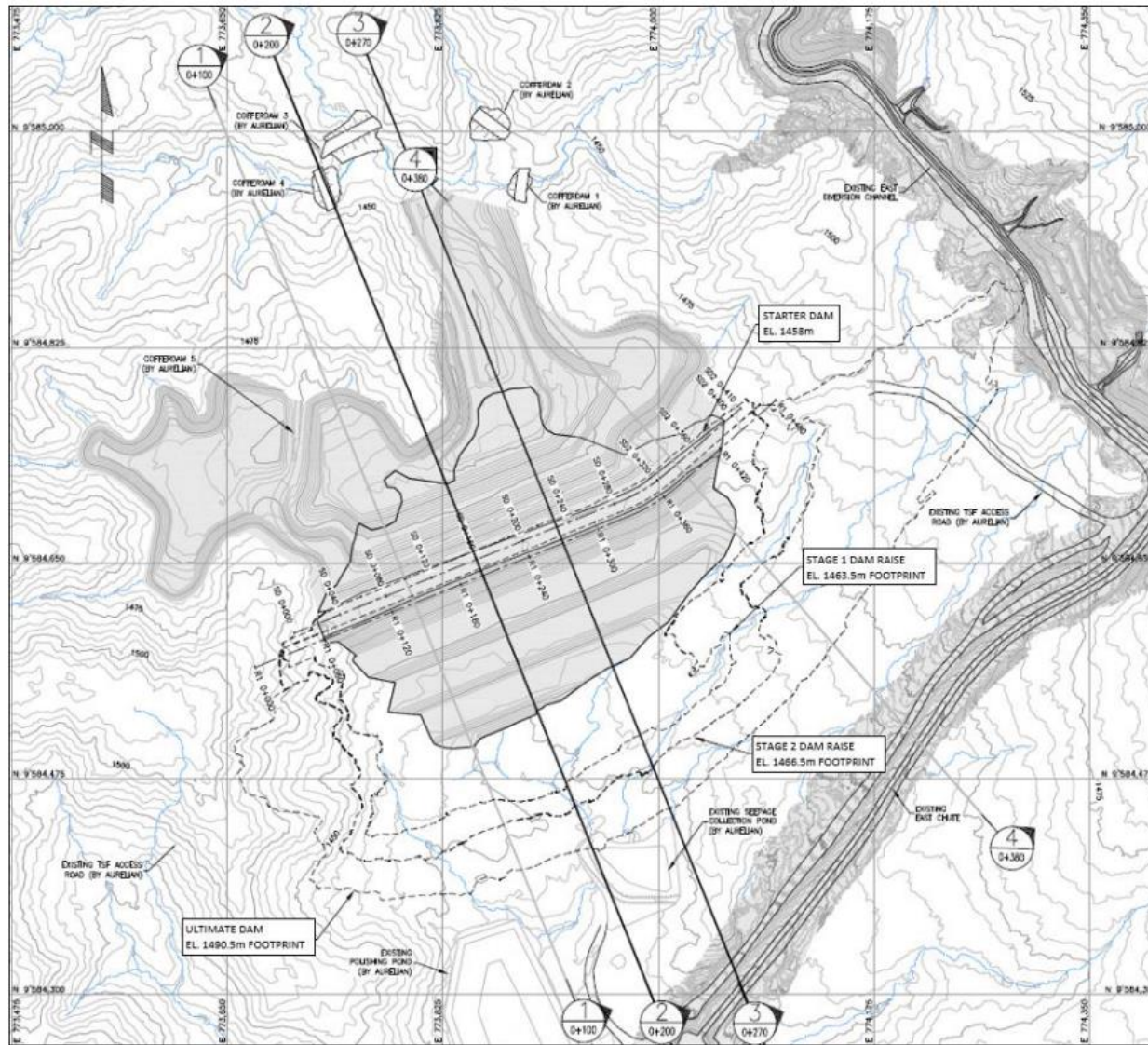
Anexo II. Costos por Materiales

Material	Costo por m3	%
Zona 1	33.65	28%
Zona 2	24.80	21%
Zona 3	30.14	25%
Zona 4	13.37	11%
Zona 5	8.99	7%
Zona 5A	9.43	8%
Total	120.399	

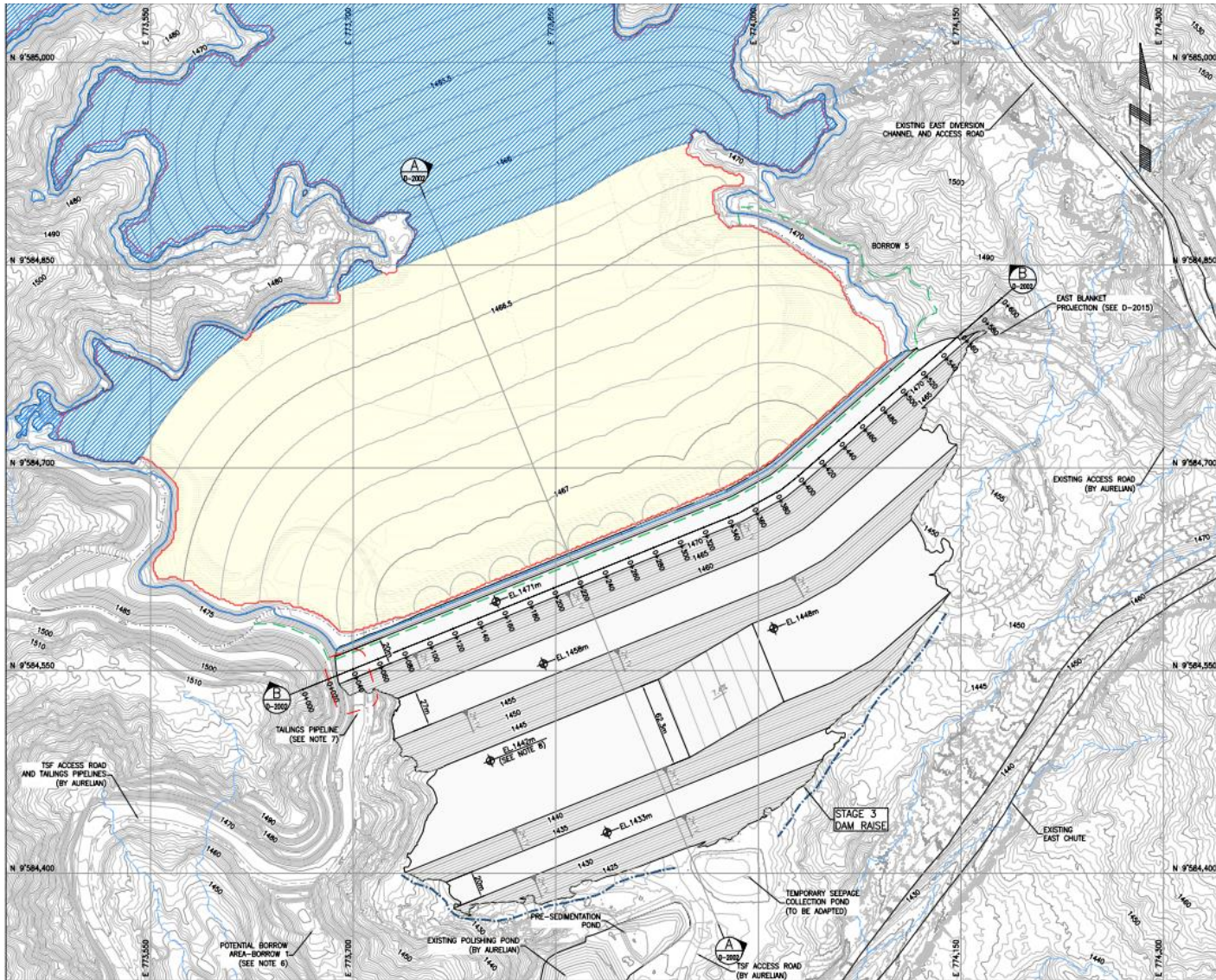
Anexo III. Diseño Final Presa de Relaves



Anexo IV Diseño Etapas 1 y 2



Anexo V. Diseño Etapa 3



Anexo VI. Granulometrías materiales

