



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MAGISTER EN SISTEMAS DE GESTION AMBIENTAL.**

**MANEJO, GESTIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS
RELAVES GENERADOS POR EL BENEFICIO DEL MINERAL
OBTENIDO DE LA EXPLOTACIÓN DEL PROYECTO RÍO BLANCO**

AUTOR: ESPÍN PACHECO, DAMIÁN ANDRÉS

DIRECTOR: Dr. JARRÍN JURADO, JAIME PhD.

SANGOLQUÍ

2018



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO: CIENCIAS DE LA TIERRA Y AMBIENTE

CARRERA: MAESTRIA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación denominado; **“MANEJO, GESTIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RELAVES GENERADOS POR EL BENEFICIO DEL MINERAL OBTENIDO DE LA EXPLOTACIÓN DEL PROYECTO RÍO BLANCO”** realizado por el señor Ing. **DAMIÁN ANDRÉS ESPÍN PACHECO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, enero de 2018



Dr. Jaime Jarrín Jurado PhD.
DIRECTOR DE TESIS
CC: 1000972701



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO: CIENCIAS DE LA TIERRA Y AMBIENTE

CARRERA: MAESTRIA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **DAMIÁN ANDRÉS ESPÍN PACHECO**, con cedula de ciudadanía N° 1720080348, declaro que este trabajo de titulación “**MANEJO, GESTIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RELAVES GENERADOS POR EL BENEFICIO DEL MINERAL OBTENIDO DE LA EXPLOTACIÓN DEL PROYECTO RÍO BLANCO**” es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, enero de 2018

ING. DAMIÁN ANDRÉS ESPÍN PACHECO

AUTOR

CC: 1720080348



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO: CIENCIAS DE LA TIERRA Y AMBIENTE

CARRERA: MAESTRIA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

AUTORIZACIÓN

Yo, **DAMIÁN ANDRÉS ESPÍN PACHECO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**MANEJO, GESTIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RELAVES GENERADOS POR EL BENEFICIO DEL MINERAL OBTENIDO DE LA EXPLOTACIÓN DEL PROYECTO RÍO BLANCO**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, enero de 2018

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal.

ING. DAMIÁN ANDRÉS ESPÍN PACHECO

CC: 1720080348

DEDICATORIA

Este trabajo académico lo dedico de todo corazón a mis padres, novia y sobrinas ya que con su apoyo y compañía he logrado culminar esta nueva meta profesional.

A mi familia, amigos y compañeros de maestría que también han tenido una participación fundamental en la consecución de esta meta profesional.

AGRADECIMIENTO

Profundo e infinita gratitud con todas las fuerzas de mi corazón a la Existencia Divina por haberme brindado salud, vida y energía a la vez sentirme plenamente bendecido por todos los momentos que he podido experimentar en todo el transcurso de mi vida.

A mi madre Sarita que gracias a su dedicación, amor y cariño; me ha dado la fuerza para seguir adelante en la vida, de igual manera a mi padre Wilson, quien gracias a tu tesón, rectitud, responsabilidad y buen consejo que me encaminaron para ser una persona con valores y convicciones firmes para proceder a actuar con sentimientos de justicia, paz, y solidaridad.

A mi enamorada Paola quien ha traído a mi vida mucha felicidad y plenitud gracias a su compañía y apoyo invaluable, convirtiéndose en mi principal fuente de motivación e inspiración.

A mis hermanos Wagner y Santiago que también gracias a su apoyo ayudaron a la realización de este objetivo; a mis sobrinas bellas, que me motivan a superarme cada día y ser un ejemplo para ellas.

A mí tío Manuel, que gracias a sus ocurrencias y locuras hizo que el camino hacia este objetivo se hiciera más alegre y espontáneo. A mí cuñada Mayra que también ayudó en la consecución de este objetivo.

Agradezco de manera especial la colaboración valiosa del Dr. Jaime Jarrin quien fue fundamental para concebir y concretar la realización del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE FIGURAS	xi
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	xiv
RESUMEN EJECUTIVO.....	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del Problema	3
1.3 Justificación e importancia	4
1.4 Hipótesis	5
1.5 Interrogantes de la Investigación	5
1.6 Objetivos de la Investigación.....	6
1.6.1 Objetivo General.....	6
1.6.2 Objetivos Específicos	6
1.7 Factibilidad y Accesibilidad a la información	7
CAPÍTULO II.....	8
2 MARCO TEÓRICO	8
2.1 Marco Institucional.....	8
2.2 Marco Legal.....	8

2.3 Marco Ético.....	13
2.4 Datos generales del proyecto.....	13
2.4.1 Antecedentes.....	13
2.4.2 Ubicación geográfica y accesibilidad.....	14
2.4.3 Contexto de las Concesiones del Proyecto Minero	15
2.4.4 Geología y Geomorfología del área de Estudio.....	17
2.4.4.1 Geología del Distrito Río Blanco.....	18
2.4.4.2 Características del yacimiento.....	20
2.4.4.3 Distribución geológica del yacimiento.....	23
2.4.4.4 Calidad de mineral.....	24
2.4.4.5 Infraestructura del Proyecto Rio Blanco	25
2.4.4.6 Explotación minera subterránea.....	27
2.4.4.7 Beneficio del mineral	29
2.4.4.8 Geología del Sitio de Relaves.....	29
2.4.4.9 Geología ambiental del proyecto minero	31
2.5 Relaves Mineros	32
2.6 Propuesta Metodológica de Gestión, Manejo, Tratamiento y Disposición Final.....	36
CAPÍTULO III.....	39
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXPLOTACIÓN Y BENEFICIO A REALIZARSE EN EL PROYECTO MINERO RÍO BLANCO.....	39
3.1 Sistema de Explotación y transporte de la mina	39
3.1.1 Condiciones técnicas del depósito mineral.....	41
3.1.1.1 Condiciones hidrogeológicas.....	41
3.1.1.2 Características geotécnicas del yacimiento mineral	42
3.1.2 Cuantificación de reservas mineras.....	43
3.1.3 Diseño del sistema de explotación	45
3.1.3.1 Recursos y Reservas utilizadas en este diseño	45

3.1.3.2 Capacidad de producción de la mina.....	45
3.1.3.3 Condiciones técnicas de la explotación	46
3.1.3.4 Plan de desarrollo y minado	47
3.1.3.5 Plan de desarrollo mediante socavón + rampa de retorno	48
3.1.3.6 Sistema de Ore Pass.....	49
3.1.3.7 Cronograma de desarrollo (construcción de la Mina)	49
3.1.3.8 Ventilación de la mina.....	50
3.1.3.9 Drenaje de la mina.....	50
3.1.4 Método de minado.....	51
3.1.4.1 Secuencia de minado	51
3.1.4.2 Descripción del método de minado.....	51
3.1.4.3 Método y secuencia de minado	52
3.1.5 Carga y transporte de minerales	53
3.2 Proceso de Beneficio para el mineral obtenido de la explotación del mineral del proyecto minero.....	53
3.2.1 Pruebas de beneficio e indicadores de proceso	53
3.2.2 Procesos seleccionados para el beneficio del mineral	54
3.2.2.1 Determinación de procesos del beneficio	54
3.2.3 Distribución de la planta de beneficio	56
3.2.3.1 Composición de la planta	56
3.2.3.2 Características de diseño de la planta.....	57
3.2.4 Distribución de los dispositivos y procesos en la planta	57
3.2.4.1 Disposición del equipo de trituración y cribado.....	59
3.2.4.2 Disposición del equipo de molienda y concentración gravimétrica.....	59
3.2.4.3 Disposición del dispositivo y proceso de flotación	60
3.2.4.4 Disposición del dispositivo y proceso de Lixiviación	61
3.2.4.5 Disposición del dispositivo y proceso de deshidratación	62
3.2.4.6 Depósito de concentrado	62

3.2.4.7 Transporte de relaves en seco	63
3.3 Rendimiento técnico del procesamiento de mineral	64
3.3.1 Situación básica de la prueba metalúrgica de beneficio	64
3.3.2 Prueba de lixiviación	65
3.3.3 Pruebas preliminares sobre el proceso de beneficio	67
3.4 Balance de materiales	67
3.5 Caracterización del relave minero	69
3.5.1 Calidad del relave minero (Análisis Geoquímico)	69
3.5.2 Prueba de análisis granulométrico	69
3.5.3 Velocidad de sedimentación (prueba del slump)	70
3.5.4 Caracterización del relave generado en el proyecto minero	70
3.6 Selección del sitio, distribución de la planta y configuración de los equipos	71
3.6.1 Comparación y determinación de opciones de sitio	72
CAPÍTULO IV	74
4. Propuesta Metodológica de Gestión, Manejo, Tratamiento y Disposición Final de los relaves generados por el beneficio del mineral de la explotación del proyecto minero Rio Blanco	74
4.1 Diseño de la Construcción del depósito de relaves	74
4.1.1 Presa inicial	76
4.1.2 Presa posterior	77
4.1.3 Sistema de drenaje	77
4.1.3.1 Alcantarillas y canaletas de drenaje	77
4.1.3.2 Zanja ciega de desagüe de infiltraciones de la parte inferior de la presa	78
4.1.3.3 Zanja de drenaje superficial de la presa, zanjas de coronación	78
4.1.3.4 Zanjas de contrafuerte	79
4.1.4 Instalaciones de observación del cuerpo de la presa de relaves	79
4.1.5 Instalaciones impermeables superficiales del depósito de relaves	80
4.1.6 Criterios de Diseño	80

4.2 Propuesta Metodológica de Gestión, Manejo, Tratamiento y Disposición Final de los relaves generados	81
4.2.1 Gestión de Relaves	81
4.2.1.1 Procedimientos estandarizados para la construcción de la relavera en el proyecto minero.....	82
4.2.1. Estrategias para la optimización del uso de agua en el proceso metalúrgico para la obtención del mineral de interés.	84
4.2.2 Manejo de Relaves.....	86
4.2.2.1 Implementación de obras civiles de control	87
4.2.2.2 Técnica de recirculación de las aguas sedimentadas.....	93
4.2.2.3 Implementación de técnicas para riego y desarrollo agroforestal sostenible con el agua residual del depósito de relaves.....	95
4.2.2.4 Comprobar la existencia de planes de sellado de la piscina de relaves cuando termine su vida útil	98
4.2.2.5 Plan de Monitoreo y Seguimiento	101
4.2.3 Tratamiento de Relaves.....	105
4.2.3.1 Alternativas de tratamiento de aguas cianuradas resultantes del proceso de beneficio.....	105
4.2.3.2 Técnica de fitorremediación de relaves para estabilizar y retener metales pesados.....	111
4.2.4 Disposición final de los relaves.....	119
4.2.4.1 Relleno hidráulico de relaves secos en las galerías existentes por la explotación del proyecto minero Río Blanco.....	119
4.2.4.2 Utilización de los relaves para fabricación de ladrillos y baldosas.....	123
4.2.4.3 Cierre técnico del depósito de relaves.....	127
CAPÍTULO V	133
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
5.1 Conclusiones.....	133
5.2 Recomendaciones	135

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
----------------------------------	-----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Volúmenes de producción para minerales metálicos en explotación subterránea.</i>	3
Tabla 2 <i>Marco Legal Vigente</i>	8
Tabla 3 <i>Ubicación del Proyecto Minero Río Blanco en Coordenadas UTM WGS84.</i>	15
Tabla 4 <i>Categorización de recursos y reservas</i>	44
Tabla 5 <i>Resultados de la calculación del equilibrio de los materiales.</i>	64
Tabla 6 <i>Resultados de pruebas de lixiviación del mineral.</i>	65
Tabla 7 <i>Resultado del balance de materiales en la etapa de molienda</i>	68
Tabla 8 <i>Resultado del balance de materiales en la etapa de lixiviación</i>	69
Tabla 9 <i>Caracterización del Relave en los subprocesos de beneficio</i>	71
Tabla 10 <i>Comparación de programas de sitios de la planta de beneficio</i>	72
Tabla 11 <i>Parámetros de análisis que se considerarán para el agua residual de la relavera.</i>	102
Tabla 12 <i>Parámetros de análisis que se considerarán para el sedimento de la relavera.</i>	103
Tabla 13 <i>Mecanismos de Fitorremediación.</i>	114
Tabla 14 <i>Resultados del Análisis de metales pesados y pH.</i>	115
Tabla 15 <i>Proporción de relave y acondicionador</i>	116

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación del Proyecto Rio Blanco</i>	15
--	----

Figura 2 Concesiones Mineras en el Proyecto Rio Blanco	17
Figura 3 Regiones Geográficas del Ecuador	18
Figura 4 Sección Longitudinal de las zonas mineralizadas en el P.Rio Blanco	21
Figura 5 Corte Geológico del Área del Proyecto.....	22
Figura 6 Principales zonas mineralizadas en el escarpe de Canoas.....	23
Figura 7 Observación de los testigos de perforación.....	25
Figura 8 Infraestructura Proyecto Minero	26
Figura 9 Proceso de explotación subterránea Método Corte y Relleno.....	28
Figura 10 Área designada para la construcción del depósito de relaves.....	30
Figura 11 Sistema de Explotación del Yacimiento Mineral del P. Rio Blanco.....	40
Figura 12 Veta Alejandra Norte y Veta San Luis	42
Figura 13 Plan de desarrollo de Mina	47
Figura 14 Ventilación en la Mina.....	50
Figura 15 Drenaje en de las labores mineras de explotación	51
Figura 16 Método de Minado.....	52
Figura 17 Composición de la Planta de Beneficio	57
Figura 18 Diagrama de Flujo del Proceso de Extracción de Oro	58
Figura 19 Registro visual de la Opción I	73
Figura 20 Registro visual de la Opción II	73
Figura 21: Mapa de Ubicación Relavera.....	74
Figura 22 Área designada para la construcción, implementación y operación del depósito de relaves mineros.....	75
Figura 23 Bosquejo del área designada para la construcción, implementación y operación del depósito de relaves mineros	81

Figura 24 Procedimiento para la construcción de diques de relaves.....	83
Figura 25 Composición de un Depósito de relaves	89
Figura 26 Dren Frances.....	90
Figura 27 Esquema general de recirculación para operaciones mineras	94
Figura 28 Reutilización del agua proveniente de actividades mineras	96
Figura 29 Áreas del proyecto minero destinadas para actividades de Reforestación...	96
Figura 30 Espacio para destinado para actividades de Reforestación, cercano al lugar donde se ubicará la relavera.....	97
Figura 31 Crianza Actual de Truchas con el agua de la quebrada Migsihuigsi.....	98
Figura 32 Proceso de Tratamiento con Peróxido de Hidrogeno	108
Figura 33 Proceso de Tratamiento con Hipoclorito de Sodio.....	110
Figura 34 Sistema de Fitorremediación en el suelo para generar o extraer biomasa .	113
Figura 35: Reacciones químicas del Proceso de fitoinmovilización y Rizofiltración....	118
Figura 36 Diagrama de flujo de llenado del relave seco con cemento.....	121
Figura 37 Procedimiento para la obtención del agregado de construcción	125
Figura 38 Procedimiento para la fabricación de ladrillos y baldosas a partir del agregado de construcción	126

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

TULAS- MA: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente.

RAAM: Reglamento Ambiental para Actividades Mineras de la República del Ecuador.

EIA: Estudio de Ingeniería Ambiental

MAE: Ministerio de Ambiente

INIGEMM: Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.

ARCOM: Agencia de Regulación y Control Minero.

DAM: Drenaje Acido de Mina.

IMC: International Minerals Corporation

RESUMEN EJECUTIVO

Tradicionalmente en el país se ha realizado minería artesanal e informal, actividades que datan de la época del Imperio Inca y la época colonial. La futura ejecución de proyectos mineros de mediana y gran escala se convertirá en un nuevo estilo de realizar la actividad minera, desde una perspectiva técnica, ambientalmente sustentable y con responsabilidad social. La caracterización de los procesos extractivos y de beneficio en el proyecto minero permitirá cuantificar y cualificar la generación de relaves en cada etapa del proyecto, además, se logrará establecer los modelos de balance de masa y agua que se van a utilizar en el proceso metalúrgico para la obtención del mineral de interés (oro); a fin de proponer los criterios metodológicos de gestión, manejo y técnicas de tratamiento y disposición final para los relaves (desechos del proceso metalúrgico) que se generen en el proyecto minero Río Blanco. Una vez que identificado y caracterizado la cantidad de relave que se generará en las diferentes etapas del proyecto minero se procederá a desarrollar la propuesta metodológica para la gestión, manejo, tratamiento y disposición final de los relaves generados. La propuesta metodológica considerara experiencias en proyectos mineros de gran envergadura a nivel mundial, adaptándolos y adecuándolos a la realidad y contexto del proyecto minero.

Palabras clave:

- MINERÍA
- RELAVE
- MANEJO
- GESTIÓN
- TRATAMIENTO
- DISPOSICIÓN FINAL

ABSTRACT

Traditionally in the country, informal and artisanal mining has been carried out, activities that date back to the time of the Inca Empire and the colonial era. The future execution of medium and large-scale mining projects will become a new style of mining activity, from a technical perspective, environmentally sustainable and with social responsibility. The characterization of extractive and beneficiary processes in the mining project will quantify and qualify the generation of tailings at each stage of the project, in addition, it will be possible to establish the mass and water balance models that will be used in the metallurgical process for Obtaining the mineral of interest (gold); in order to propose the methodological criteria of management, management and techniques of treatment and final disposal for the tailings (waste from the metallurgical process) that are generated in the Río Blanco mining project. Once the amount of tailings that will be generated in the different stages of the mining project is identified and characterized, the methodological proposal for the management, handling, treatment and final disposal of the generated tailings will be developed. The methodological proposal will consider experiences in large-scale mining projects worldwide, adapting them and adapting them to the reality and context of the mining project.

Keywords:

- MINING
- MINING TAILINGS
- MANAGEMENT
- TREATMENT
- FINAL DISPOSITION

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Una breve revisión de la evolución del manejo de relaves a nivel mundial nos proporciona antecedentes útiles para comprender la tecnología actual. Aunque se sabe que el oro y la plata ya habían sido explotados por los Incas en tiempos Pre-Colombinos, la historia documentada de la minería en Sudamérica data de la conquista española. A través del Viejo y Nuevo Mundo en ese entonces, el oro era extraído por reducción directa (fundición) de minerales excepcionalmente ricos (alto contenido aurífero), pero principalmente por amalgamación con mercurio. (Pascó-Font, 1999)

Todos los proyectos mineros de explotación de oro tanto de mediana y gran escala cuentan con depósitos de relaves que acumulan materiales sólidos finos que se descartan de las operaciones de separación y obtención de los valores metálicos de aprovechamiento. La composición de los sólidos sedimentados en los depósitos de relaves es muy variada y depende de las características del mineral y de los procesos (físicos, químicos y metalúrgicos) a los cuales ha sido sometido. Una piscina de relaves de beneficio de oro tendrá un contenido económico, que podrá ser recuperado con los procesos metalúrgicos adecuados y la tecnología apropiada para este fin. El contenido aurífero, en el relave minero, será el más bajo de acuerdo con la tecnificación utilizada durante los procesos metalúrgicos de beneficio, transporte, almacenamiento y operación del depósito en particular. (Tchernitchin, 2006).

Un depósito moderno tendrá mucho menos cantidad de oro que uno abandonado hace 20 años. Sin embargo, todo el resto de los compuestos presentes en el mineral procesado que no se hayan retirado específicamente en procesos especiales, estarán presentes en el relave; dado que la extracción del valor económico de un mineral requiere de procedimientos técnicos diversos. El proceso metalúrgico, comprende las etapas de:

trituración, molienda, lixiviación o flotación y electro disposición, filtros donde se obtiene concentrado de mineral para su posterior refinación. Al final, como remanente del proceso de lixiviación o flotación quedan los relaves, sin aparente valor económico comercial. Los relaves contienen los materiales no recuperados por el proceso de beneficio, además de los reactivos utilizados en todo proceso de beneficio, principalmente, reactivos de lixiviación. Los relaves provenientes del proceso metalúrgico tienen que ser almacenados, adecuadamente, aplicado tecnología ecológicamente racional, económicamente viable, a fin de proteger la integridad física de las personas, el medioambiente y medio socio cultural circundante. (Reid, 2008). A pesar de ello los depósitos de relaves presentan impactos ambientales tanto en fase sólida (los sólidos sedimentados en profundidad) como en fase acuosa (las aguas de salida del depósito de relaves).

La minería en el Ecuador, desde hace muchos años, no ha sido vista como una fuente generadora de recursos para el Estado, por tal razón, no han existido inversiones importantes que impulsen el desarrollo de este sector. En la actualidad el Gobierno Nacional, ha visto la minería desde otra perspectiva, de tal manera se ha empezado a consolidar las bases para desarrollarla y convertirla en un pilar de la economía nacional; esta nueva visión del sector minero ha permitido desarrollar y emitir normativa apropiada para fomentar el beneficio de efectuar una minería sustentable (causando el menor impacto posible), responsable y económicamente rentable, a fin de generar importantes ingresos para el desarrollo del país. (Agencia de Regulación y Control Minero ARCOM, 2012)

En los últimos años, el marco normativo que rige al sector minero ha sufrido cambios positivos, pero todavía no se tiene un marco legal apropiado en lo referente a la distribución económica de las ganancias y regalías generadas por la actividad minera; por tal razón el arranque de ciertos proyectos a mediana y gran escala es incierto, ya que

ciertos inversionistas no se ven respaldados con el marco legal vigente; teniéndose que realizar una reforma a la Ley de Minería lo más pronto posible.

En tal virtud, la generación de relaves producidos por el beneficio del mineral del proyecto Rio Blanco debe tener una eficiente gestión, manejo, tratamiento y disposición final en cumplimiento a la normativa ambiental minera vigente en el país.

1.2 Planteamiento del Problema

Grupo JUNEFIELD Ecuador, es una compañía minera China legalmente constituida en el Ecuador, dedicada a la exploración y explotación de minerales metálicos, misma que es titular del proyecto minero Rio Blanco, ubicada en la provincia de Azuay, cantones Chaucha y Molleturo con una superficie de 5708 hectáreas mineras contiguas.

Las actividades exploratorias ya han cuantificado los recursos y reservas mineras existentes en el cuerpo mineralizado, el proyecto minero esta categorizado en el régimen de mediana minería debido a que explotará 800 toneladas al día, de acuerdo con la Ley de Minería se establece los volúmenes de producción diarios para la explotación de minerales metálicos tal como se indica Tabla N° 1.

Tabla 1

Volúmenes de producción para minerales metálicos en explotación subterránea.

REGIMEN DE EXPLOTACIÓN MINERA	VOLUMEN PRODUCCIÓN AL DÍA (t/d)
Pequeña Minería	Hasta 300 t/d
Mediana Minería	301 – 1000 t/d
Minería a Gran Escala	Mayor a 1000 t/d

Fuente: (Ley de Minería, 2014)

La explotación de recursos mineros tanto a mediana y gran escala se ha convertido en una de las principales actividades económicas del mundo debido a la gran demanda de minerales; esta actividad genera beneficios sociales tales como: calificación de mano de obra, importante fuente de ingresos, y la creación de nuevas plazas de trabajo. En contra parte también genera impactos ambientales considerables y significativos, que necesitan de una puntual, rápida y eficiente atención. La explotación del proyecto Río Blanco supone la extracción de aproximadamente 2.147.448 toneladas de material, de las cuales se obtendrá, según los cálculos de la concesionaria, unas 605.000 onzas de oro y 4.307.000 de onzas de plata con un rédito superior a los 1.000 millones de dólares. El proyecto encaja dentro de la clasificación de mediana minería; extraerá y procesará 800 toneladas de material por día. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

La generación de relaves producidos por el beneficio del mineral del proyecto Rio Blanco debe tener una eficiente gestión, manejo, tratamiento y disposición final en cumplimiento de la normativa ambiental minera vigente en el país.

1.3 Justificación e importancia

La industria minera en sus diversas etapas utiliza diferentes tipos de maquinaria, materia prima, insumos y servicios, que en la mayoría de los casos después de ser utilizados son desechados sin reutilizarse y sin una eficiente gestión. El beneficio del mineral que se obtiene en la etapa de explotación de la mina requiere de grandes cantidades de agua y químicos generando desechos semisólidos conocidos como relaves que normalmente tienen una composición de 35 - 40% líquida (agua + reactivos químicos) y un 60 - 65% de sedimento (ELIPE, 2012). Hay que considerar que posiblemente los relaves generados en el proyecto minero van a ser secos o deshidratados debido al proceso físico, químico y metalúrgico utilizado para el beneficio del mineral. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

El presente trabajo investigativo se realiza con el fin de generar un documento que sirva como una propuesta metodológica para la adecuada gestión ambiental, manejo técnico e implementación de sistemas idóneos de tratamiento y disposición final de los relaves que se generen durante la vida útil del proyecto minero Rio Blanco; así como también plantear alternativas para el decrecimiento en la generación de relave, optimizando el proceso de beneficio del mineral.

La meta del presente trabajo es desarrollar una propuesta metodológica para la gestión y disposición de los relaves que se generen en el proyecto minero proponiendo alternativas y técnicas viables que optimicen el proceso de beneficio del mineral y por ende minimicen la afectación al medio ambiente ocasionada por el transporte, almacenamiento y operación de los depósitos de relaves.

1.4 Hipótesis

La implementación de procedimientos de gestión y técnicas de manejo serán aplicables para la optimización de los procesos en el beneficio del mineral y operación del depósito de relaves. Considerando que los sistemas y técnicas de tratamiento y disposición final de los relaves permitirán la ejecución de proyectos agrícolas y socio ambientales complementarios

1.5 Interrogantes de la Investigación

¿La implementación de estrategias, procedimientos y técnicas de gestión y manejo facilitarán la optimización de procesos, transporte, almacenamiento y operación de los depósitos de relaves?

¿Las técnicas y sistemas de tratamiento de los relaves permitirán el aprovechamiento del agua y sedimento en proyectos agrícolas y socio – ambientales complementarios?

¿La disposición final de los relaves mediante la técnica de relleno hidráulico facilitará el cierre técnico de las galerías resultantes de la etapa de extracción minera del proyecto Río Blanco?

¿El desarrollo metodológico de una propuesta para la gestión, manejo, tratamiento y disposición final de los relaves para el proyecto Río Blanco será replicable para otros proyectos mineros de explotación aurífera tanto de mediana y gran escala en el país?

1.6 Objetivos de la Investigación

1.6.1 Objetivo General

- Proponer procedimientos, sistemas y técnicas de gestión, manejo, tratamiento y disposición final de los relaves generados durante la vida útil del Proyecto Minero Río Blanco.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Identificar la infraestructura instalada y disponible en el proyecto minero.
- Caracterizar el proceso extractivo y de beneficio ejecutado en el proyecto minero Río Blanco.
- Cuantificar la cantidad de relaves que se van a generar en el proceso de beneficio para la obtención del mineral de interés.
- Cualificar la generación de relaves mediante los resultados de los modelos de balance de masa y agua, que permitan definir la correcta interpretación de análisis fisicoquímicos del sedimento y agua en los depósitos de relave para su posterior tratamiento.

- Considerar trabajos, investigaciones académicas y experiencias en proyectos mineros internacionales como respaldo técnico para el desarrollo metodológico de la propuesta.

1.7 Factibilidad y Accesibilidad a la información

El presente proyecto de investigación es posible llevarlo a cabo porque se cuenta con el apoyo de la Compañía Minera Junefield Group SA., su apoyo técnico y logístico, permitiendo la visita a las facilidades con las que cuenta el proyecto minero, facilitó la realización de esta propuesta metodológica.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Institucional

Las instituciones específicas descritas a continuación tienen relación directa con la aplicación de la propuesta que se presentará en el presente proyecto de titulación.



2.2 Marco Legal

Tabla 2

Marco Legal Vigente

JERARQUÍA	NORMATIVA	PUBLICACIÓN
CONSTITUCIÓN	Constitución de la República del Ecuador	Registro Oficial 449 del 20 de octubre de 2008
CONVENIOS INTERNACIONALES	Declaración de Río referente a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo	Reunida en Rio de Janeiro el 3 y 14 de junio de 1992

CONTINÚA

	Protocolo de Kyoto referente a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático Kioto	Registro Oficial 562, del 07 de noviembre de 1994 – Ratificado por Decreto Ejecutivo 548, Registro al Suplemento 428 del 30 de enero del 2015
	Convenio de Rotterdam	Suscrito en la ciudad de Róterdam – Holanda, el 11 de septiembre de 1998 y Ratificado mediante Decreto Ejecutivo 1582, Registro Oficial 319 del 22 de abril del 2004
	Codificación del Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación	Registro Oficial Suplemento 153 del 25 de noviembre de 2005
	Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes	Registro Oficial 381, del 20 de Julio de 2004
LEYES	Código Orgánico Integral Penal (COIP)	Registro Oficial Suplemento 180, 10 de febrero de 2014. Última modificación 14 de Julio de 2014
	Código Orgánico de Organización Territorial	Registro Oficial 303, del 19 de octubre de 2010. Última modificación 07 de julio de 2014
	Código del Trabajo - Codificación 17	Registro Oficial Suplemento 167, del 16 de diciembre de 2005. Última modificación 12 de septiembre de 2014
	Ley de Minería	Registro Oficial Suplemento 517, del 29 de enero de 2009. Última

CONTINÚA

		reforma 10 de febrero de 2014
	Ley de Gestión Ambiental	Registro Oficial 418 del 10 de septiembre de 2004
	Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental	Registro Oficial 418 del 10 de septiembre de 2004
	Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria. Conocido también como Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente (TULSMA)	Decreto Ejecutivo 3516. Registro Oficial Suplemento 2, del 31 de marzo de 2003
	Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua	Registro Oficial Suplemento 305 del 06 de agosto del 2014
	Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre	Registro Oficial Suplemento 418, del 10 de septiembre de 2004. Última modificación 12 de septiembre de 2014
	Ley Orgánica del Sistema de Salud	Registro Oficial 670, del 25 de septiembre de 2002
	Ley Orgánica de Salud.	Registro Oficial Suplemento 423 de 22 de diciembre de 2006. Última modificación 24 de enero de 2012
	Ley Orgánica de Participación Ciudadana	Registro Oficial Suplemento 175 del 20 de abril del 2010. Última modificación 11 de mayo del 2011
	Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial	Registro Oficial Suplemento 398 del 7 de agosto de 2008. Última modificación 10 de febrero de 2014

CONTINÚA

	Ley de Defensa Contra Incendios	Registro Oficial 815, de 19 de abril de 1979.
DECRETOS EJECUTIVOS Y REGLAMENTOS	Reglamento Ambiental para Actividades Mineras en el Ecuador	Registro Oficial 213, del 27 de marzo de 2014
	Reglamento General de la Ley de Minería	Registro Oficial 67, del 16 de noviembre de 2009
	Decreto Ejecutivo 1215, Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador	Registro Oficial 265 del 13 de febrero de 2001
	Reglamento General de Aplicación de la Ley de Aguas (Resolución 18)	Registro Oficial 552, del 19 de marzo de 2009
	Decreto Ejecutivo 2393, Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente del Trabajo	Registro Oficial 565 del 17 de noviembre de 1986. Última modificación 21 de febrero del 2003
	Reglamento de Seguridad Minera	Registro Oficial 247, del 16 de mayo de 2014
	Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la contaminación	Registro Oficial 51, del 31 de marzo de 2003
	Reglamento de Aplicación de los Mecanismos de Participación Social Establecidos en la Ley de Gestión Ambiental (Decreto Ejecutivo 1040)	Registro Oficial 332, del 8 de mayo de 2008
	Acuerdo Ministerial 097 (Reforma el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria y Deroga el Acuerdo Ministerial 061 y anexos del 028.)	Registro Oficial 387 del 04 de noviembre del 2015

CONTINÚA

ACUERDOS MINISTERIALES	Acuerdo Ministerial 026 (Procedimientos para Registro de Generadores de Desechos Peligrosos, Gestión de Desechos Peligrosos Previo al Licenciamiento Ambiental y para el Transporte de Materiales Peligrosos)	Registro Oficial 334 del 12 de mayo de 2008
	Acuerdo Ministerial 142 (Listados Nacionales de Sustancias Químicas Peligrosas, Desechos Peligrosos y Especiales)	Registro Oficial 856, del 21 de diciembre de 2012
	Acuerdo Ministerial 14630 (Reglamento para el Manejo de los Desechos Sólidos)	Registro Oficial 991, del 3 de agosto de 1992, última modificación 22 de diciembre del 2006
	Acuerdo Ministerial 050 (Norma de Calidad Aire Ambiente o Nivel de Emisión)	Registro Oficial 464 del 7 de junio de 2011
	Acuerdo Ministerial 066 (Instructivo al Reglamento de Aplicación de Mecanismos de Participación Social Establecidos en el Decreto Ejecutivo 1040)	Registro Oficial 36 del 15 de Julio de 2013
	Acuerdo 080 Refórmese el Reglamento Ambiental de Actividades Mineras (RAAM)	Registro Oficial 520 del 11 de junio de 2015
ORDENANAZAS	Ordenanzas Municipales y Provinciales	En caso de existir
NORMAS TECNICAS ECUATORIANAS	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3864-1: 2013; Símbolos Gráficos, Colores de Seguridad y Señales de Seguridad.	Vigencia 15 de mayo de 2013

CONTINÚA

	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2288:2000; Productos Químicos Industriales Peligrosos. Etiquetado de Precaución. Requisitos	Registro Oficial 117 del 11 de Julio de 2000
	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2266:2013; Transporte, Almacenamiento y Manejo de Materiales Peligrosos. Requisitos	Registro Oficial N° 881 del 29 de enero de 2013

2.3 Marco Ético

La Grupo JUNEFIELD Ecuador, es una compañía minera China legalmente constituida en el Ecuador, dedicada a la exploración y explotación de minerales metálicos cumpliendo con el compromiso de retribuir a la sociedad, acoge a estudiantes de las diferentes universidades para que realicen sus pasantías pre profesionales y sus trabajos finales de grado, razón por la cual este proyecto se está realizando con el consentimiento de la compañía y los resultados que se obtenga de esta investigación serán de beneficio para la compañía y para quien realiza el trabajo de investigación.

2.4 Datos generales del proyecto

2.4.1 Antecedentes

JUNEFIELD MINERAL RESOURCES HOLDINGS LIMITED, tiene concesiones mineras para la exploración y explotación de recursos minerales tanto en Perú, Ecuador y otros países de Latinoamérica, por lo tanto, la empresa busca el desarrollo de tecnología minera de punta mediante el financiamiento de grandes empresas subsidiarias o sociedades estratégicas (Grupo JUNEFIELD Ecuador) con el fin de lograr el desarrollo conjunto. A través de varias rondas de comunicación (JUNEFIELD MINERAL RESOURCES HOLDINGS LIMITED), ha obtenido la información preliminar sobre las concesiones del Grupo JUNEFIELD Ecuador, para seleccionar los mejores proyectos

para investigación e inversión, dentro de los cuales el Proyecto Minero Río Blanco es el proyecto más representativo.

En 2013, el Grupo JUNEFIELD Ecuador adquirió el 100% de las acciones y derechos de la mina de oro y plata del Proyecto Río Blanco a la empresa Canadiense International Minerals Corporation, conocida como (San Luis Minerales S.A.). Después de la negociación entre JUNEFIELD Ecuador y JUNEFIELD MINERAL RESOURCES HOLDINGS LIMITED, ambas partes están trabajando juntas para desarrollar el Proyecto Río Blanco, mediante la firma de un “Acuerdo de Cooperación” para financiar conjuntamente el desarrollo cooperativo de la mina de oro y plata.

2.4.2 Ubicación geográfica y accesibilidad.

El Proyecto Río Blanco se encuentra ubicado en el flanco oeste de la Cordillera Occidental, al suroeste del Ecuador, aproximadamente a unos 50 km al oeste de la ciudad Cuenca y a 320 km al suroeste de la ciudad de la República. Aproximadamente a unos 3.5 km del Parque Nacional Cajas, a una altitud de 3.900 m.s.n.m.

El acceso hacia al Proyecto Río Blanco se lo realiza a partir de la ciudad de Cuenca hacia el oeste, por una vía de primer orden pavimentada hasta el poblado de Yumate, con un tiempo aproximado de 90 minutos en vehículo propio. A partir de Yumate hacia el sur por una vía de segundo orden (camino lastrado), con un tiempo aproximado de una hora hasta llegar al Proyecto Río Blanco.

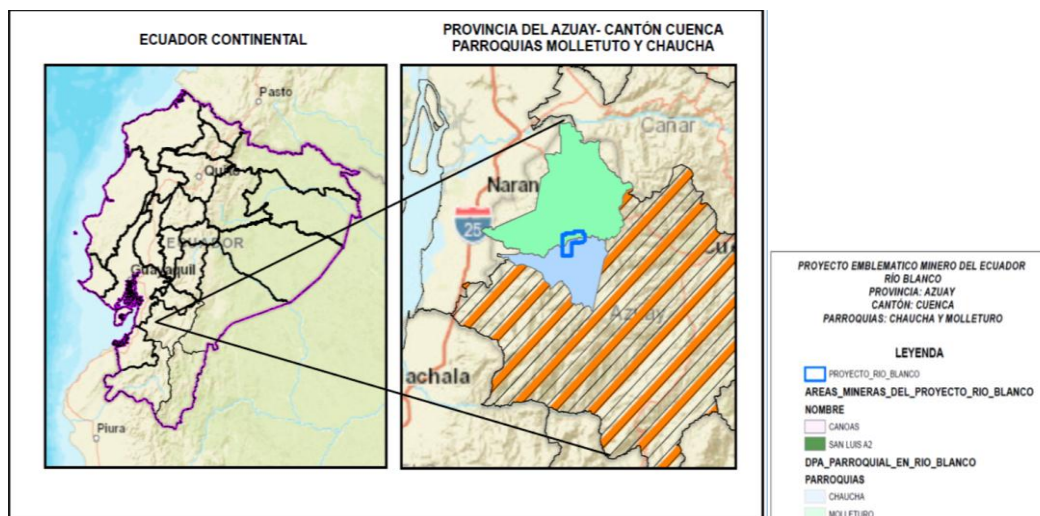


Figura 1 Ubicación del Proyecto Río Blanco

Tabla 3

Ubicación del Proyecto Minero Río Blanco en Coordenadas UTM WGS84

PUNTO	X(ESTE)	Y (NORTE)
PP.	680.035	9'687.498
1	680.500	9'687.105
2	685.545	9'696.591
3	680.572	9'687.107
4	680.526	9'687.096

2.4.3 Contexto de las Concesiones del Proyecto Minero

El Proyecto Río Blanco está constituido por cuatro concesiones mineras contiguas (derecho minero), mismas son:

- Concesión San Luis A2

- Concesión Miguir
- Concesión Canoas
- Concesión Canoas 1

En su momento, todas las concesiones pertenecieron a la empresa Canadiense *International Minerals Corporation* (San Luis Minerales S.A. en Ecuador), con una superficie total de 5,708 hectáreas, que para el caso las superficies respectivas para cada concesión son la siguientes:

- La **concesión San Luis A2**, en la cual estaría ubicada gran parte de las operaciones mineras, tiene una superficie de 270 hectáreas, misma que fue concesionada originalmente a San Luis Minerales S.A. desde el año 1994.
- La **concesión Miguir**, con una superficie de 2130 hectáreas, ubicada al norte del área del proyecto, originalmente concesionada a una persona externa, quien en 1994 firmó un acuerdo para la cesión de derechos mineros a favor de San Luis Minerales S.A.
- La **concesión Canoas**, con una superficie total de 2940 hectáreas, se encuentra ubicada al sur del proyecto, inicialmente concesionada a Rio Tinto (RTZ), misma que a partir de 1998 fue cedida a favor de San Luis Minerales S.A. a través de un acuerdo con RTZ.
- La **concesión Canoas 1**, con una superficie total de 368 hectáreas, está ubicada en la parte central del proyecto, se encuentra entre la concesión San Luis A2 y la concesión Canoas, formando parte integral del proyecto. El origen de esta concesión es similar al de la concesión Canoas, inicialmente fue propiedad de la compañía Rio Tinto (RTZ), y desde 1998 fue cedida a favor de San Luis Minerales S.A. a través de un acuerdo con RTZ.

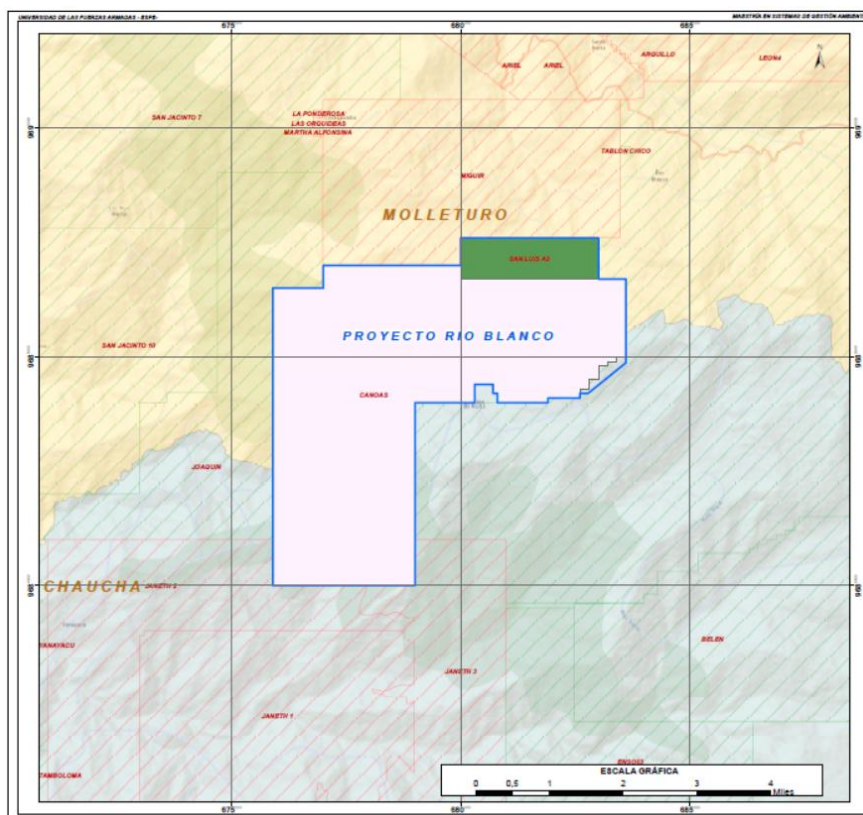


Figura 2 Concesiones Mineras en el Proyecto Río Blanco

2.4.4 Geología y Geomorfología del área de Estudio

Ecuador se compone de cinco regiones físico - geográficas distintas. En términos generales van de Norte a Sur, de Colombia a Perú, mismas que comprenden:

- Una amplia llanura costera en el oeste, sobre de la corteza oceánica por la acreción del Cretácico.
- La Cordillera Occidental, sobre los terrenos oceánicos por la acreción del Cretácico al Eoceno.
- Los Gravens Interandinos, flanqueados por volcanes activos como el Cotopaxi.
- La Cordillera Oriental (Cordillera Real), constituida por rocas metamórficas del Precámbrico al Cretácico.

- En el Oriente, rocas sedimentarias sub- horizontales yacentes del Mesozoico al Terciario, que contienen hidrocarburos.

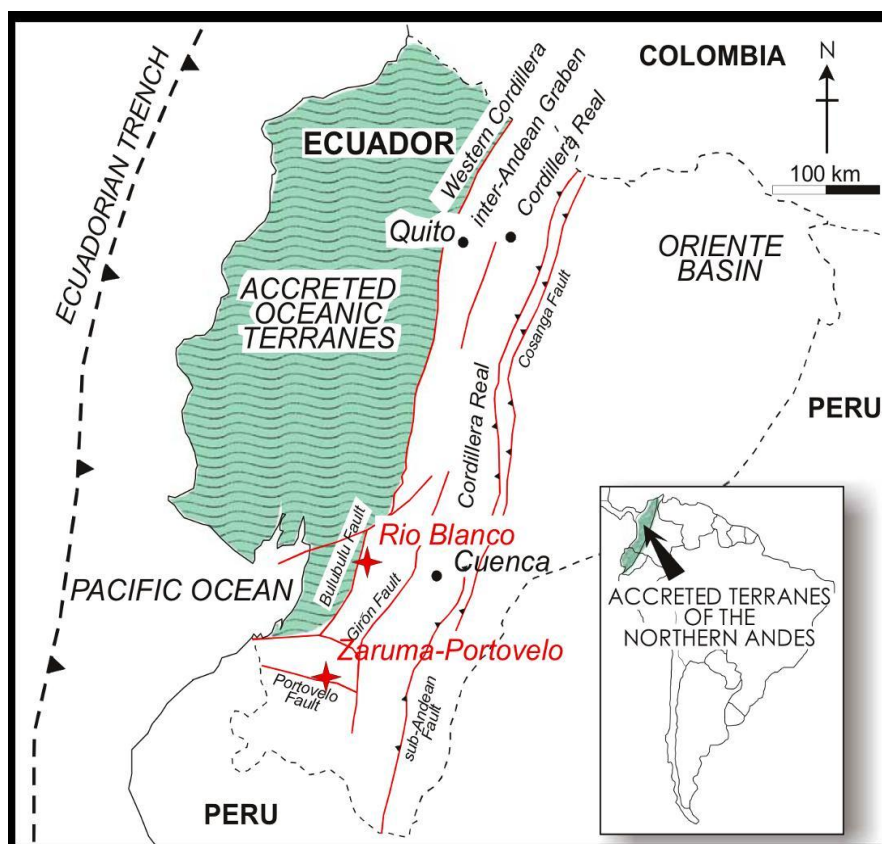


Figura 3 Regiones Geográficas del Ecuador

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

2.4.4.1 Geología del Distrito Río Blanco

El distrito geológico donde se ubica el proyecto minero Río Blanco está ubicado en el sector Sur-Oeste de la Cordillera Occidental; se encuentra cerca del lineamiento regional de la Falla Bulubulu, que marca la sutura entre los terrenos exóticos oceánicos al oeste y el basamento continental in situ al Este. El basamento continental está casi completamente cubierto en el sector Sur de la Cordillera Occidental por las rocas volcánicas calcoalcalinas del margen continental del Grupo Saraguro. Estas rocas

volcánicas son producto del volcanismo multifásico y están representadas en las cercanías de Río Blanco por la Formación Río Blanco (Oligoceno).

La Formación Río Blanco comprende tobas de lapilli andesíticas a dacíticas no soldadas, tobas de flujos de ceniza soldadas (ignimbritas) y rocas sedimentarias. Las rocas sedimentarias son variables, de fangolitas de chert negras a tobas con abundante lapilli acrecional. Las formaciones sedimentarias, que normalmente no superan los 10 m de espesor, fueron depositadas durante recesos del volcanismo piroclástico, probablemente en un ambiente lacustre.

La Formación Río Blanco está instruida en el área del proyecto por un stock de andesita porfídica. Este conjunto de rocas (facies) se muestran autobrechadas, peperíticas, masivas y amigdaloides. Similar a un sill (lamina tubular de roca ígnea), su geometría es compleja, particularmente en las cercanías de la Falla Alejandra. También aflora una intrusión de diorita al Sur del área del proyecto. Se infiere que está genéticamente asociada al granitoide Chaucha al Suroeste, para el cual se han informado fechas K-Ar de alrededor de 12 millones de años. (PRODEMINCA, 2000)

El área de Río Blanco está dominada estructuralmente por fallas con rumbo Noreste (Figura 3), se interpreta que constituyen fracturas de cizalla relacionadas con el lineamiento regional de la Falla Bulubulu. Estos conjuntos de fallas con orientación Noreste y cizallas tensionales relacionadas actuaron como conductos a través de los cuales circularon fluidos hidrotermales, con la resultante producción de intensas zonas de alteración y mineralización ricas en depósitos pórfidos y vetas mineralizadas de media y alta ley.

2.4.4.2 Características del yacimiento

Las compañías mineras que precedieron a Grupo JUNEFIELD Ecuador, durante las actividades de exploración avanzada subdividieron al proyecto minero en cuatro principales áreas mineralizadas.

Estas subdivisiones van desde Loma Larga, en el norte, hasta Migsihuigsi en el sur, a una distancia de más de 4 km. La anchura de las zonas mineralizadas varía desde 750m hasta más de 1.000m. El rango vertical es de aproximadamente 1.000m, desde una altura de 4.000m en San Luis a 3.000m en la parte sur del acantilado de Río Blanco. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

De norte a sur, las áreas designadas comprenden:

- Loma Larga
- Arco Iris
- San Luis
- Bolívar
- Canoas

Siendo las áreas de San Luis, Canoas y Bolívar las principales zonas de interés del proyecto minero, donde se encontraron las principales anomalías y alteraciones (Figura 4) mismas que se detallarán a continuación:

- La Zona Alejandra Norte (y la Extensión Noreste, la parte oculta de la Veta Alejandra). La Zona Alejandra Norte es el centro de este estudio de viabilidad del proyecto.
- La Zona Alejandra Sur.
- La Zona Dorada.
- La Zona Migsihuigsi.
- La Zona Lourdes.

- La Zona Orquídea.



Figura 4 Sección Longitudinal de las zonas mineralizadas en el P. Río Blanco

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

Las principales vetas epitermales del proyecto, incluida la veta Alejandra Norte, están desarrolladas dentro de la Formación Río Blanco del Grupo Saraguro (PRODEMINCA, 2000). Esta formación del Oligoceno comprende, en orden de importancia: tobas de flujo de cenizas lapilli andesítico a dacítico sueltas, tobas de flujo de ceniza unidas (ignimbritas) y rocas sedimentarias.

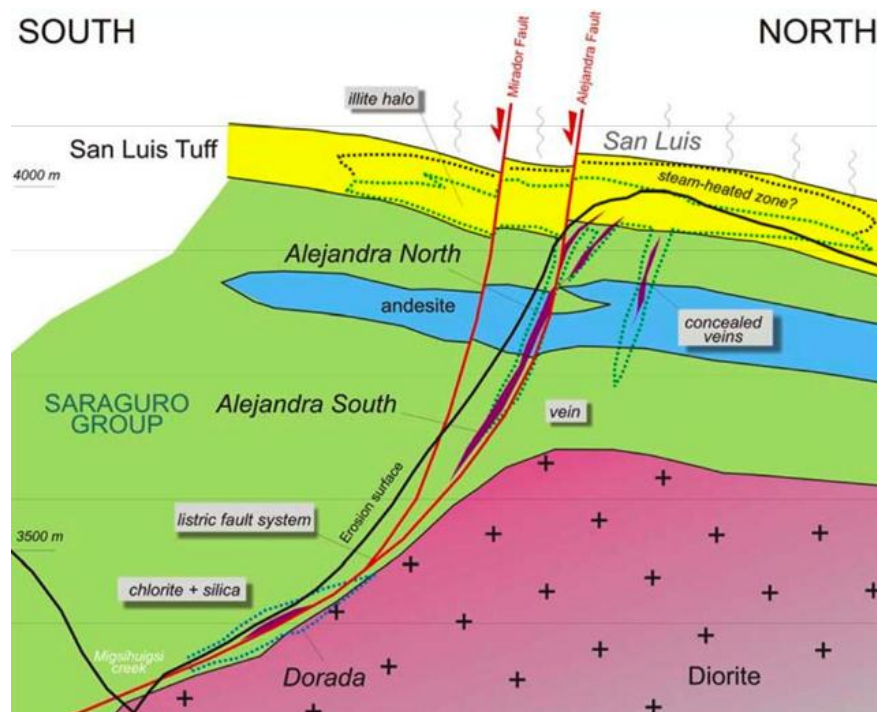


Figura 5 Corte Geológico del Área del Proyecto

Fuente: (SAN LUIS MINERALS, 2011)

Las unidades de tobas finas de flujo de ceniza, y sus rezagos basales gruesos, pueden ser mapeados y correlacionados entre las perforaciones. La pómez es un componente importante de las tobas, particularmente en la Toba San Luis, la toba más joven en la secuencia. Las rocas sedimentarias son muy variables, que van desde sedimentos tobaceos chertosos – negros a tobas bandeadas con abundante lapilli acrecional. Los paquetes sedimentarios, raramente más de 10m de espesor, se depositaron durante el volcanismo piroclástico explosivo, probablemente en un ambiente marino o lacustre (PRODEMINCA, 2000).

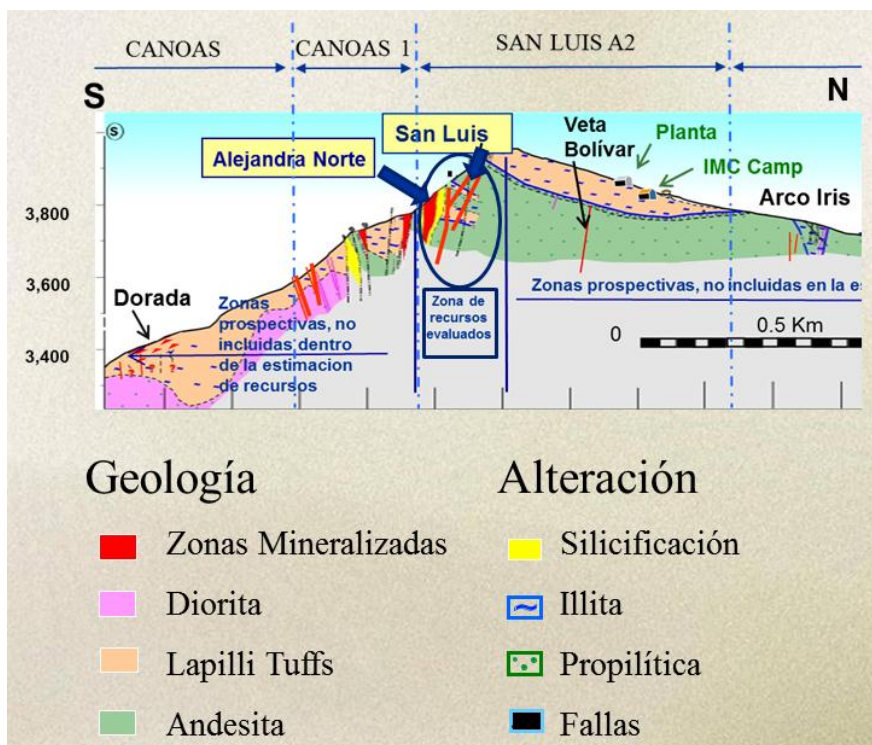


Figura 6 Principales zonas mineralizadas en el escarpe de Canoas

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

2.4.4.3 Distribución geológica del yacimiento

En el proyecto Río Blanco se encontraron varias vetas de oro y plata, con el cuerpo principal hacia el Noreste, y vetas secundarias en la parte Noroeste distribuidas en las zonas mineralizadas anteriormente descritas. Las principales zonas mineralizadas identificadas en el proyecto, y donde se ha podido paulatinamente estimar la cantidad de recursos son las zonas de: San Luis, Alejandra Norte y Alejandra Sur. Los diversos estudios concluyeron e infirieron que el yacimiento principal se encuentra en la zona contigua de San Luis y Alejandra Norte (*Figura 4*).

La zona de San Luis está en estrecha proximidad a Alejandra Norte, que pueden ser el producto del mismo sistema metalogénico de mineralización. Los estudios corroboran

que en la zona de Alejandra Norte se encuentra la principal alteración y mineralización del yacimiento principal, con una forma tabular empinada, en contra posición a la forma de las vetas en San Luis que de posición suave y sin empinamiento. Los dos yacimientos están tan estrechamente cercanos que pueden ser explotados utilizando el mismo diseño de explotación de mina.

2.4.4.4 Calidad de mineral

Tipos de mineralización presentes en el yacimiento.

Tipos de mineral natural

Los tipos de mineralización en el proyecto son simples y de acuerdo con las estructuras, características estructurales de las rocas y los tipos de rocas de caja, se pueden dividir en los siguientes tipos de mineralización, vetas de cuarzo y brechas hidrotermales:

a) Mineral de cuarzo

El componente principal de las vetas, como mineral de ganga es cuarzo, con esporádicos sulfuros diseminados. La veta de cuarzo tiene relleno de multi-eventos y una alteración intensa de la roca de caja. Una pequeña parte del mineral de cuarzo tiene carbonatación, y también se observa la presencia de minerales de alteración en la roca de caja. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

b) Mineral de brecha

Los componentes del mineral de brecha son complejos, y la razón principal es que el mineral está controlado por una estructura de falla, lo que provoca que existan multi-eventos; las brechas están divididas en auto-brechas y brechas hidrotermales; el cuarzo se presenta en clastos dentro de las brechas; los sulfuros y otros minerales están diseminados dentro de una matriz de sílice. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

Composición de los minerales

De acuerdo con las observaciones de campo y los resultados de identificación de los minerales metálicos principales que están presentes en las vetas son: oro nativo (electrum), pirita, arsenopirita, pirargirita y argentita (plata roja y negra) y los minerales de ganga principales son el cuarzo, illita, calcita, clorita, turmalina y epidota. Siendo el oro y la plata los minerales de interés en el proyecto. (PRODEMINCA, 2000)

La mayor parte del oro existente es microscópico, (*Figura 7*) una parte se encuentra entre las grietas de cuarzo, pirita y otros minerales en forma de oro libre y también encapsulado en pirita o pirrotita.



Figura 7 Observación de los testigos de perforación

2.4.4.5 Infraestructura del Proyecto Rio Blanco

Las diferentes etapas del proyecto minero Rio Blanco requiere de cierta infraestructura necesaria para que la ejecución de las diversos procesos y actividades del proyecto se ejecuten de acuerdo con lo planificado.

Dentro de las principales instalaciones e infraestructura (Figura 8) con las que debe contar el proyecto minero previo a la puesta en marcha de todos sus procesos podemos destacar:

- Campamentos con todas las facilidades para personal técnico y de apoyo.
- Infraestructura para el sistema de explotación subterráneo.
- Reservorio de agua.
- Polvorín
- Depósitos de combustible.
- Planta de beneficio.
- Infraestructura para el depósito de relaves.

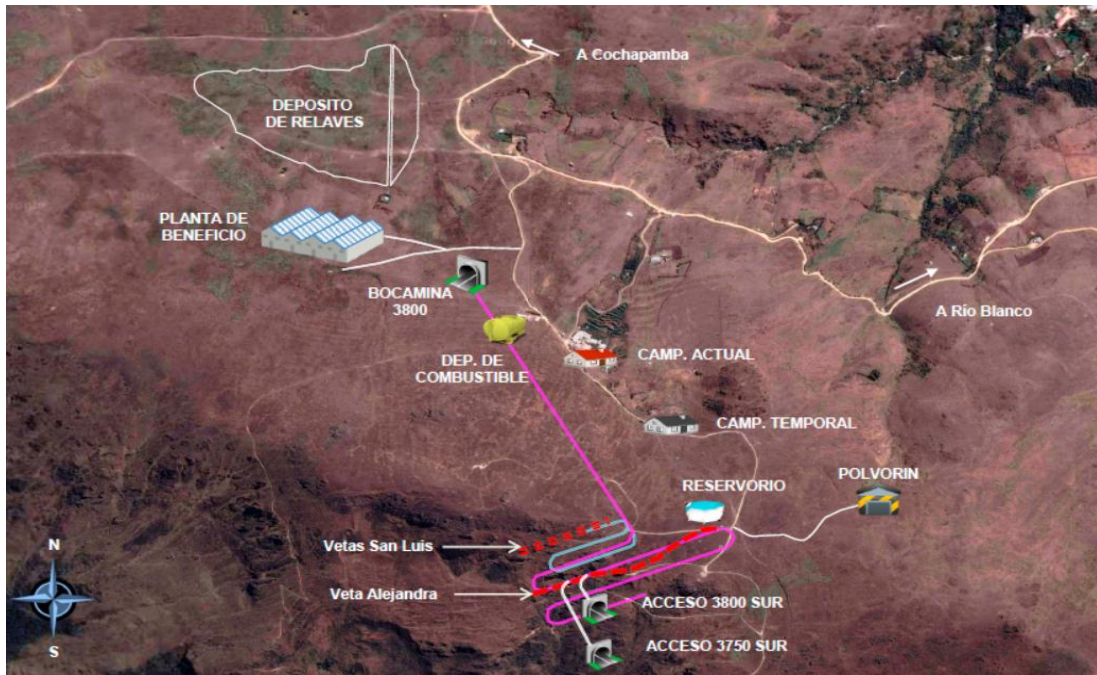


Figura 8 Infraestructura Proyecto Minero

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

2.4.4.6 Explotación minera subterránea

En minería subterránea existen muchos sistemas de explotación y todos se resumen en una palabra inglesa "stopping", que podríamos entenderla como "hacer cámaras subterráneas". La minería subterránea presenta mayores costos de explotación en relación a la de cielo abierto. Adicionalmente, hay considerando, que en este tipo de explotación minera, las complicaciones asociadas a una menor capacidad de extracción del mineral económicamente rentable y mayores riesgos laborales, ameritan una atención especial. En tal virtud, un proyecto minero recurre a la explotación subterránea cuando la sobrecarga del material estéril sobre la masa mineralizada (veta) es tal que su remoción hace inviable un proyecto minero, siendo el sistema de explotación subterránea la única opción para que el proyecto minero sea factible, viable y rentable. (SERNAGEOMIN, 2004)

Desde la visión ambiental, la minería subterránea suele crear un impacto menor que una explotación minera a cielo abierto, facilitando así el manejo y la gestión de los impactos ambientales generados; mediante medidas oportunas y puntuales de minimización, mitigación, recuperación y remediación ambiental.

Dentro de las técnicas de explotación subterránea hay que considerar lo siguiente:

- Si la explotación se va a realizar a cotas inferiores del terreno base, entonces el acceso a las labores se realizará por un pozo (shaft) o una rampa (decline spiral). Los pozos cumplen diversas funciones, entre otras permitir el acceso y salida del personal de mina, la ventilación de las labores mediante inyección de aire desde la superficie, y por supuesto, el transporte del material extraído a la superficie. Las rampas por su parte han ido ganando adeptos con gran velocidad en la minería moderna. Estas permiten el acceso directo a la mina de material rodado, lo que facilita las labores de transporte de mineral.

- Dentro de la mina tenemos las galerías, que pueden ser en dirección de la masa mineralizada (drifts) o perpendiculares a ésta, a estas galerías se las denomina cruceros (cross-cuts).
- La conexión entre los distintos niveles de una mina se realiza por pozos inclinados o chimeneas, hacia arriba; o piques, hacia abajo), que sirven para el trasvase de mineral y movimiento del personal.

En tal motivo, se tendrán niveles de producción, y por debajo de éstos, el transporte de mineral. (Crespo Quintero, 2007)

En proyectos mineros modernos que apliquen técnicas de explotación subterránea las labores mineras se ejecutan a través del método de Corte y Relleno, (Figura 9) mismo que es amigable con el medioambiente optimizando procesos, recursos y el manejo y gestión de material estéril. Dentro de este método tenemos procesos principales, mismos que se indican a continuación:

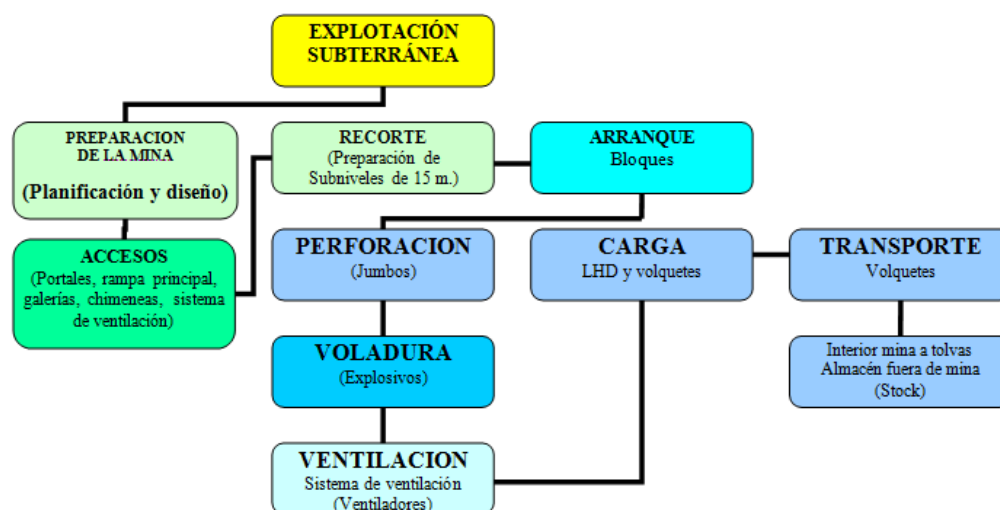


Figura 9 Proceso de explotación subterránea Método Corte y Relleno

En el Capítulo III (*ver 3.1*) se explicará a detalle el sistema de explotación subterránea que se implementará en el proyecto minero Rio Blanco.

2.4.4.7 Beneficio del mineral

El tratamiento del mineral en una planta de beneficio conlleva a la ejecución de varias operaciones tecnológicas que, en función de las características geoquímicas, asociaciones mineralógicas, fisicoquímicas, granulométricas y volumen de material a procesar, se establecerá experimentalmente los parámetros operativos adecuados, los que garantizarán la máxima eficiencia del proceso causando mínimas alteraciones y/o afectaciones al medioambiente. (Sandoval, 2001)

Dentro del proceso para el beneficio y refinación de minerales con alta ley de oro y plata se realizan comúnmente se realizan los siguientes subprocesos:

- a. Trituración primaria.
- b. Molienda del mineral (molino autógeno y molino de bolas.
- c. Circuito gravimétrico (concentrador centrífugo, mesas concentradoras)
- d. Circuito de flotación o lixiviación.
- e. Circuito de cianuración en el caso de ser necesario (tanques de lixiviación)
- f. Fundición (Hornos)
- g. Refinación.

En el Capítulo III (*ver 3.2*) se explicará a detalle el proceso de beneficio que se implementará en el proyecto minero Rio Blanco.

2.4.4.8 Geología del Sitio de Relaves

La unidad superior del basamento rocoso en el área donde se depositarán los relaves generados por el proyecto minero es una toba volcánica, con capas ocasionales de roca sedimentaria y rocas volcánicas andesíticas cristalinas (Figura 10). El flanco Norte del

sitio exhibe evidencia de repetidos episodios de erosión de la línea de cumbre. Esta interpretación se basa en las características topográficas del sitio y las descripciones de los suelos encontrados.



Figura 10 Área designada para la construcción del depósito de relaves

La cubierta superficial del sitio de relaves propuesto consiste principalmente en suelos arcillosos de poca a mediana plasticidad, con capas intercaladas de limos arcillosos, arenas y bloques en la matriz de suelo. Los depósitos varían de suelo medianamente rígido a muy rígido, dependiendo del contenido de arcilla. Las capas arenosas y ripiosas se describen como materiales generalmente de mediana densidad a alta densidad. El espesor de la cubierta superficial encontrado durante las investigaciones geotécnicas supera los 15 m. En el eje del muro, la capa superficial varía de un espesor de 3 m en el extremo Norte a alrededor de 50 m en el extremo Sur. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

El sitio de almacenamiento de relaves de la quebrada Río Blanco es un pequeño valle ancho orientado de Oeste a Este, con gradientes longitudinales típicas de 3 a 5%.

El piso del valle varía de una cota de 3740 m aguas abajo del pie del muro propuesto a 3775 m en la sección en la línea de cerros inmediatamente al Oeste del sitio.

Las pendientes del depósito son suaves a moderadas y aumentan a moderadamente abruptas sobre los límites del depósito subiendo hasta la cuenca. El sitio está cubierto principalmente por pastizales de páramo (*Figura 10*).

2.4.4.9 Geología ambiental del proyecto minero

El proyecto minero Río Blanco se encuentra dentro del Bosque Protector Molleturo, debido a esta precisión y a la envergadura del proyecto minero; y en cumplimiento a la normativa vigente, el proyecto cuenta con la aprobación de todos los requisitos previos, entre ellos la elaboración y aprobación de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) en cada etapa de avance y desarrollo para la posterior obtención de la Licencia Ambiental. Considerando la injerencia directa del proyecto con el Bosque Protector, la elaboración de estudios y análisis consideraron los siguientes temas:

- Marco legal e institucional
- Descripción del proyecto en base a la información técnica presentada en este estudio de viabilidad.
- Análisis detallado de la línea base (meteorología, hidrología, hidrogeología, geología, suelos, arqueología, flora y fauna y demografía social, entre otros)
- Análisis de los impactos ambientales, socioambientales y económicos del proyecto
- Plan de manejo ambiental
- Plan provisional de cierre

Estas consideraciones reflejan que el proyecto Río Blanco puede ser considerado como un proyecto minero con impactos ambientales inherentemente bajos. Los factores claves que contribuyen a los impactos mínimos incluyen:

- Ensamblaje de mineral con un nivel bajo de sulfuración con contenido mínimo de sulfuro reactivo, y por consiguiente un riesgo limitado de drenaje ácido de mina (DAM).
- Régimen favorable de agua subterránea con poca predisposición a la generación de grandes volúmenes de agua de la mina (durante las operaciones o después del cierre).
- Operación subterránea sin requerir el almacenamiento de mayores cantidades de roca de desecho en la superficie.
- Se propondrá un plan de explotación que incluya un relleno hidráulico, reduciendo así el espacio vacío a lo largo del plazo donde se podría generar un drenaje ácido de mina (DAM), y así minimizando el volumen de relaves a almacenarse en la superficie, durante la operación y funcionamiento del depósito o tranque de relaves.
- Incorporación dentro del plan para la mina de una estrategia muy conservadora para el manejo de los relaves superficiales, misma que contara con procedimientos de gestión, técnicas de manejo y sistemas de tratamiento y disposición final.

2.5 Relaves Mineros

La minería artesanal y pequeña minería se orienta a explotar vetas de oro en la sierra o lavaderos de oro aluvial en la amazonia, sierra y costa de los países de América Latina. Las diversas tecnologías utilizadas y el medio ambiente en el que se desenvuelven ocasionan diferente impacto ambiental. Al respecto, (Pascó-Font, 2011) sugiere que la minería artesanal y pequeña en la sierra resulta menos dañina para el medio ambiente que cuando se realiza en la selva, dado que el ambiente es más desértico (menos especies afectadas y menor transmisión de relaves por corrientes de agua), se utilizan

menos hidrocarburos (dependiendo el tipo de explotación minera), no hay excesiva tala de árboles y la remoción de tierras es menor. (Medina, 2010)

La minería es un proceso mediante el cual se separa un metal del resto de los compuestos que están en un yacimiento polimetálico de diversa composición. En el proceso minero bajo análisis, se obtiene oro y plata (minerales de interés), cobre, molibdeno y otros metales en menor proporción. El resto de los compuestos resultantes del beneficio y de los minerales constituyen impactos ambientales que pueden presentarse en fase líquida, sólida o gaseosa. Este análisis se enfoca a la fase sólida – líquida que tiene el relave proveniente del proceso físico, químico y metalúrgico del proyecto Minero Rio Blanco.

El relave es el residuo final en el proceso de recuperación de los metales, principalmente está conformado por material sólido de tamaño pequeño menor a la arena, y agua formando un compuesto similar al lodo (denominado pulpa). (Pascó-Font, 2011)

La existencia de relaves mineros en zonas selváticas, agrícolas o residenciales constituye un riesgo de efectos adversos para la salud, el medioambiente y el desarrollo económico de dicha zona. Hay que tener en cuenta que en una piscina de relaves se acumulan materiales sólidos finos que se descartan de las operaciones de separación y obtención de los valores metálicos (oro en este caso). La composición de los sólidos sedimentados en las piscinas de relaves es muy variada y depende de las características del mineral y de los procesos (físicos, químicos y metalúrgicos) a los que ha sido sometido. Un depósito de relaves de beneficio de oro tendrá un contenido económico, que podrá ser recuperado con los procesos metalúrgicos adecuados y la tecnología apropiada para este fin. El contenido aurífero, en el relave minero, será el más bajo de acuerdo con la tecnificación utilizada durante los procesos metalúrgicos de beneficio, transporte, almacenamiento y operación del depósito en particular (Tchernitchin, 2006). Un depósito moderno tendrá mucho menos cantidad de oro que uno abandonado hace 20 años. Sin embargo, todo el resto de los compuestos presentes en el mineral procesado

que no se hayan retirado específicamente en procesos especiales, estarán presentes en el relave; dado que la extracción del valor económico de un mineral requiere de procedimientos técnicos diversos como gravimetría + flotación y/o lixiviación, la tasa de recuperación de oro puede llegar a más del 90% y la tasa de recuperación de plata puede llegar a más de 85%, lo cual demuestra la eficiencia de la selección. En base a las pruebas y las características mineralógicas del mineral, se considera que como factor propuesto para la optimización y mejora del proceso se debe adoptar como método de beneficio la concentración por Gravimetría + flotación + lixiviación sin Cianuro. El producto final del beneficio es un concentrado pesado (gravimétrico) concentrado de flotación y un concentrado de oro de lixiviación sin cianuración. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

Los relaves y sus aguas contendrán los materiales no recuperados en el beneficio del mineral, además de los eventuales reactivos necesarios para el proceso, principalmente, reactivos de flotación y/o lixiviación. El depósito de relaves podría presentar potenciales impactos ambientales derivados de una inadecuada gestión y manejo de los residuos tanto en fase sólida (los sólidos sedimentados en profundidad) como en fase acuosa (las aguas de salida del depósito de relaves) mismas que podrán ser recirculadas dentro del proceso de beneficio del mineral. En lo referente a la fase acuosa en la piscina de relaves se contendrá diversas especies disueltas, que serán reguladas según la normativa ambiental minera vigente en el Ecuador (Anexos TULSMA). En la medida que la autoridad acepte que las aguas de relave provenientes de los sistemas de tratamiento sean ambientalmente aceptables, se considerará pertinente la disposición en actividades agrícolas o en una eventual infiltración hacia las napas subterráneas sin producir un impacto ambiental importante.

Estudios y análisis de aguas realizados en depósitos de relave en proyectos mineros en Chile (Chacabuco-Polpaico) no permitieron verificar que las características físico químicas de la fase líquida del relave sean similares tanto en la superficie y en el fondo debido a que las aguas de fondo de una piscina reaccionan químicamente a baja

velocidad, con el sólido fino, lo cual solubiliza diversas sales en el agua estacionada en la parte inferior de la piscina. De esta manera, si el fondo de un depósito permite el flujo de agua hacia la napa subterránea (infiltración) existirá un impacto ambiental más elevado que el supuesto por las normas; exigiendo un oportuno manejo en la operación del depósito. (Tchernitchin, 2006)

La tecnología actual permite implementar proyectos ecoeficientes con bajo impacto para ejecutar las diferentes etapas de la actividad minera desde la prospección al beneficio y disposición final de residuos mineros con los más estrictos estándares de control ambiental, calidad y seguridad.

El objeto de esta investigación está centrado específicamente en proponer posibles alternativas para una eficiente gestión, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos mineros que se generan por los procesos de beneficio del mineral en el proyecto Río Blanco incluyendo procedimientos para el monitoreo de aguas y sedimentos, procedimientos para construcción y adecuación de relaveras, estrategias y técnicas de recirculación del agua residual de relaveras en el proceso de beneficio, tratamientos de relaves mediante fitorremediación y del agua residual del depósito mediante el diseño de una planta de detoxificación para la oxidación de cianuros y metales pesados; adicionalmente se considerará como disposición final de relaves el relleno hidráulico de los relaves deshidratados dentro de las galerías de explotación en el proyecto minero y el cierre técnico de los depósitos de relave para posteriormente utilizarlos como tierras agroproductivas.

El desarrollo metodológico de esta propuesta busca generar e implementar alternativas para la gestión, manejo, tratamiento y disposición final de los relaves producidos en el proceso de beneficio del mineral del proyecto Río Blanco, tomando como referencia técnica las medidas y acciones ejecutadas en proyectos mineros internacionales con especial énfasis en proyectos de Perú, Chile y Canadá; en virtud de proponer alternativas técnicas para prevenir, reducir, controlar, mitigar y remediar los

posibles impactos tanto en la salud humana y el medioambiente que puedan ocasionar el transporte, almacenamiento y operación de los depósitos de relaves.

2.6 Propuesta Metodológica de Gestión, Manejo, Tratamiento y Disposición Final

Las actividades exploratorias cuantificaron los recursos y reservas mineras existentes en el cuerpo mineralizado, La explotación del proyecto Río Blanco supone la extracción de aproximadamente 2.147.448 toneladas de material, de las cuales se obtendrá, según los cálculos de la concesionaria, unas 605.000 onzas de oro (18.817 toneladas) y 4.307.000 de onzas de plata (134 toneladas) con un rédito superior a los 1.000 millones de dólares. El proyecto encaja dentro de la clasificación de mediana minería, debido a que extraerá y procesará 800 toneladas de material por día. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

La generación de relaves producidos por el beneficio del mineral del proyecto Río Blanco debe tener una eficiente gestión, manejo, tratamiento y disposición final en cumplimiento de la normativa ambiental minera vigente en el país.

Los procedimientos, sistemas y técnicas de manejo, gestión, tratamiento y disposición final que se considerarán para la propuesta final dependerán del levantamiento de información en el proyecto minero, basándose en el resultado de los modelos de balance de masa y agua del proceso de beneficio del mineral, además del resultado del análisis físico químico del agua y sedimento que constituye el relave y la identificación de la infraestructura instalada y disponible que permitan desarrollar una propuesta metodología que contará con los procedimientos para la eficiente gestión de los relaves, técnicas de manejo y sistemas de tratamiento y disposición final adecuada.

Dentro del desarrollo de la propuesta se tiene como referencia la implementación de los siguientes criterios metodológicos para los procedimientos de gestión, técnicas de manejo y sistemas de tratamiento y disposición final, se tiene previsto:

Gestión de Relaves.

- Procedimientos estandarizados para la correcta construcción de diques y piscinas de relaves en el proyecto minero.
- Estrategias para la optimización del uso de agua y químicos en el proceso metalúrgico para la obtención del mineral de interés.

Manejo de Relaves.

- Implementación de obras de control para las aguas sedimentadas en la piscina de relaves, previo al inicio de construcciones asociadas a la ampliación de las piscinas o depósitos de relaves.
- Técnicas de recirculación de las aguas sedimentadas en la piscina del relave para el reingreso en el proceso metalúrgico, considerando análisis físico químico y metalúrgicos, a fin de evitar inconvenientes en los subprocesos de beneficio.
- Implementación de técnicas para riego y desarrollo de la agricultura limpia en las zonas de influencia del proyecto minero, previo tratamiento de las aguas residuales en las piscinas de relaves. (Proyectos Sociales Complementarios)
- Comprobar la existencia de planes de sellado de la piscina de relaves cuando termine su vida útil.
- Implementar una Plan de Monitoreo y Seguimiento para el transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición de relaves. Dentro del plan se realizarán muestreos periódicos de calidad de napas subterráneas y acuíferas en la piscina y en el dique de la relavera, a fin de determinar las características físico – químicas de suelo, sedimentos y agua residual. Además, los muestreos de calidad determinarán las condiciones hidráulicas y de estabilidad del depósito y dique de la relavera. Todas estas consideraciones permitirán tomar las medidas y acciones correspondientes, según el caso.
- Sistemas de drenaje en el depósito de relave y construcción de canales perimetrales en piscinas ya existentes.

Tratamiento de Relaves.

- Alternativas tratamiento de aguas cianuradas resultantes del proceso de beneficio y sedimentación en los depósitos de relave. (No se considera tratamiento de aguas acidas debido a que el deposito mineral es de baja sulfuración)
- Técnica de fitorremediación de relaves para estabilizar y retener metales pesados en las raíces de las plantas utilizadas en esta técnica.

Disposición Final de los Relaves.

- Relleno hidráulico de relaves secos en las galerías existentes por la explotación del proyecto minero Río Blanco.
- Utilización de los relaves para fabricación de ladrillos, depende análisis físico químico del sedimento.
- Cierre técnico del depósito de relaves para aplicarlo en el desarrollo de proyectos agrícolas mediante la aplicación de técnicas de estabilización de los depósitos llenos para evitar deslizamientos y controlar filtraciones, para posteriormente aplicar un programa de revegetación mediante la colocación de capas de grava, arcilla y geomembranas para luego sembrar pastos y posteriormente especies endémicas del área.

CAPÍTULO III

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXPLOTACIÓN Y BENEFICIO A REALIZARSE EN EL PROYECTO MINERO RÍO BLANCO.

3.1 Sistema de Explotación y transporte de la mina

En la vida útil de un proyecto minero, es de trascendental importancia considerar el desarrollo productivo del mismo, en función del cálculo de reservas minera y su ubicación, se determinará el método y sistema de explotación subterránea. En el caso de Río Blanco, el desarrollo será a largo plazo, debido a que la ubicación de la mina está en una zona montañosa de terreno escarpado, la pendiente del terreno de norte(alto) a sur(bajo), la altura geográfica y la diferencia de altura es relativamente grande.

El método de extracción diseñado tendrá influencia en el macizo, principalmente por la caída de escombros. Por lo tanto, es necesario definir el rango del movimiento de masas rocosa para garantizar que las actividades humanas de ingeniería e instalaciones estén en un área segura, fuera de la zona de movimiento crítico.

El punto de inicio de las actividades mineras está en la cota de 3740m.s.n.m, desde allí se franqueará el socavón lineal principal (4,8*4,0m) a partir de la coordenada E681059,184, N9687815,097 y H3740.000,00 con una longitud de unos 852 metros (incluyendo el segmento de pendiente plana). (GRUPO JUNFIELD, 2013)

A continuación, se franqueará respectivamente las rampas para la sección superior y la inferior, donde los segmentos sobre la cota 3740 utilizan la especificación (3,0*3,0 m) $i=25\%$. Ésta rampa se utiliza para el paso de las excavadoras y vehículos pequeños para el transporte de materiales, en donde, las curvas de retorno tienen pendiente plana con una longitud aproximada de 30m, y el segmento lineal de pendiente escarpada es de 100m. La longitud total de las rampas sobre la cota 3740 es de 750m, además, hay una galería plana de unos 100 metros de largo. Las rampas bajo el nivel 3740 utilizan la

especificación de (4,8*4,0m), $i=-10\%$, esta rampa se utiliza para el transporte principal de minerales, y el paso de las cargadoras y los vehículos pequeños para el transporte de materiales, en donde, las curvas de retorno tienen pendiente plana, con una longitud aproximada de 30m, y el segmento lineal de pendiente escarpada es de 100 a 300m. La longitud total de las rampas inferiores a 3740 es de 1090m. La longitud promedio de los cruceros de corte (3,0*3,0m) desde la galería principal en cada nivel es de unos 40m.

Los niveles de cota 3840 y 3590 tienen salida a la superficie en la ladera sur del yacimiento, la longitud y la galería en el nivel 3590, desde el yacimiento hasta la superficie en la ladera sur, es aproximadamente de 540m. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

Para facilitar el transporte del mineral, se diseña el sistema de Ore Pass, con un diámetro del conducto de 2,4 metros, y se utiliza el tipo de Ore Pass oblicuo directo en etapas múltiples para la descarga de minerales; siendo la longitud total del sistema galerías de Ore Pass de mineral y estéril de unos 800 metros. El mineral sobre la cota 3740 se envía hacia fuera por el nivel 3740 y los minerales bajo la cota 3740 se envían hacia fuera por el nivel inferior (Figura 11).

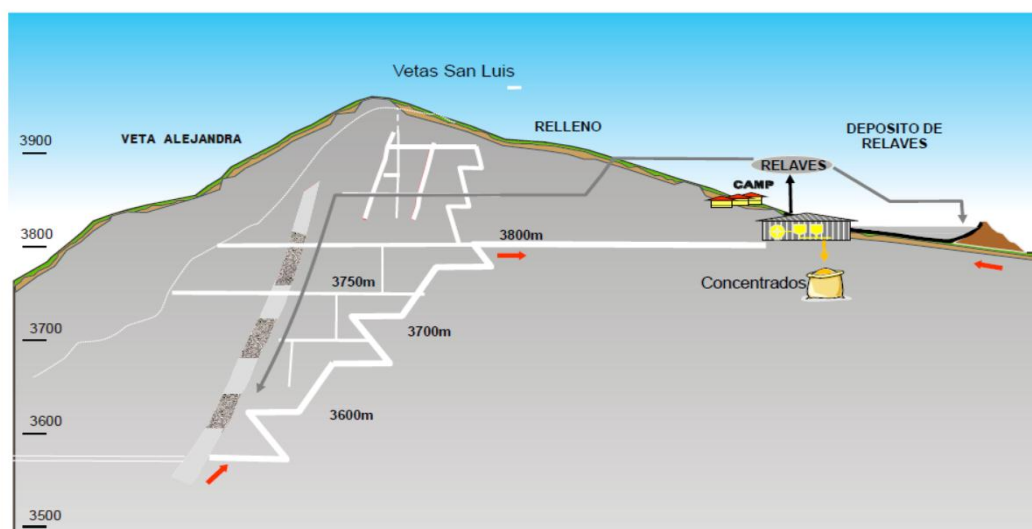


Figura 11 Sistema de Explotación del Yacimiento Mineral del P. Rio Blanco

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

3.1.1 Condiciones técnicas del depósito mineral

3.1.1.1 Condiciones hidrogeológicas

La topografía del proyecto y debido a la altura geográfica en la que se ubica el depósito mineral, no se tiene distribución de agua superficial, rocas carbonatadas, ni otras rocas solubles superficiales en los afloramientos del área o en perforaciones. Es así que, de acuerdo al modelo hidrogeológico las labores de explotación se verán influenciadas principalmente por infiltración de aguas lluvias por las fisuras o fracturas que se generen por adecuación y arranque del mineral de mina.

Debido a la topografía sinuosa del proyecto es difícil retener agua superficial; los depósitos están sobre la cota a 3.500 m.s.n.m., con un nivel freático entre la cota a 3.000 m.s.n.m.; la explotación de la mina se verá influenciada ligeramente por las condiciones hidrogeológicas de la mina que son simples (Terrambiente, 2011), debido a que no se tienen acuíferos superficiales.

Bajo estos antecedentes se propuso un modelo conceptual para el sitio de la mina, basados en los datos disponibles sobre los niveles del agua subterránea y el flujo en el sitio, junto con los datos de los sistemas hidrogeológicos comparables.

Se utilizó un rango de cálculos para estimar la tasa más probable de descarga de agua en la mina para la Veta Alejandra Norte (*Figura 12*). Se observó que los volúmenes calculados de desagüe son consistentes entre los diferentes métodos utilizados, que proporciona una mayor confianza en los valores determinados a pesar de la falta de disponibilidad de información específica del sitio. Es así que se recomendó que el sistema de drenaje debe ser diseñado en base a una tasa máxima de desagüe de 15 l/s. En cuanto al agua para la producción de la mina y consumo humano, se ha planteado las soluciones para las fuentes de agua. (WMC, 2007)



Figura 12 Veta Alejandra Norte y Veta San Luis

3.1.1.2 Características geotécnicas del yacimiento mineral

La evaluación a largo plazo sobre la estabilidad y diseño de datos para el plan de la mina se enfoca en la realización de un estudio sobre la estabilidad del subsuelo del pilar de corona de la Veta Alejandra Norte.

Dos métodos de clasificación de la masa de roca fueron utilizados para evaluar el estado de la masa de roca de la Veta Alejandra Norte, es decir, el índice Q de calidad de túneles de Barton y la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, mediante un análisis estadístico de Suma Acumulativa (CuSum) que permite la evaluación rápida de grandes volúmenes de datos, permitiendo la agrupación de datos con propiedades similares. Para la Veta Alejandra Norte este procedimiento dio lugar a una estimación promedio de 2,33 para Q y un RMR de 53. Esto representa que las condiciones del terreno pueden ser descritas como de regular a buenas. Hay poca diferencia en el promedio y el rango de valores para la Veta Alejandra Norte y los pilares inmediatos (tanto de la pared superior como del yacimiento) y esto muy probablemente es debido a la

presencia de stockwork¹ y la alteración dentro de la Veta Alejandra Norte. (Wardrop, 2007)

En el contexto de un diseño de explotación minera subterránea, se reconoce generalmente que un RMR mayor a 30 representa el límite para la implementación exitosa de la minería de agujeros largos. Los métodos de agujeros largos modificados (por ejemplo, agujero largo de ascenso corto) se aplican normalmente en las condiciones del terreno con un RMR entre 30 y 40. Es decir, el diseño de explotación subterránea que se tiene previsto hacer en el proyecto Rio Blanco, con los resultados obtenidos, es totalmente viable.

3.1.2 Cuantificación de reservas mineras

3.1.2.1 Certificación de las reservas del yacimiento

Según el análisis de los procesos de prospección y exploración del proyecto que se realizaron en campo por la empresa International Minerals Corporation (IMC), utilizando mediciones geoquímicas y geofísicas, se descubrieron anomalías de oro en superficie a través de geoquímica, y a continuación en estas anomalías, se utilizaron perforaciones para el seguimiento y control del cuerpo mineralizado; se franquearon socavones superficial en la parte Oeste que cortaron el cuerpo mineral; la red de perforaciones en el depósito principal es de 25x25 metros; la selección del método de exploración fue apropiada para obtener datos confiables. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

La evidencia técnica es científica y estricta; además, se utiliza un software de ingeniería minera, pertinente y adecuado a las necesidades tecnológicas actuales, para el modelamiento de modo que las estadísticas y estimaciones de los resultados de cálculo de las reservas sean precisas y avaladas por una norma internacional estandarizada (Tabla No. 4).

¹ Series de fisuras dicotómicas y ramificadas a gran escala, llenas de materia mineral.

Las zonas mineralizadas que IMC ha presentado en el informe de reservas incluyen principalmente los depósitos de Alejandra Norte y San Luis, entre los cuales el depósito principal es Alejandra Norte, que representa el 62% de la cantidad de reservas estimadas, y el 94% de los recursos medidos e indicados; al utilizar la ley corte (cut off) de 1g/t, el depósito de Alejandra Norte representa más del 90% del total de reservas. Todas las zonas mineralizadas identificadas por IMC fueron avaladas por Junefield Group, previo a la adquisición del proyecto minero.

En el cuadro siguiente se detalla los recursos y reservas existentes en la veta Alejandra Norte que representa más del 90% del total de la cantidad estimada hasta la fecha.

Tabla 4
Categorización de recursos y reservas

	Categorías Recursos y Reservas	Mineral (Ton)	Au (g/t)	Au (oz)	Ag (g/t)	Ag (oz)
Alejandra North	Probadas	142,560	10.8	49,000	90	410,000
	Probables	1,879,020	7.9	476,000	59	3,562,000
Total	Probadas y Probables	2,021,580	8.1	526,000	61	3,973,000
San Luis	Probadas	-	-	-	-	-
	Probables	125,868	19.5	79,000	83	334,000
Alejandra North y San Luis	Probadas y Probables	2,147,448	8.8	605,000	62	4,307,00

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

3.1.3 Diseño del sistema de explotación

3.1.3.1 Recursos y Reservas utilizadas en este diseño

Las reservas y recursos han sido calculadas con la norma NI 43-101², y acreditadas por el *Reglamento de Calificación de Recursos y Reservas Mineras para la República del Ecuador* publicado en el Registro Oficial Suplemento 714 del 17 de marzo de 2016. Todos los cálculos de ingeniería se han realizado considerando la reserva certificada de 2,147,448 de toneladas de mineral, detalladas en la Tabla No 3.

- a) Mineral disponible: 2,147,448 toneladas.
- b) Promedio de Au = 8,8g/t y promedio de Ag = 62g/t.
- c) La cantidad del metal de oro es de: $2,147,448 \times 8.8 = 18.897,12$ Kg.
- d) La cantidad de metal de plata es de: $2,147,448 \times 62 = 133.139$ Kg.

3.1.3.2 Capacidad de producción de la mina

Considerando que el proyecto minero tendrá una vida útil de 11 años, se verifica la capacidad de producción de la mina de acuerdo con las reservas industriales económicamente rentables, detalladas en la tabla 2. Según los informes geológicos (GRUPO JUNFIELD, 2013), las reservas y recursos existentes en el proyecto son de aproximadamente 2.147.448 de toneladas, para lo cual se deberá considerando una tasa de dilución del 20% y una tasa de pérdida del 10%, de acuerdo a la siguiente ecuación se tendrá:

$$A = Q\alpha/T \times (1-\beta)$$

Dónde:

² El NI 43-101 establece los estándares para toda divulgación pública de información técnico-científica sobre proyectos mineros. entró en vigor el 1 de febrero de 2001 y es una ley que se aplica en Canadá, y que tiene acogida mundialmente.

T—Duración de servicio (tiempo de vida) económicamente rentable, 6~12 años, contado 11 años;

Q—Reservas y recursos existentes, 2'147.448 t;

A—Producción anual de la mina, t/a;

α —Tasa de recuperación de mineral, 90%;

β —Tasa de dilución de mineral, 20%.

De acuerdo con los cálculos realizados, la producción anual de la mina es de 219.625 t/a, y teniendo en cuenta la extensión de la veta en profundidad, la escala de producción podría alcanzar los 240.000t/a con un promedio de explotación de 800t/día, dato que es razonable y considerado como base para el posterior diseño e implementación del sistema de beneficio de mineral.

3.1.3.3 Condiciones técnicas de la explotación

- **Yacimiento de Alejandra Norte**

Se presenta en forma de vetas, stockwork y en forma de filón grueso, con rumbo noreste y buzamiento de 70° inclinado a Sureste, el buzamiento en superficie es de 70-80° y en profundidad de 60-70°. El yacimiento está constituido por vetas de cuarzo y brechas hidrotermales, la longitud del depósito en la dirección del rumbo es de 500m, y en profundidad vertical es de 270m; desde la cota 3.820m hasta 3.550m; la potencia de la veta es muy variada, desde 0,3m a 27,9m; con valor promedio de aproximado de 10m; las leyes de mineral en g/t varían desde 3,0 a zonas en las cuales superan los 100 g/t, (GRUPO JUNFIELD, 2013) y de acuerdo con la tabla de reservas proporcionada por IMC, las leyes promedio son 8,1g/t Au y 61 g/t Ag.

- **Yacimiento de San Luis.**

Se encuentra al norte de la zona de “Alejandra Norte”, está separada de la veta Alejandra por una falla denominada también Falla Alejandra. El depósito de San Luis se

encuentra en la caja baja de la falla Alejandra de rumbo noreste; estos depósitos están cubiertos por rocas volcánicas, están conformados por vetas de cuarzo y brechas hidrotermales; los yacimientos están controlados estrictamente por la falla de rumbo noreste, por lo que se presentan en forma de vetas, stockwork y filones; con rumbo 70° al noreste, de una extensión de 370m, buzando al sureste de 50-60°, desde las cotas 3.700-3.900m, de profundidad vertical de 200m; la potencia de las vetas es muy variada, desde 0,5m a 10,0m; las leyes de mineral en g/t varían desde 3,0 a varias decenas (GRUPO JUNFIELD, 2013) y de acuerdo con la tabla de reservas proporcionada por IMC, la ley promedio es de 19,5g/t Au, y 83g/t Ag.

3.1.3.4 Plan de desarrollo y minado

El plan de desarrollo y minado contemplaba el destape a través de una rampa en espiral desde la zona sur del depósito, con bloques de explotación de 20 m; considerando medidas de seguridad para el personal y reduciendo los riesgos de trabajo y costos a más de que se optimiza la producción. A continuación, se detalla la propuesta indicada. (Figura 13)

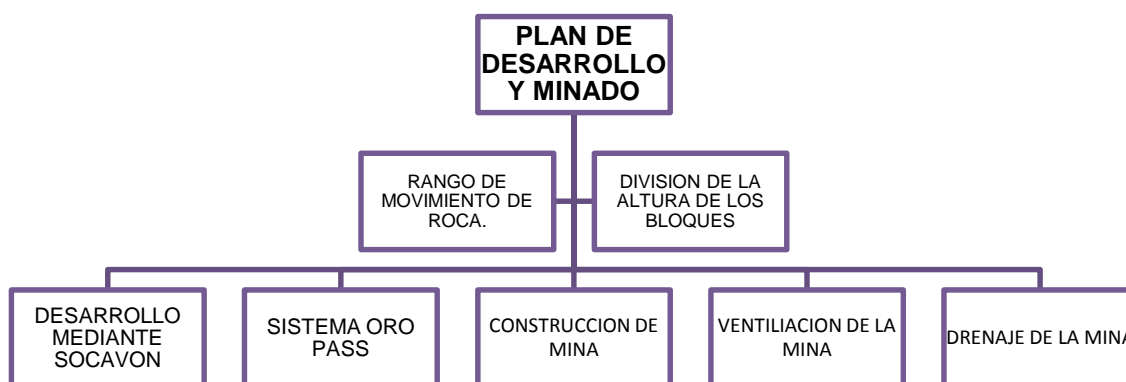


Figura 13 Plan de desarrollo de Mina

- **Rango de movimiento de la roca.**

El área donde se ubica el proyecto Río Blanco es una zona montañosa, de terreno escarpado, con pendiente descendente de norte a sur de una altitud relativamente grande.

Con el uso del relleno en la explotación de la mina, se evitará causar derrumbos y hundimientos a lo largo del tiempo, por lo tanto, ha sido necesario definir el alcance de movimiento de masas de roca para garantizar que las actividades humanas de ingeniería se mantengan en áreas seguras fuera de la zona de movimiento de masas.

- **División de la altura de los bloques de producción.**

La altura de los bloques de minado se basa en el estado actual del yacimiento, facilitando la explotación, reduciendo la inversión y optimizando la producción, finalmente se define la altura del bloque en 50m. Los niveles medios están en las cotas 3.840, 3.790, 3.740, 3.690, 3.640 y 3.590 respectivamente, en total 6. Entre los cuales, los niveles que corresponden a la sección del yacimiento de Alejandra Norte son 3.740, 3.690, 3.640 y 3.590; los niveles que corresponden a la sección del yacimiento principal de San Luis son 3.840, 3.790, 3.740 y 3.690.

3.1.3.5 Plan de desarrollo mediante socavón + rampa de retorno

Este plan consiste en la excavación de un socavón lineal (4,8 x 4,0m) a partir de la coordenada 681059,184 E, 9687815,097 N y H=3740,000; de una longitud de aproximadamente 850 metros a la cota 3.740 (segmento de pendiente plana). A continuación, se excavarán las rampas hacia las secciones superior e inferior respectivamente, donde los segmentos sobre la cota 3.740 tendrán la siguiente especificación (3,0 x 3,0m, i=25%), este segmento de rampa se utilizará para el paso de las excavadoras y vehículos pequeños para el transporte de materiales, donde las curvas de retorno tendrán pendiente plana, con la longitud de aproximadamente 30m, y el segmento lineal de pendiente inclinada será de 100m de longitud. La longitud total de las

rampas superiores a la cota 3.740 es de 750m; además, hay un tramo de galería de unos 100 metros de largo de pendiente plana. Las rampas bajo la cota 3.740 tendrán la siguiente especificación (4,8 x 4,0m; i=-10%), este segmento de rampa se utilizará para el transporte principal de mineral y para el paso de las excavadoras y vehículos pequeños para el transporte de materiales donde las curvas de retorno tendrán la pendiente plana, con la longitud aproximada de 30m, y el segmento lineal de pendiente inclinada será de 100m a 300m de longitud. La longitud total de las rampas bajo la cota 3.740 es de 1.090m. La longitud promedio de los cruces de corte (3,0 x 3,0m) a cada nivel es de aproximadamente 40m. (*ver Figura 8*)

La longitud de la galería de salida a la ladera sur por el nivel 3.840 y 3.590 (desde la veta hasta la superficie sur al nivel 3.590) es aproximadamente de: 540m.

La longitud total del sistema de Ore Pass de mineral y estéril es de aproximadamente 800 metros.

3.1.3.6 Sistema de Ore Pass

Para facilitar el transporte de mineral, se ha diseñado el sistema de Ore Pass, con el diámetro de 2,4 metros y se utilizará el tipo de Ore Pass oblicuo de múltiples etapas para la descarga de minerales. El mineral sobre la cota 3.740 se envía hacia fuera por el nivel 3.740, y el mineral bajo la cota 3.740 se envía hacia fuera por el nivel inferior.

3.1.3.7 Cronograma de desarrollo (construcción de la Mina)

El plan de trabajo para el socavón principal es de 120 m/mes, para el sistema de Ore Pass es de 70 m/mes. Se construirá el socavón principal y el secundario al mismo tiempo, y el sistema de Ore Pass se construirá por etapas a medida que avanza la construcción de los niveles. La duración de la construcción de la mina será de 1,8 años. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

3.1.3.8 Ventilación de la mina

Para la ventilación de mina, se aplica el método de toma de aire central y salida de aire diagonal. El aire fresco ingresa por el socavón primario 3.740 y por el socavón secundario 3.590, pasa por los cruces de corte, para entrar en las galerías a lo largo de las vetas y llegar a cada frente de trabajo; el aire viciado se extrae a la superficie mediante un ventilador primario a través del socavón de retorno de aire 3.840, pasando por las galerías y chimeneas de retorno de aire. (ver Figura 14)

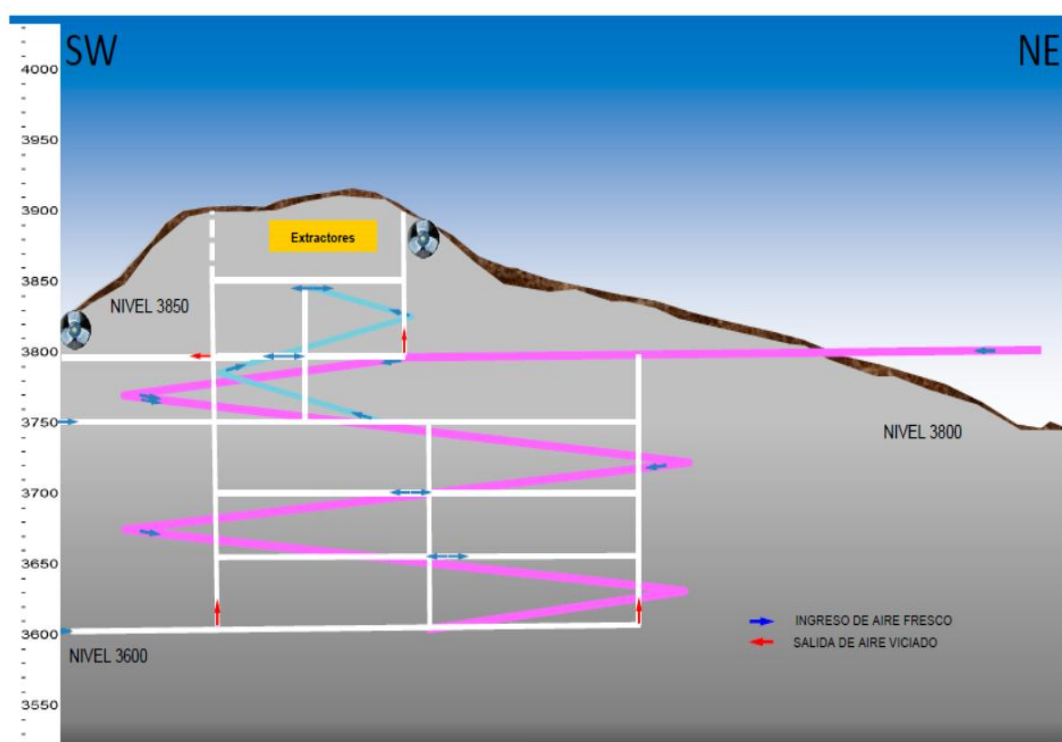


Figura 14 Ventilación en la Mina

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

3.1.3.9 Drenaje de la mina

Las condiciones hidrogeológicas de la mina son simples. El área de la mina, el depósito y el área de explotación están sobre el nivel freático; el mayor flujo de agua al interior de la mina es de 15 l/s, por lo que no es necesario diseñar el sistema de drenaje; las aguas

de mina de cada nivel fluyen automáticamente a la piscina en superficie en la cota 3.590m, a través de túneles y chimeneas, para ser bombeadas a la piscina de la planta de beneficio en la zona alta para reciclar si hubiera exceso de agua. (ver Figura 15)

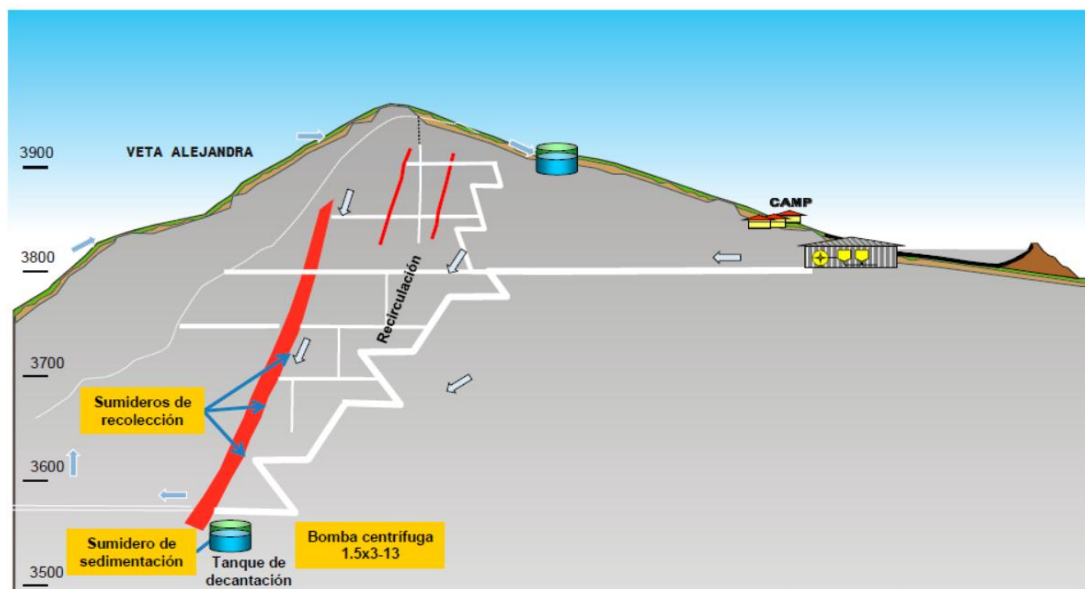


Figura 15 Drenaje en de las labores mineras de explotación

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

3.1.4 Método de minado

3.1.4.1 Secuencia de minado

La secuencia de minado se realiza en forma longitudinal en los niveles 3.840m, 3.790m, 3.740m, 3.690m, 3.640m, 3.590m, desde el nivel 3.740m, y en cada nivel de abajo hacia arriba la extracción se realiza desde los bordes del yacimiento y se extraen por los cruces de corte; cuando las vetas están separadas en el nivel, se realiza el minado simultáneamente.

3.1.4.2 Descripción del método de minado

Debido a la ubicación del yacimiento y a sus condiciones técnico - mineras, se ha definido que para espesores de veta de más de 5m aplicar se aplicara el sistema de

extracción de “Sublevel Stopping” (Minado por subniveles de perforación con relleno ascendente) y para espesores de veta menores a 5m el sistema “Shrinkage Stopping” (minado por almacenamiento provisional).

La utilización de estas técnicas y sistemas de extracción no modifican los ciclos de producción (Figura 15) y más bien mejoran las condiciones de seguridad en los rebajes en vista, a fin de que el macizo rocoso presente mejores condiciones geotécnicas.

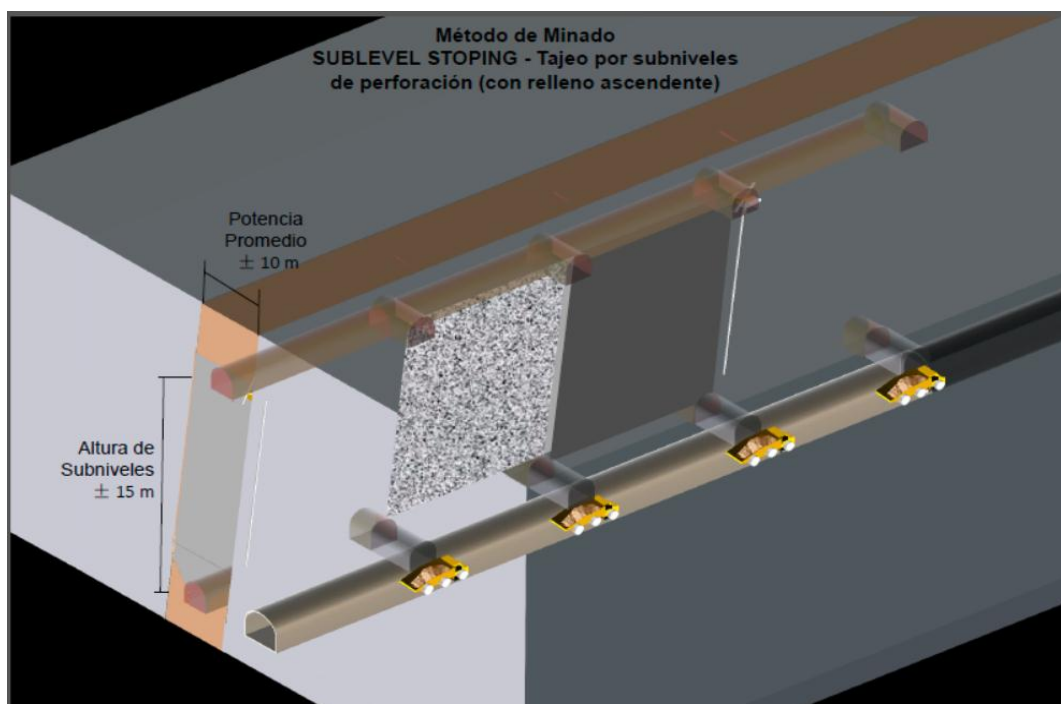


Figura 16 Método de Minado

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

3.1.4.3 Método y secuencia de minado

De acuerdo con el espesor del yacimiento y la situación real del rebaje, se construye el frente de avance a lo largo del rumbo del rebaje o en dirección vertical, la excavación se realiza en intervalos desde la pared de la caja baja hacia la pared de la caja alta del cuerpo mineral. La sección es generalmente de $8,0 \times 4,0\text{m}^2$, y puede ampliarse o disminuirse de acuerdo con las circunstancias específicas. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

El minado del rebaje se realiza en pisos de abajo hacia arriba (ascendentes) a lo largo del yacimiento. Los dos bloques mineros adyacentes no pueden explotarse al mismo tiempo, y se debe seguir estrictamente el minado del primer bloque y el segundo bloque secuencialmente a intervalos. (*Ver Figura 16*)

3.1.5 Carga y transporte de minerales

Para el transporte de minerales se utilizará un cargador eléctrico o uno a diésel, el volumen de será de 1 metro cúbico para el transporte del mineral acumulado en el rebaje con una distancia de recorrido de entre 50 a 80 m, en cambio, para las cámaras mineras de mayor distancia, se utilizarán vehículos tipo Scoop. Los minerales caídos en el rebaje después de la voladura, serán transportados por el cargador o por el vehículo hasta el Ore Pass del rebaje, para entrar al nivel de transporte a través del embudo en la boca inferior del Ore Pass. El volumen de mineral producido por una voladura en la cámara del rebaje fluctuara entre 30 a 35 toneladas, 2 a 3 rebajes compartirán un mismo cargador. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

Todo el mineral que se llegue al sistema Ore Pass será trasladado hasta la planta de beneficio para su respectivo procesamiento, de acuerdo se explica en el inciso 3.2.

3.2 Proceso de Beneficio para el mineral obtenido de la explotación del mineral del proyecto minero

3.2.1 Pruebas de beneficio e indicadores de proceso

Según las pruebas de laboratorio sobre el mineral de Río Blanco al adoptar el proceso de beneficio Gravimetría + flotación Lixiviación, la tasa de recuperación de oro puede llegar a más del 90% y la tasa de recuperación de plata puede llegar a más de 85%, lo cual demuestra la validez de la selección.

En base a las pruebas y las características mineralógicas del mineral (*ver 2.4.4.4*), se considera que como factor propuesto para la optimización y mejora del proceso se debe

adoptar como método de beneficio la concentración por Gravimetría + Flotación + Lixiviación sin cianuro. El producto final del beneficio será un concentrado pesado (gravimétrico) concentrado de flotación y un concentrado de oro de lixiviación sin cianuración. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

3.2.2 Procesos seleccionados para el beneficio del mineral

Los principios de diseño del proceso de beneficio, se basa principalmente en el informe de ensayos metalúrgicos a pequeña escala y con referencia al desarrollo tecnológico y requerimientos de la Industria Nacional China, destino final de los concentrados de oro generados en el proyecto minero.

La selección de los parámetros de proceso se basa principalmente en informes de ensayos y prácticas de producción, considerando tanto el desarrollo potencial del proyecto minero y la posibilidad, de que en futuro, se amplíe las productividad de la mina.

3.2.2.1 Determinación de procesos del beneficio

Según la naturaleza y características del mineral del yacimiento minero y teniendo como referencia las prácticas producción de proyectos mineros similares (GRUPO JUNFIELD, 2013), se plantea utilizar el proceso de dos etapas de molienda, concentración gravimétrica, concentración por flotación, lixiviación por agitación de los relaves de flotación y adición de polvo de zinc.

El proceso se compone de ocho partes: trituración, clasificación y molienda, concentración gravimétrica, concentración por flotación, lixiviación, deshidratación del producto y el transporte de relaves.

- **Proceso de trituración:** Se usa el proceso en dos etapas de un circuito cerrado, entre los cuales en la primera etapa se utiliza una trituradora de mandíbula y en la segunda etapa se utiliza una trituradora de cono, el tamaño final de la partícula triturada es de 20mm. Debido a que el mineral contiene una cierta cantidad de

fimos, se incluye un alimentador vibratorio de varilla en la entrada de la trituradora de mandíbula.

- **Proceso de clasificación de molienda:** Se utiliza la molienda continua en dos etapas, el primer molino está en circuito cerrado con el clasificador espiral, el segundo molino de bolas está en circuito cerrado con un hidrociclón; la granulometría del flujo de salida del hidrociclón está calibrada en 0.074mm al 80%.
- **Proceso de concentración gravimétrica:** El mineral que sale de la primera etapa de clasificación y molienda pasa al concentrador Nelson, los relaves de Nelson fluyen por gravedad hacia el hidrociclón de la segunda etapa para entregarse a la piscina de bomba de arenas mineras.
- **Proceso de concentración por flotación:** El desbordamiento (overflow) del hidrociclón fluye por gravedad hacia el tanque de agitación antes de la flotación y después de añadir la dosificación a la pulpa, se utiliza el proceso de flotación de un grueso, dos barridos, dos finos, y el retorno del mineral de orden medio.
- **Proceso de Lixiviación:** Los relaves de flotación se clasifican a través de un hidrociclón; las arenas sedimentadas (underflow) entran en el molino de bolas para ser remolidas; el desbordamiento (overflow) del hidrociclón entra en el espesador para la deshidratación; el agua desbordada del espesador vuelve a la molienda para la operación de recirculación de agua por niveles; el flujo inferior del tanque espesador se envía a la operación de lixiviación por una bomba de solidos; se utiliza el proceso de baño, lavado y el remplazo mediante la adición de cianuro, polvo de zinc para la lixiviación.

- **Proceso de deshidratación del producto:** El concentrado gravimétrico se seca naturalmente y se aplica el proceso de deshidratación por espesamiento + filtro de prensa.
- **Transporte de relaves secos:** Utilizando un hidrociclón y tamiz vibratorio de alta frecuencia + cono espesador + deshidratador de disco al vacío. El tamiz de alta frecuencia y el deshidratador de disco al vacío transportarán los relaves, mediante banda, hasta el depósito de relaves secos.

3.2.3 Distribución de la planta de beneficio

3.2.3.1 Composición de la planta

La planta de beneficio se compone de: planta de trituración y cribado, planta de molienda y separación, concentración, lixiviación, deshidratación y otros componentes. La superficie de la planta de trituración y cribado es de aproximadamente 250m², la de molienda es de aproximadamente 843m², la de Lixiviación es de aproximadamente 518m², la de deshidratación de concentrado de oro es de 240m² (Figura 17).

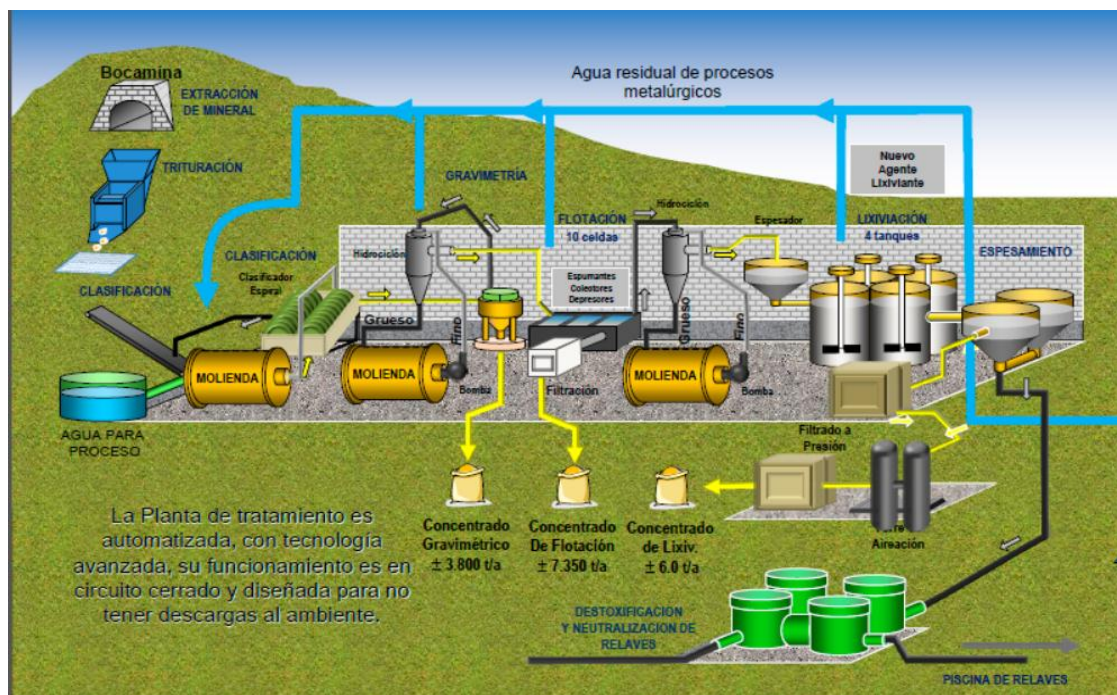


Figura 17 Composición de la Planta de Beneficio

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

3.2.3.2 Características de diseño de la planta

La configuración de la planta de beneficio está determinada principalmente de acuerdo con las condiciones del terreno, se debe tratar de asegurar el flujo automático o semi-automático de los materiales. De acuerdo con las condiciones reales del terreno, la distribución de la planta se divide en proceso de trituración y cribado, de clasificación y molienda, flotación, lixiviación del concentrado y deshidratación del concentrado.

3.2.4 Distribución de los dispositivos y procesos en la planta

Los procesos metalúrgicos de beneficio para la obtención del mineral de interés están distribuidos de acuerdo con el Figura 18.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO EXTRACCIÓN DE ORO

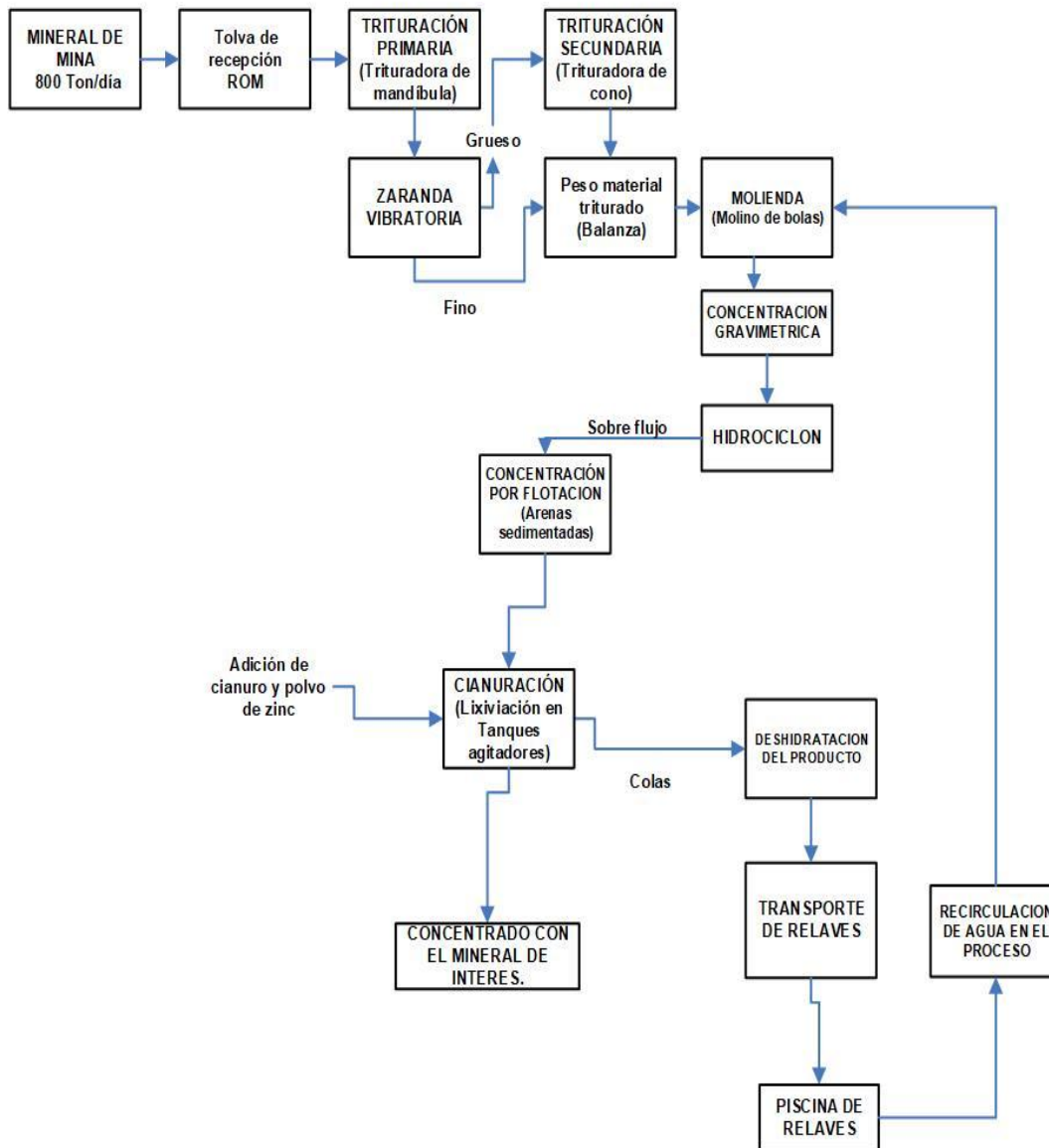


Figura 18 Diagrama de Flujo del Proceso de Extracción de Oro

3.2.4.1 Disposición del equipo de trituración y cribado

La escala de la planta de trituración es 1.000t/d, el tamaño máximo del mineral es de 350mm, el tamaño final del mineral triturado es de 20mm. El peso volumétrico promedio para el mineral se estima en 1,7t/m³ para un grado medio de trituración, el sistema de trabajo de la planta de trituración es 3 turnos /día, con 8 horas por turno.

- Se utiliza el tamiz de rejilla de 350x350mm en la parte superior del depósito de mineral para controlar la granulometría grande; en el fondo del depósito de mineral se utiliza el alimentador para descarga a la correa #1 (V=0,8m/s, B=1000mm, luego ingresa al alimentador vibratorio de varilla antes de entrar en la trituración primaria, el equipo de trituración primaria es la trituradora C80.
- El producto de la trituradora C80 es llevado por la correa #2 (V=1,25m/sB=800mm) a la planta de cribado. El equipo de cribado es el tamiz vibratorio de dos capas.
- El producto en el tamiz de dos capas es llevado a través de la correa #3 (V=1,25m/s B=650mm) hasta el depósito de mineral medio antes de entrar a la trituración fina. El producto fino del tamiz es el definitivo (granulometría de – 20mm), y se envía a través de la correa #4 (V=0,8m/s, B=650mm) hacia el depósito de mineral fino.
- Debajo del depósito de medios está instalada la correa corta (V=0,5-0,8m/s, B=800mm; los materiales descargados a esta correa entran en la trituración fina; el equipo de trituración fina es la trituradora de cono. El producto de la trituración fina es recirculado a través de la correa #2 al circuito de cribado. (ver Figura 17)

3.2.4.2 Disposición del equipo de molienda y concentración gravimétrica

Se utiliza un proceso en circuito cerrado en dos etapas para el proceso de selección por gravedad y clasificación de molienda.

La capacidad de tratamiento de trituración y clasificación es de 800t/d. El tamaño de partícula de mineral suministrado para la molienda es el tamaño del producto triturado (20mm), y el tamaño de la partícula final del mineral de molienda es de 200 μ al 80%. Se utiliza el proceso de molienda de circuito cerrado de dos etapas. Se utiliza el proceso de un grueso, dos finos, dos barridos, y el retorno del mineral de orden medio para la operación de flotación. El sistema de trabajo en la etapa de molienda de mineral y en la etapa de flotación es de 3 turnos cada día, 8 horas para cada turno. El proceso de la molienda del mineral se detalla:

- En la parte inferior del depósito de mineral fino, se instalará el alimentador vibrador eléctrico, el producto del tamiz es enviado a través de la correa # 5 ($V=0,5\text{m/s}$, $B=650\text{mm}$) al molino de bolas.
- Se utiliza el proceso de clasificación y molienda en circuito cerrado en combinación con el molino de bolas y el clasificador espiral para la clasificación de la molienda de la primera etapa, la granulometría de desbordamiento del clasificador está controlada en 200 μ al 54%;
- El desbordamiento del clasificador en el primer tramo (fino), fluye por la gravedad hacia el concentrador gravimétrico Nelson. El producto grueso del clasificador, fluye por gravedad a la segunda fase del circuito de molienda. El concentrado gravimétrico es depositado en la piscina de concentrado.
- Se utiliza el proceso de clasificación y molienda en circuito cerrado en combinación con el molino de bolas y el ciclón de $\Phi 360$ para la clasificación de la molienda de la segunda etapa, y la granulometría del desbordamiento del clasificador está controlada en 200 μ al 80%. (ver Figura 17)

3.2.4.3 Disposición del dispositivo y proceso de flotación

Las operaciones correspondientes a la flotación y molienda de mineral son:

- La concentración de desbordamiento “overflow” del ciclón, se puede ajustar al 30%.
- La concentración para una operación de flotación adecuada es concentración de la pulpa gruesa de 30%, fina de 25%.

Con referencia a las prácticas de proyectos mineros similares, se diseña que el tiempo de selección gruesa más el barrido y la selección de flotación total es de 30 minutos.

- Se utiliza el proceso de un grueso, dos finos, dos barridos, y el retorno del mineral de orden medio para la operación de flotación, para la selección gruesa y el barrido, se utilizará un total de 7 tanques; mientras que para la selección fina se operará con un tanque para cada etapa

El tanque dosificador está dentro de la planta de la molienda, programado para la dosificación automática. (*ver Figura 17*)

3.2.4.4 Disposición del dispositivo y proceso de Lixiviación

Los relaves de flotación, después de la clasificación y molienda, entran en el espesador para deshidratación, y luego entran a la etapa de lixiviación, utilizando un nuevo agente de lixiviación que no produce contaminación, proceso en el cual se realiza: un lavado y el reemplazo de polvo de zinc. El sistema de trabajo de la planta de lixiviación es de 3 turnos, 8 horas para cada turno.

Para el proceso automático de remolienda, clasificación, concentración y deshidratación de relaves de flotación dentro del proceso de lixiviación, se realiza un baño y un lavado del flujo inferior de concentrado, y del proceso de remplazo con polvo de zinc para optimizar el proceso de lixiviación. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

- Los relaves de flotación ingresan por gravedad en la bomba de arena, para elevar los lodos hasta el grupo de hidrociclones de $\Phi 250$ para clasificación; el desbordamiento fluye por gravedad hacia la deshidratación, las arena

sedimentadas entra en el molino de bolas, y desde el molino de bolas se descarga el producto al tanque de la bomba de arena.

- El flujo inferior del espesador se envía mediante la bomba de arenas hacia el tanque de agitación o lixiviación con cianuro.
- Después de la lixiviación por agitación, las arenas de mineral se envían mediante la bomba de arenas hacia el espesador para el lavado, y los relaves de lavado fluyen por gravedad al depósito de relaves mezclados con agua. (ver Figura 12)

3.2.4.5 Disposición del dispositivo y proceso de deshidratación

La tasa de producción del concentrado de flotación es de 3,4 %, con la capacidad de la planta de beneficio para 800t/d, y la capacidad de procesamiento de la planta de deshidratación (secado) de concentrado de oro es de 27,2 t/d (GRUPO JUNFIELD, 2013). Se diseña el proceso de la deshidratación en dos etapas: espesador más el filtro de prensa.

Se utiliza un proceso de dos etapas de deshidratación para el secado de los concentrados:

- Mediante bombeo, la espuma de flotación que contiene el concentrado es enviada al espesador común de $\Phi 12\text{m}$.
- Después de un período de decantación, los lodos sedimentados fluyen a través de la bomba de Zeus hasta el filtro de prensa de para la deshidratación secundaria.
- Debajo del filtro de prensa, se instala una correa transportadora, para facilitar el empaquetado de los productos después de la deshidratación. (ver Figura 12)

3.2.4.6 Depósito de concentrado

Después de las dos etapas de deshidratación del concentrado de flotación, este permanece encapsulado y apilado en la planta de deshidratación; la altura h de

almacenamiento es de 2 metros. De acuerdo con la producción real y la situación del transporte, el tiempo diseñado para el almacenamiento del concentrado es de 30 días, considerando una densidad aparente del concentrado de 2.8t/m^3 , entonces se infiere la capacidad de almacenamiento requerido para el depósito de concentrado:

- $Q=27,2 \times 30=816\text{t}$
- Volumen eficaz para el depósito de concentrado: $V=Q/\gamma=816/2,8=291\text{m}^3$
- Área eficaz requerida para el depósito de concentrado $S=V/h=291/2=145,5\text{m}^2$

Por lo tanto, durante el diseño de la planta de deshidratación se debe reservar el espacio correspondiente para el almacenamiento de concentrado. Para 30 días de acumulación ininterrumpida.

3.2.4.7 Transporte de relaves en seco

Las condiciones para el transporte de los relaves secos hacia la relavera son las siguientes:

- Cantidad de mineral de alimentación: 31.78t/h
- Granularidad del mineral de alimentación: $325\ \mu$ al 80%
- Concentración de desbordamiento: 15%
- Concentración de arena: 60%
- Concentración del mineral de alimentación: 30%

La Tabla No 5 demuestra el cálculo del equilibrio entre los materiales que es transportado al depósito de relaves. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

Tabla 5*Resultados de la calculación del equilibrio de los materiales*

Ítem	Mineral alimentador	Desbordamiento	Arena
Cantidad del mineral seco t/h	31.78	10.59	21.19
Relación líquido-sólido	2.33	5.67	0.67
Concentración pulpa%	30	15	60
Concentración en volumen de pulpa%	13.7	6.14	35.69
Densidad de pula t/m3	1.233	1.104	1.607
Flujo de volumen pulpa m3/h	85.92	63.93	21.99
Flujo de agua m3/h	74.15	60.01	14.14

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

3.3 Rendimiento técnico del procesamiento de mineral

3.3.1 Situación básica de la prueba metalúrgica de beneficio

Fase Uno: El objetivo principal del trabajo de esta fase fue establecer condiciones de lixiviación "estandarizada" para el uso en pruebas de variabilidad en todo el yacimiento. Las muestras están formadas por muestras obtenidos a partir de los testigos de las perforaciones que estaban disponibles desde febrero del 2004, y de la roca fresca de la pared de la galería inferior de la veta Alejandra Norte.

Fase Dos: El objetivo principal del trabajo de esta fase fue evaluar la respuesta de las muestras de perforación de cuatro zonas adicionales a las condiciones de lixiviación "estandarizadas" establecidas en la Fase Uno. Las recuperaciones pobres de lixiviación de varias muestras de menor ley evaluadas en la Fase Dos dieron lugar al trabajo de pruebas de **la Fase Tres**; que mostraron los efectos del contenido de arsénico en respuesta a la lixiviación de las muestras tomadas en todo el yacimiento.

En julio de 2013, JUNEFIELD GROUP tomó 83kg de muestra con mineralización para enviar a Hunan Gold Mining Group, la misma que encargó a Chenzhou Mining (Fase

Tres) para la realización de un estudio de ensayos de beneficio, logrando excelentes indicadores experimentales.

3.3.2 Prueba de lixiviación

Se ha llevado a cabo pruebas de lixiviación en 70 muestras de núcleo de perforación, y se ha determinado la ley del mineral que contiene As por el impacto en la lixiviación (como se muestra a continuación). A partir de los resultados de pruebas, cuando el mineral contiene un promedio de Au=6,75g/t y As=0,269%, la tasa de lixiviación y por ende de recuperación de oro promedia será de solo el 60%.

Tabla 6

Resultados de pruebas de lixiviación del mineral

Muestra	Au (g/t)	As (%)	Tasa de recuperación de lixiviación
212	4,84	0,0512	99%
228	6,42	0,5512	55%
232	2,91	0,3221	69%
504	34,81	0,0498	45%
509	5,29	0,0128	99%
2611	6,05	0,3478	76%
2613	3,13	0,2242	79%
2615	5,22	0,1396	82%
4619	1,55	0,2710	65%
4733	3,55	0,1327	100%
7213	1,18	0,2764	37%
7217	7,87	0,2982	57%
7304	6,7	0,0538	81%
7309	12,45	0,0428	70%
7311	28,6	0,0500	58%
7316	7,92	0,3018	68%
7417	2,97	0,2945	40%
7506	5,21	0,1478	72%
7510	5,09	0,3900	59%
7709	3,84	0,1935	71%
7713	2,37	0,0888	62%
7903	6,75	0,2000	68%
8206	4,86	0,0472	68%
8218	5,36	0,0979	44%
8225	13,55	0,3445	88%
8303	12,75	0,0499	77%
8308	5,09	0,1283	87%
8406	5,05	0,3240	70%

CONTINÚA

8413	5,43	0,9074	32%
8415	3,23	0,3323	71%
8416	0,45	0,0524	67%
8505	2,73	0,0481	78%
8522	1,65	0,0502	89%
8610	3,46	0,5163	70%
8621	4,05	0,6150	42%
8703	47,1	0,0515	68%
8801	1,09	0,0486	99%
8810	5,45	0,2611	60%
9006	5,21	0,3442	50%
9008	3,82	0,0532	77%
9010	5,25	0,2620	63%
9012	6,53	0,5727	38%
9013	9,32	0,4504	61%
9109	8,01	0,538	48%
9118	4,28	0,3055	47%
9120	18,5	0,3033	49%
9122	5,87	0,2200	40%
9209	4,4	0,0501	51%
9213	4,24	0,0514	71%
9214	5,29	0,0523	44%
9221	8,93	0,0572	36%
9302	1,24	0,2602	60%
9401	3,61	0,3317	53%
9406	3,62	0,3742	46%
9410	6,06	0,3283	36%
9418	19,9	0,3870	54%
9421	5,81	0,6847	40%
9424	5,88	0,1095	64%
9432	1,15	0,0640	43%
9433	1,81	0,3403	73%
9504	1,88	0,3273	13%
9716	4,04	0,3456	28%
9811	3,84	0,3451	47%
9813	5,4	0,2409	69%
10004	5,48	0,1907	84%
10011	3,54	0,2786	42%
10013	7,85	0,3710	66%
10109	5,64	0,9368	21%
10115	5,42	0,7540	32%
10117	4,76	0,6060	58%
	6,75	0,2693	60%
Total 70 muestras			

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

3.3.3 Pruebas preliminares sobre el proceso de beneficio

De julio a diciembre de 2013, el laboratorio Chenzhou Mining llevó a cabo un pequeño estudio experimental preliminar de beneficio mediante un proceso gravimétrico + flotación + lixiviación de relaves de flotación, en muestras con valores de Au=8,85g/t, y Ag=164,82g/t, se logró un concentrado gravimétrico de Au=160,92g/t, Ag=1.534,95g/t, con una tasa de recuperación en concentrado gravimétrico de Au=37,82%, Ag=19,40%. La recuperación por gravimetría es Au= 221,20 g/t y Ag =6.327,17 g/t de concentrado; la recuperación por flotación fue de Au= 40,27% y Ag=61,85%; la recuperación por lixiviación Au=15,26% y Ag= 7,06%; La recuperación total Au=93,35% y Ag= 88,34%. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

3.4 Balance de materiales

El Balance Metalúrgico es un sistema de información análogo a un balance másico de minerales, mismo que para cualquier empresa dedicada a la refinación y/o acopio de minerales permite determinar los resultados de interés para optimizar recursos, planificar un desarrollo y producción sostenible a la demanda del mercado actual de minerales (Ortiz, 2008).

El balance metalúrgico o contabilidad metalúrgica se efectúa en una planta concentradora para determinar la producción diaria, la eficacia o recuperación obtenida, la calidad de los concentrados. Generalmente se emplea dos métodos principales de contabilidad metalúrgica:

- El sistema retrospectivo.
- El sistema inspección entrada/inspección salida.

De una u otra manera, estos dos modos de balance, en flotación de minerales, al igual que cualquier otro proceso de concentración, la cuantificación se puede efectuar a través

de dos expresiones matemáticas que se las denomina Razón de Concentración ³ y Recuperación⁴.

A continuación, se muestran los resultados del balance de materiales en dos etapas del proceso de beneficio. (ver 3.3.3)

Tabla 7

Resultado del balance de materiales en la etapa de molienda

Artículos	Suministro de mineral	Desbordamiento (overflow)	Sedimentación (Arenas)
Mineral seco t/h	105,94	33,33	72,61
Relación entre líquido y sólido	1	2.333	0,389
Concentración en masa de la pulpa %	50	30	72
Concentración en volumen de la pulpa %	27,02	13,70	48,77
Densidad de la pulpa t/m ³	1.459	1.233	1.829
Caudal del volumen de pulpa m ³ /h	145,23	90,09	55,14
Caudal de agua m ³ /h	106,01	77,76	28,25

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

³ Directamente expresa cuántas toneladas de mineral de cabeza se necesitan procesar en la planta concentradora para obtener una tonelada de concentrado (Ortiz, 2008).

⁴ Eficiencia o rendimiento del tratamiento y está expresado en porcentaje señala cuánto del elemento valioso que ingresa al tratamiento, pasa al concentrado (Ortiz, 2008).

Tabla 8*Resultado del balance de materiales en la etapa de lixiviación*

Artículos	Suministro de mineral	Desbordamiento (overflow)	Sedimentación (Arenas)
Mineral seco t/h	116,66	33,33	83,33
Relación entre líquido y sólido	2,10	5,67	0,67
Concentración en masa de la pulpa %	32,31	15,00	60,00
Concentración en volumen de la pulpa %	14,56	5,93	34,88
Densidad de la pulpa t/m ³	1,26	1,11	1,63
Flujo del volumen de pulpa m ³ /h	286,08	200,77	85,31
Flujo de agua m ³ /h	244,42	188,87	55,55

Fuente: (GRUPO JUNFIELD, 2013)

3.5 Caracterización del relave minero

3.5.1 Calidad del relave minero (Análisis Geoquímico)

El relave es de naturaleza polimetálica, el análisis geoquímico permitirá determinar las concentraciones de metales pesados como cobre, plomo, zinc, hierro, cadmio, arsénico, entre otros. Esta naturaleza hace que el relave sea un potencial generador de aguas contaminantes, ventajosamente el relave que se producirá por el beneficio del mineral del proyecto Rio Blanco será de baja sulfuración evitando generar aguas ácidas.

3.5.2 Prueba de análisis granulométrico

Este análisis permitirá determinar la distribución del tamaño de las partículas o granos que constituyen el relave minero, misma que se analiza en base al porcentaje del peso total del relave analizado.

La fracción muy gruesa consiste en fragmentos de relave grueso, con formas angulares, redondeadas y/o planos de composición compleja y polimetálica.

En las fracciones finas y muy finas, cada grano está constituido de un solo mineral. Las partículas pueden tener formas angulares, tubulares o escamas, pero nunca redondeadas (Romero A. , 2011)

3.5.3 Velocidad de sedimentación (prueba del slump)

Para la realización de esta prueba se utiliza un cono de base menor o igual a 10 cm, y base mayor o igual a 20 cm y una altura igual a 30 cm. La prueba del slump consiste en depositar el relave dentro de un cono, luego se retira el cono de metal y se mide el cono formado por el material en el momento que se descarga el relleno; la altura de este cono debe ser de 12" para que se puedan depositar y acomodar en el tajeo. (Romero, 2011)

Para la prueba se utiliza, las siguientes condiciones:

- Capacidad del cono: 5 litros
- Relación de mezcla: 1 a 1
- Peso de arena: Igual valor al del peso del agua, kg
- Peso de agua: Igual valor al del peso de arena, kg.

3.5.4 Caracterización del relave generado en el proyecto minero

Los procesos y subprocesos metalúrgicos de beneficio determinan la generación del relave dentro del proyecto minero (GRUPO JUNFIELD, 2013), mismo que se indica a continuación en la Tabla No 9.

Tabla 9*Caracterización del Relave en los subprocesos de beneficio*

INDICADOR	UNIDAD	CANTIDAD
Cantidad de mineral de tratamiento (330 días)	t/d	800
	t/a	264.000
Ley de mineral : Au	g/t	7,23
Ley de mineral : Ag	g/t	50,00
Producción concentrado gravimétrico	t/a	3816,00
Contenido: Au	kg/a	520,56
Contenido: Ag	kg/a	3660,00
<u>Relave del concentrado gravimétrico (1)</u>	t/a	3811,81
Producción de concentrado de flotación	t/a	7344,00
Contenido: Au	kg/a	867,60
Contenido: Ag	kg/a	5.250,00
<u>Relave del concentrado de flotación (2)</u>	t/a	7337,88
Producción de concentrado de Lixiviación	kg/a	5.490,00
Contenido: Au	kg/a	178,73
Contenido: Ag	kg/a	1080,00
<u>Relave del concentrado de lixiviación (3)</u>	kg/a	4231,27
RELAVE DE MATERIAL ESTERIL (4)	t/a	228840,00
TOTAL DE RELAVE GENERADO PROCESO (1)+(2)+(3)+(4)	t/a	239.993,92

3.6 Selección del sitio, distribución de la planta y configuración de los equipos

Sitio 1: Ladera del norte de la mina en la parte superior del actual campamento. (Figura 19) La parte superior del depósito de mineral está a la altura de 3890 m.s.n.m, la altura de la planta de flotación es de 3860. La distancia de transporte del mineral es de unos 2200m. La altura de elevación de agua desde la toma es de 295m. La longitud de la tubería de relaves (flujo por gravedad) es de 1100m.

Sitio 2: Norte de la mina, ladera por debajo del campamento (junto a la presa de relaves). La elevación de la parte superior del depósito de mineral es de 3825 m.s.n.m, la altura del suelo de la planta de beneficio es de 3795. (Figura 20) La distancia de transporte del mineral es de 1000m. La altura de elevación del agua desde la toma es de 235m. Resultando que la longitud necesaria para la tubería de relaves (flujo por gravedad) será de 100m.

3.6.1 Comparación y determinación de opciones de sitio

Al comparar las dos opciones desde los puntos de vista técnico, gestión, construcción, inversión y otros aspectos, los resultados de comparación se muestran en la Tabla No 10. Para la comparación se ha considerado los siguientes puntos: Condiciones de terreno, pendiente suave o empinada, poca o gran cantidad de excavación.

Tabla 10

Comparación de programas de sitios de la planta de beneficio

FACTORES DE COMPARACIÓN	OPCIÓN I	OPCIÓN II
Condiciones del terreno	Pendiente más suave, cantidad excavación menor	Pendiente empinada. Gran cantidad de excavación
Transporte de minerales	Larga distancia de transporte	Corta distancia de transporte
Transporte de relaves	Flujo por gravedad, tubería más larga	Flujo por gravedad, tubería más corta
Suministro de agua limpia	Altura de la columna de agua de (295m de bombeo), tubería larga	Altura de la columna de agua de (235m de bombeo), tubería corta
Condiciones de uso de agua reciclada	Costos altos	Costos bajos
Inversión de la construcción básica	Alta	Alta
Condiciones geológicas de la ingeniería	Buenas	Buenas
Condiciones de suministro de alimentación	Similar	Similar
Condiciones de tráfico	Conveniente	Conveniente
Gestión de la planta de beneficio	Conveniente	Conveniente
Resultado de comparación		Mejor



Figura 19 Registro visual de la Opción I



Figura 20 Registro visual de la Opción II

CAPÍTULO IV

4. Propuesta Metodológica de Gestión, Manejo, Tratamiento y Disposición Final de los relaves generados por el beneficio del mineral de la explotación del proyecto minero Rio Blanco

4.1 Diseño de la Construcción del depósito de relaves

La ubicación del Proyecto Rio Blanco (Figura 21), permitirá que el depósito de relaves se construya al norte de la mina entre las cotas 3750~3785 m.s.n.m.; para que los relaves generados en la planta de beneficio puedan fluir por gravedad al depósito de relaves.



Figura 21: Mapa de Ubicación Relavera

Es así como la construcción del depósito o tranque de relaves se dividirá en dos etapas:

- Primera Etapa: La presa será de 18m de alto, con una capacidad de almacenamiento de 1,1 millones de metros cúbicos para 6,4 años de vida útil.
- Segunda etapa: La presa será de 20m de alto, y se construirá una presa auxiliar de 10m de alto en la cola del depósito, aumentando la capacidad de almacenamiento en 2,05 millones de metros cúbicos con una vida útil en 11,6 años.

En total, la altura del depósito de relaves será de 38m, con un volumen nominal de 6,398 millones de m³ y una capacidad de almacenamiento efectiva de 3,1546 millones de m³ para una vida útil de 18 años. La parte sureste del depósito de relaves es relativamente bajo y la parte noroeste es relativamente alta con una salida amplia (Figura 22)



Figura 22 Área designada para la construcción, implementación y operación del depósito de relaves mineros

Las instalaciones que la empresa ha considerado para el diseño del depósito de relaves, principalmente consisten en: presa inicial, presa posterior, alcantarillas de drenaje, canaletas, zanjas de retención de inundación, zanja ciega de desagüe de infiltración en la parte inferior de la presa, zanja de drenaje superficial de la presa, zanjas

de contrafuerte (pendiente de la presa), instalaciones para observaciones de estabilidad de la presa, instalaciones de observación de la línea de saturación y tanques de sedimentación fuera de la presa, oficina de servicio, facilidades de comunicación y caminos de patrullaje de presa. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

4.1.1 Presa inicial

La presa inicial está ubicada a 0,10km de distancia de la planta de beneficio, la elevación inicial superficial del depósito de relaves estará en la cota 3747 m; y la cota de la parte inferior de la presa estará en la cota 3740 m. La presa inicial está diseñada como una presa impermeable; el material de la presa será pizarra metamórfica degradada; la altura de la presa es de 12 m, la relación de pendiente de talud exterior de la presa de 1:2,5 la relación de pendiente del talud interior de 1:1,8 el ancho de la parte superior de la presa de 4,0m, la longitud de la línea axial de la parte superior es de 331m; en la superficie exterior e interior de la presa, se utiliza bloques de roca para la protección del talud. El movimiento de tierras para el enrocado será de 86.000m³, y el costo de la construcción del tranque de relaves bordeará los \$ USD 4 millones. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

Como medida técnica y con la finalidad de reducir el asentamiento causado por la reducción de la intensidad al remojarse los materiales degradados, en el diseño se plantea poner una membrana geotextil en la superficie interior de la presa e introducirla en la cuarta capa impermeable de arcilla.

Para bajar la línea de saturación de los relaves en la parte inferior de la presa, se establecerán instalaciones de desagüe de infiltraciones paralelas a la línea axial de la presa en la parte inferior. Según los resultados de cálculo, la estabilidad del talud de la presa inicial cumple con los requisitos, y además, la altura de la presa y la capacidad del depósito cumplen con los requisitos de control de inundación tales como la clarificación del agua de relaves, la mínima longitud de playa seca y la sobre-altura de control de inundación. El cuerpo de la presa inicial es seguro y confiable, para su posterior cambio

o adecuación de acuerdo a los requerimientos técnicos y productivos del proyecto. (Pinillos, 2015)

4.1.2 Presa posterior

Los cálculos y análisis técnicos realizados por la empresa han estimado la utilización del tipo de presa de relaves denominado “aguas arriba” para acumular la presa inicial, con una pendiente promedio de acumulación de 1:4,0 y la elevación definitiva de acumulación de los relaves hasta 23,00 m. Debido al aumento lento en el llenado de los relaves, se realizará la compactación de relaves gruesos de alto grado con 1,5 m de alto, con la finalidad de construir la sub-presa; el ancho de la parte superior de la sub-presa es de 1,5 m; la relación del talud interior y exterior será de 1:1,5; para realizar la compactación mecánica o manual, con una densidad controlada para lograr una compactación media del 88%. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

Una vez que la compactación de relave seco alcance el 88%, se recubrirá de manera oportuna el suelo y se cultivará césped, con un revestimiento de 0,3m de espesor; o a su vez recubrimiento de bloques hexagonales de hormigón prefabricados en todo el talud de la presa. Se debe comenzar la construcción de la sub-presa posterior después de la consolidación de los relaves de capa inferior. En el proceso de construcción, se requiere estrictamente la compactación y se prohíbe la construcción de la sub-presa posterior mientras existan relaves mojados. (Pinillos, 2015)

4.1.3 Sistema de drenaje

4.1.3.1 Alcantarillas y canaletas de drenaje

El depósito de relaves contará con alcantarillas y canales de drenaje cuya principal función es descargar las aguas clarificadas de relaves y las de precipitación en el depósito durante la temporada de lluvias. La longitud total de las alcantarillas y canales serán de 550m. Tanto las alcantarillas como las canaletas tienen la sección de (1,5×1,5) m; tendrán estructura de hormigón reforzado de pared recta (U).

Para el diseño del sistema de drenaje se consideró la precipitación máxima con un período de retorno de 100 años; además de los resultados del cálculo de la generación de relaves; es así que la capacidad de drenaje y la resistencia estructural de las alcantarillas y canaletas cumplen con los requisitos de drenaje para resistir la presión de una eventual precipitación máxima durante la vida útil del proyecto. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

4.1.3.2 Zanja ciega de desagüe de infiltraciones de la parte inferior de la presa

Debido a la impermeabilidad de la presa inicial, con la finalidad de bajar la línea de saturación de los relaves en la presa inicial y mejorar la estabilidad de la misma, se construyen instalaciones de desagüe para las infiltraciones, paralelas a la línea axial de la presa en la parte inferior. Estas instalaciones están compuestas de una zanja ciega de desagüe paralela a la línea axial de la presa y las tuberías de desagüe. La zanja ciega de desagüe está recubierta por esteras geotextiles no tejido de 400g/m. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

La zanja ciega se extiende a lo largo de todo el eje de la presa. Las tuberías de desagüe son de acero con un diámetro de $\Phi 75$ mm; dispuestos perpendicularmente a la línea axial de la presa en dos vías, dispuestas en ambos lados de la presa, a cada 15 m, con la finalidad de desviar la infiltración de agua de los relaves y bajar la línea de saturación, facilitando la consolidación de los relaves por medio del drenaje de aguas.

4.1.3.3 Zanja de drenaje superficial de la presa, zanjas de coronación

En la parte superior de la presa y el límite posterior de la presa se establecerán zanjas de drenaje superficial, de sección transversal rectangular de (0.3×0.3) m, para desviar el agua de relaves infiltrada, de la presa posterior, en las instalaciones de desagüe y el agua de lluvia en la superficie de la presa a fin de bajar efectivamente la línea de saturación de la presa posterior y reducir la erosión en la superficie de la presa causada por la lluvia.

En el diseño, se plantea utilizar ladrillos rojos, fabricados con mortero de cemento tipo M 5,0 recubierto con mortero de cemento 1:2 de espesor de 20mm en la superficie interior para las zanjas de drenaje; estos deben buscar el talud hacia las zanjas de contrafuerte en ambos lados de la presa con una pendiente de 1%. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

4.1.3.4 Zanjas de contrafuerte

Para reducir y prevenir la erosión de la superficie de la presa causada por las lluvias que afectan a las montañas aledañas al depósito de relaves, se construyen zanjas de contrafuerte situadas a ambos lados en la confluencia de la cara de la presa y a ambos lados de la montaña. La zanja de contrafuerte tiene la sección transversal trapezoidal de (0,5x0,8) m. En su fabricación se utilizará un mortero de cemento tipo M 7,5 para construir las paredes MU30 y rellenar las grietas con el mortero de cemento, anteriormente especificado. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

4.1.3.5 Zanjas de retención de precipitación

El área de captación de agua de lluvia para el depósito de los relaves será de alrededor 0,11 km². Considerando que la precipitación anual local es de 2500mm (Terrambiente, 2011), en ambos lados de la parte superior del depósito de relaves se construirá una zanja de retención de precipitaciones de sección transversal de (1*0,8) m; la obra civil se realizará utilizando maquinaria. La zanja de retención de precipitaciones retendrá el agua captada en un alrededor de 0,065km², por encima de los 3800 m, y el agua captada restante con un área de alrededor 0,045km² será descargada por el sistema de drenaje en el depósito.

4.1.4 Instalaciones de observación del cuerpo de la presa de relaves

La empresa ha considerado establecer tres puntos básicos de medición de la deformación fuera del rango del depósito de relaves. Los puntos de referencia estarán enfocados a la superficie de la presa inicial formando una red de observación cerrada.

El primer punto de observación y medición estará en la parte más alta de la presa, mientras que los otros estarán dispuestos en lugares a 9m de distancia al medio del depósito, para observar así el desplazamiento de la presa inicial.

4.1.5 Instalaciones impermeables superficiales del depósito de relaves

Para prevenir la infiltración del contenido de trazas de sulfuros metálicos y cianuro residual tanto en los relaves y aguas residuales en el depósito de relaves, se deberá cubrir todo el depósito con arenas finas y geomembrana impermeabilizante. El área de la superficie impermeable será de 425,000 m², 42,5 Ha.

En la cota 3802 m.s.n.m.; fuera de la presa del depósito, la empresa tiene previsto construir una habitación de administración de 30m², equipada con instalaciones de comunicación e iluminación, para facilitar el descanso y el trabajo de rutina del personal encargado de la gestión de los relaves, y así obtener un registro periódico de la información y observaciones más relevantes.

4.1.6 Criterios de Diseño

Los criterios del diseño para la construcción del depósito de relaves son los siguientes:

- Hay una distancia de unos 100 metros entre el depósito de relaves y la planta de beneficio, y los relaves pueden fluir por gravedad al depósito de relaves, facilitando el transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final.
- Los materiales para la construcción de la presa pueden ser los residuos de roca producidos en la excavación de la planta y la construcción del socavón principal del yacimiento Alejandra Norte en la cota 3740 m.s.n.m. Reduciendo así, los costos de construcción y facilitando una eficiente gestión ambiental.

- El agua resultante del depósito de relaves será bombeada a la planta de beneficio para la recirculación, lo que puede ahorrar costos operativos gracias a la distancia corta entre la planta de beneficio y la relavera.
- El terreno del depósito de relaves determina una pequeña zona de influencia de agua, lo que reduce la presión de la precipitación al depósito de relaves, creando buenas condiciones para el funcionamiento normal del mismo.

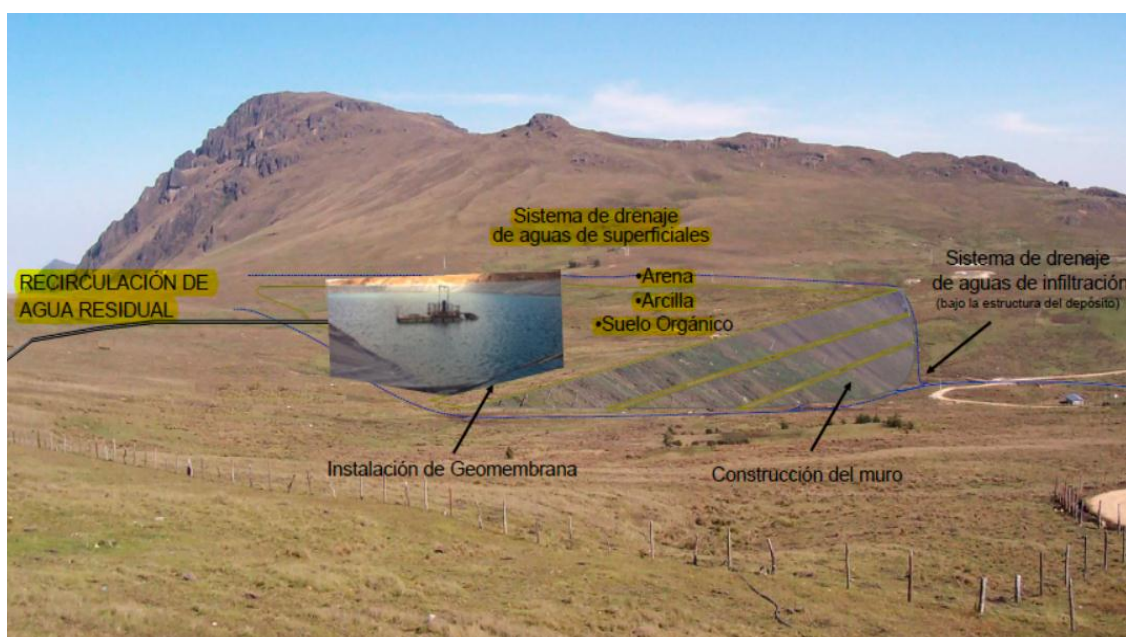


Figura 23 Bosquejo del área designada para la construcción, implementación y operación del depósito de relaves mineros

4.2 Propuesta Metodológica de Gestión, Manejo, Tratamiento y Disposición Final de los relaves generados

4.2.1 Gestión de Relaves

La Gestión Ambiental se refiere a todos los aspectos de la función gerencial (incluyendo la planificación) que desarrollen, implementen y mantengan la política

ambiental (Dávila, 2004); entendiéndose que la política es el conjunto de directrices que debe adoptar la empresa para consolidar la integración y sustentabilidad del proceso productivo para con el medioambiente, sin perjuicio de ninguna de las partes involucradas.

En el caso particular del proyecto minero Rio Blanco se definieron procedimientos y estrategias de gestión que permitirán garantizar un correcto funcionamiento, operación, ejecución y mantenimiento de las actividades que se desarrollen en el tranque o depósito de relaves.

4.2.1.1 Procedimientos estandarizados para la construcción de la relavera en el proyecto minero

Con la finalidad de contar con un documento guía que muestre de manera sintetizada y específica los aspectos técnicos y consideraciones especiales que se deben tener al momento del avance y ejecución de actividades de construcción, implementación, mantenimiento y adecuación del depósito de relaves se presenta el siguiente esquema con el procedimiento técnico:

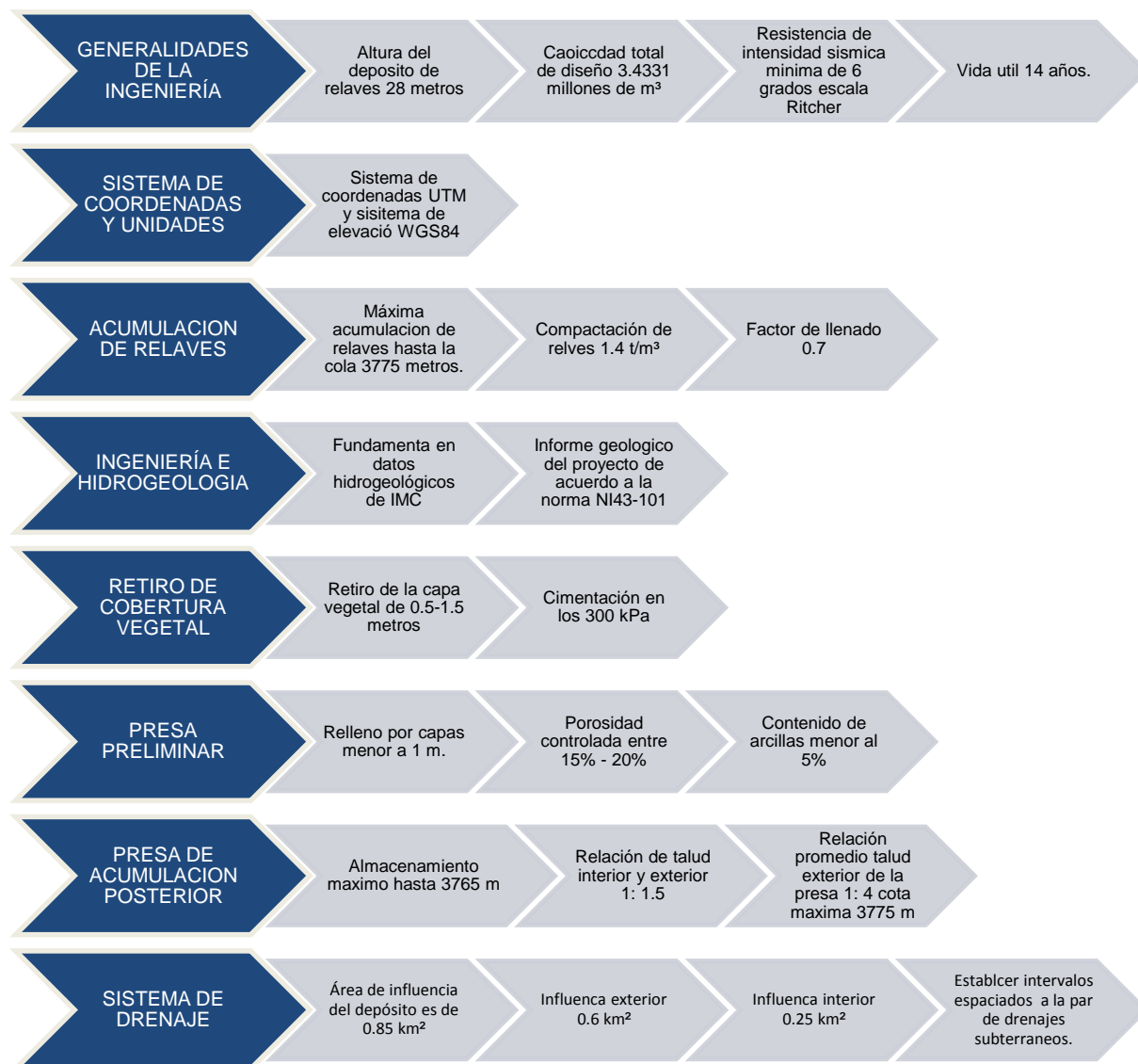


Figura 24 Procedimiento para la construcción de diques de relaves

4.2.1.2 Estrategias para la optimización del uso de agua en el proceso metalúrgico para la obtención del mineral de interés.

Dentro de toda actividad industrial la eficiente utilización de agua, reúso y/o recirculación de aguas residuales debe estar previamente establecida en los instrumentos de gestión ambiental preparados e implementados por la empresa ejecutora. En caso de que el instrumento de gestión ambiental sea un estudio de impacto ambiental detallado o un estudio de factibilidad, la autoridad de control deberá otorgar el permiso para la captación y uso de agua, además de verificar que un eventual reúso y/o reutilización de aguas residuales en actividades agropecuarias sea de acuerdo y cumpliendo la normativa ambiental vigente; en el caso de reúso y reutilización en actividades productivas propias de la empresa minera se deberá cumplir los estándares mínimos que demande cada proceso – subproceso.

De acuerdo con los requisitos de producción, el proyecto minero Rio Blanco necesita construir una planta de beneficio para una producción de 800t/d, este diseño considera con ingeniería de la planta para proceso mineral y el diseño de ingeniería de minas; incluyendo el equipo de suministro e instalaciones de agua, instalaciones contra incendios, instalaciones de recirculación de agua antes de la planta y diseños de abastecimiento de agua. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

Base de diseño

Las principales consideraciones que se deben levantar para la base del diseño de suministro, utilización, drenaje y reutilización de agua son;

- Datos técnicos requeridos del proceso metalúrgico.
- Especificaciones de diseño del suministro de agua
- Especificaciones de diseño del drenaje de agua
- Especificaciones de diseño de construcción de suministro de agua y drenaje
- Normas nacionales y especificaciones de diseño vigentes.

- Recirculación de agua en el proceso de beneficio.

Suministro y cantidad de agua para la planta

El requerimiento de agua para los procesos del proyecto minero son los siguientes:

1. Explotación minera 0,5 m³/t, beneficio 4 m³/t.
2. Agua de consumo doméstico: 150 l/persona.
3. Aspersión de agua en vías: 2,5 l/m².

Consumo de agua en planta

Las estimaciones de producción de agua para la extracción procesamiento del mineral con un consumo de agua por tonelada de extracción de mineral especificado en 0,5m³ (GRUPO JUNFIELD, 2013), la producción de agua para la extracción minera será de:

$$Q_{\text{minería}}=800 \times 0,5=400 \text{ m}^3/\text{d}.$$

Mientras tanto que el consumo de agua por tonelada de mineral concentrado considerando una utilización de 4m³, entonces la producción de agua para el beneficio será den:

$$Q_{\text{beneficio}}=800 \times 4=3200 \text{ m}^3/\text{d}.$$

La producción total de agua para la minería y planta de beneficio es de:

$$Q_{\text{producción}}=400+3200=3600 \text{ m}^3/\text{d}.$$

Para la prevención de fugas o desperfectos en los diferentes puntos de abastecimiento se deberán considerar suministros alternos a la red de tuberías del suministro principal de agua. Se considera el consumo de agua imprevista como un 20 % de agua de consumo para la producción (minado y planta de beneficio) es decir:

$$Q_{\text{Total}}= (Q_{\text{producción}}) *0,2=3600 \times 0,2=720 \text{ m}^3/\text{d}.$$

En este diseño, el consumo de agua del proyecto, solo para los procesos de minado y planta de beneficio, es de 4320 m³/d,

Del total de agua considerada para el suministro en el proceso de minado y beneficio el 70% (especifica en el cap. 4.2.2.1) del volumen deberá ser agua reciclada es decir 3024 m³/d obligatoriamente deberán provenir principalmente del proceso de beneficio; con la finalidad de que el agua que sea depositada en las piscinas de relave sea mínima, misma que posteriormente será recirculada o también tratada en una planta de tratamiento para aguas acidas y cianuradas, para su utilización en actividades agrícolas.

Fuente de agua

El agua que se utilizará en el proyecto minero se captará de la quebrada Migsihuigsi ubicada al sur de la mina, aproximadamente en la cota 3400 a 1550 m de la planta. De aquí se captará el 30% restante, requerido para las actividades de consumo doméstico del campamento y demás actividades de apoyo (red contra incendios), además de la aspersión en vías circundantes y lo requerido para el proceso inicial de minado. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

Sistema de abastecimiento de agua para la planta

El suministro de agua principal para la planta estará en una piscina de 800m³. La fuente de agua adoptada será elevada a través de dos bombas de agua hacia una piscina de agua fresca de 800 m³ (piscina a una cota máxima de 3831m); y luego, desde la piscina será conducida para la planta de producción, para la red de suministro de agua de uso doméstico y para hidrantes contra incendios, la red de suministro de agua se utilizará por separado para las diferentes áreas.

4.2.2 Manejo de Relaves

Los principales problemas ambientales de la industria minera aurífera están asociados con el manejo de los relaves debido a la contaminación potencial del agua superficial y

subterránea. Es así como se necesita de técnicas de manejo adecuadas que permitan principalmente reducir la infiltración de los relaves mediante obras civiles de control, además de recubrimientos para rellenos de tierra (geomembrana).

A pesar de que las especificaciones técnicas de la construcción y operación de un tranque de relaves mineros sean satisfactorias a través del tiempo, no se puede dejar de considerar los efectos a largo plazo sobre el medioambiente, salud, seguridad y bienestar de los operadores. (Pinillos, 2015)

El control operacional en el depósito de relaves del proyecto minero Río Blanco requiere de la implementación de propuestas técnicas de manejo adecuadas a la realidad del proyecto para prevenir efectos adversos y nocivos que pueda ocasionar el transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de los relaves.

4.2.2.1 Implementación de obras civiles de control

El control adecuado de las aguas sedimentadas de la piscina de relaves resultantes del almacenamiento requiere obras civiles previas al inicio de construcciones asociadas a la ampliación o mantenimiento de las piscinas y/o depósitos de relave, a fin de garantizar un óptimo almacenamiento, transporte y tratamiento del agua sedimentada (Figura 25).

Manejo de aguas

El manejo de aguas se facilitará con la implementación de las siguientes obras civiles de control.

- **Dren de descarga**

El depósito de relaves está diseñado para cumplir con los criterios de cero descargas de agua o efluente hacia el ambiente. El depósito estará completamente revestido con polietileno de alta densidad (HDPE de 8 mm). Se incorporará un sistema de monitoreo inter-lámina para permitir la alerta temprana de la migración de cualquier agua de poros de relaves a través de una de las láminas.

El flujo natural de agua subterránea o interflujo desde la cabecera del valle donde se ubicará la relavera del proyecto minero Río Blanco se mantendrá mediante la construcción de una red de drenes de descarga debajo del revestimiento de HDPE. El dren de descarga consistirá en tuberías de HDPE, corrugado o perforado de doble pared, de 4 m de diámetro, insertados en canales de filtro de grava y arena, colocadas en material de fundación nativo compactado. La base del revestimiento tendrá aproximadamente 2 m de espesor y el revestimiento estará anclado alrededor de todo su perímetro. El dren de descarga central (Figura 26) seguirá generalmente la alineación de la quebrada actual y saldrá a la superficie aguas abajo del pie del muro. Al realizar el desmonte del área del depósito, se efectuará un levantamiento de las vertientes y filtraciones y se conectarán con el dren de descarga principal a través de una serie de drenes de ramales secundarios. (Pinillos, 2015)

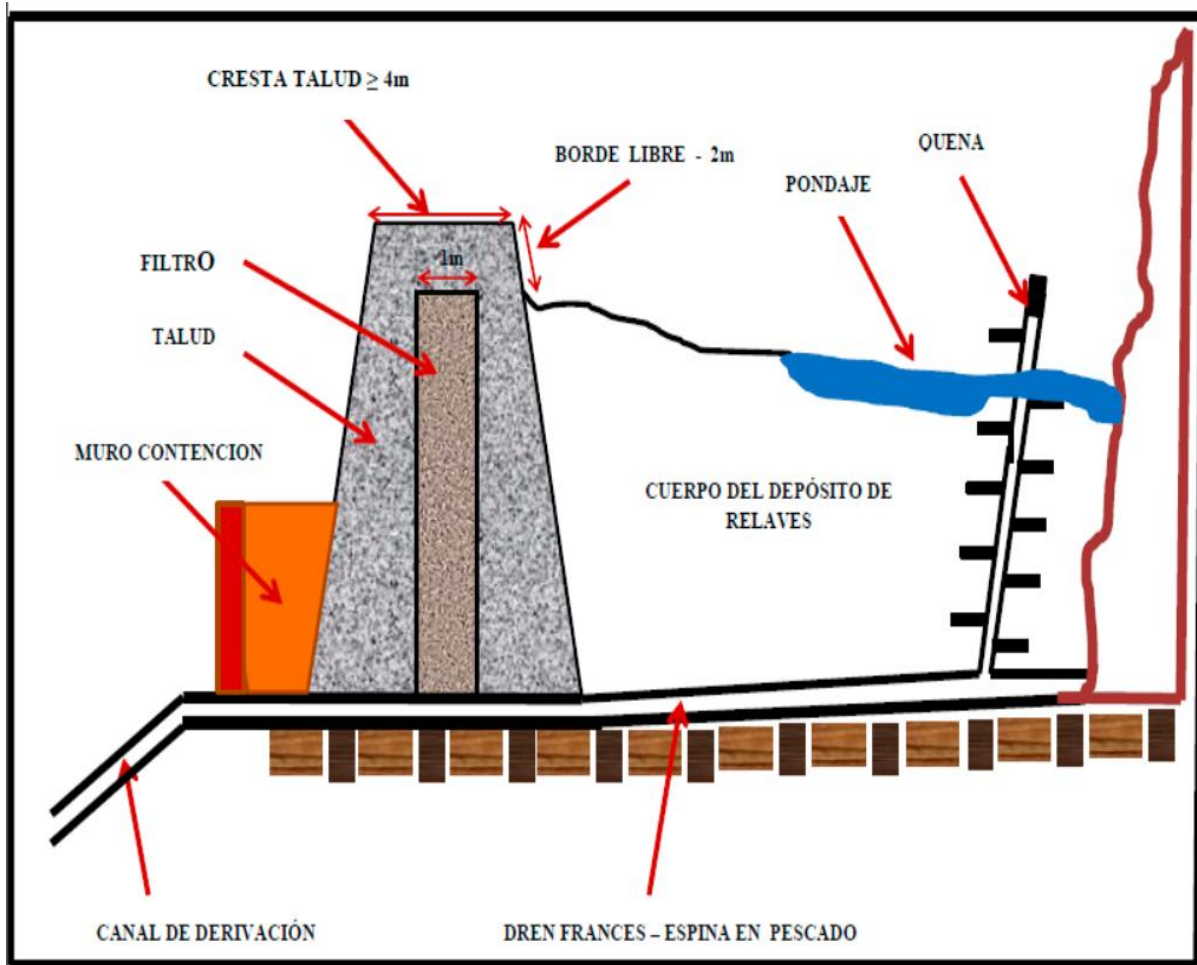


Figura 25 Composición de un Depósito de relaves

Fuente: (Pinillos, 2015)

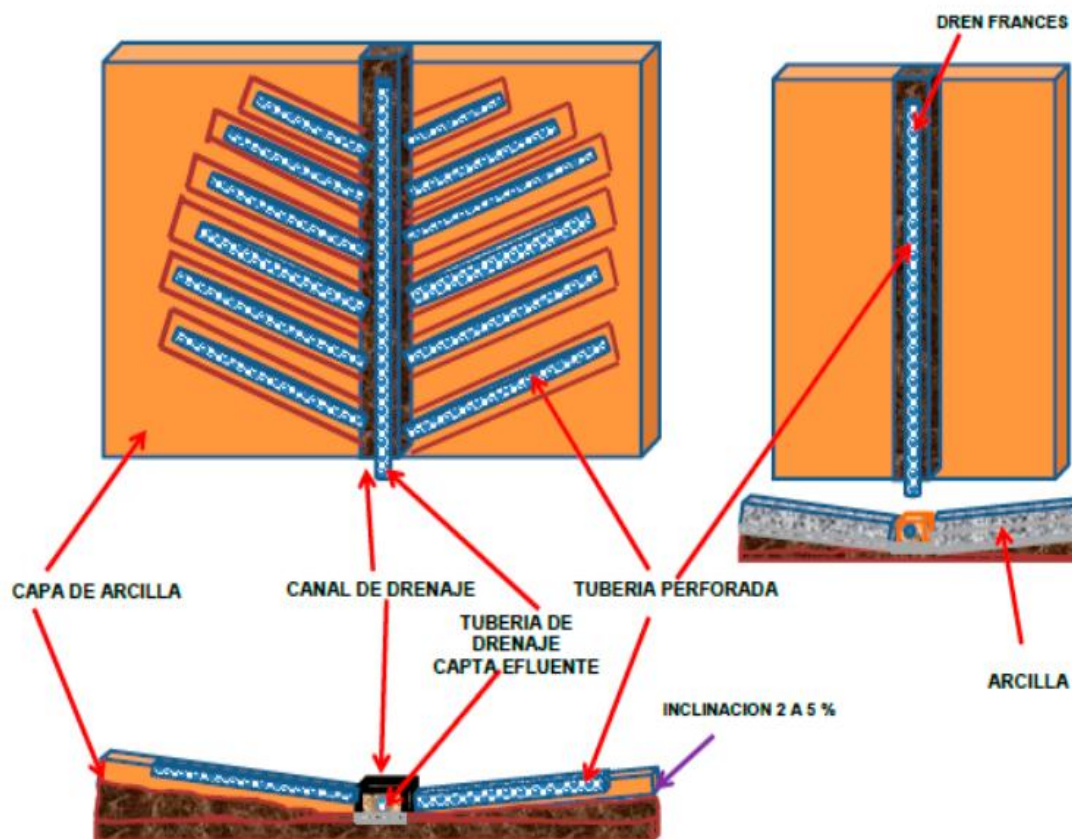


Figura 26 Dren Frances

Fuente: (Pinillos, 2015)

- **Drenes de desvío o canal de derivación**

La construcción de un dren perimetral de desvío alrededor de todo el depósito de relaves deberá diseñarse considerando un evento de retorno de precipitación máxima de 100 años. (ver Figura 25). El dren de desvío estará equipado con puntos de desborde por derrame lateral para permitir el ingreso seguro de los eventos de flujo superiores a la crecida de diseño al depósito. Los drenes de desvío laterales que se extienden al Norte y al Sur del eje del depósito de relaves interceptarán toda la escorrentía superficial. Esta

agua se canalizará alrededor del sitio de relaves y llegará a la quebrada natural inmediatamente aguas abajo del pie de la presa.

- **Sistemas de monitoreo y retro bombeo de aguas abajo**

Aguas abajo del pie del depósito, se debería construir una piscina y un canal de derrame. Estas estructuras se deberían prever y ubicar antes del desmonte inicial del área de los relaves, constituyendo así una trampa de sedimentos eficaz durante la fase de construcción. Durante las operaciones, la piscina se usará para monitorear los caudales conducidos por el dren de descarga y para recolectar muestras de calidad de agua para el análisis químico y validación del desempeño del revestimiento de relaves. La piscina tendrá una capacidad de 1000 m³ y estará equipada con un sistema de bombas para el retorno del agua al depósito de relaves.

La construcción de un piezómetro de monitoreo aguas abajo del muro del depósito de relaves será de importante, la ubicación de un piezómetro en este punto ya estuvo prevista en las investigaciones geotécnicas e hidrológicas realizadas por Water Management Company (WMC) en 2005.

El piezómetro contará con rejillas multiniveles de manera de permitir la diferenciación del agua subterránea que fluye en los depósitos aluviales someros y en el basamento rocoso sólido. Este piezómetro seguirá siendo operacional para el monitoreo de agua subterránea durante todo el período de operación del depósito de relaves y después del cierre. Antes del inicio de las operaciones, se construirá una cortina de pozos de bombeo aguas abajo del pie del depósito de relaves. Si se observa cualquier condición de calidad de agua anormal en el piezómetro de monitoreo, se utilizarán estos pozos para extraer el agua subterránea y devolverla al depósito de relaves.

- **Recirculación de agua de proceso**

El depósito de relaves tendrá una laguna permanente que estará encima de los relaves sólidos depositados. Esta laguna se formará como consecuencia de la decantación gravitacional natural del agua y también debido a la acumulación de la precipitación que cae directamente sobre la zona de los relaves. El volumen de la laguna del depósito de relaves variará significativamente a través del tiempo de acuerdo con las condiciones climáticas predominantes y el balance de precipitación bruta con respecto a la pérdida evaporativa.

El agua que se acumulará en la laguna de relaves constituirá una fuente de agua valiosa para uso en la planta de procesamiento de mineral del Proyecto Río Blanco. Se incluye un sistema de recirculación de agua en el diseño del proyecto para permitir la máxima utilización de este recurso. Bombas flotantes retornarán el agua recuperada de los relaves al estanque de agua de proceso en la planta de beneficio. Los cálculos de balance de agua usados para dimensionar el sistema de bombeo se han basado en los siguientes criterios de diseño (GRUPO JUNFIELD, 2013)

- ✓ Capacidad del depósito de relaves = 1,5 Millones de Toneladas de sólidos.
- ✓ Densidad de la pulpa de alimentación = 16 a 40% de sólidos por peso.
- ✓ Distribución del material de alimentación mediante vertido periférico por descarga múltiple.
- ✓ Densidad de sólidos terminal = 85% del peso.

Aplicando estos criterios técnicos del proyecto minero se logra alcanzar la máxima recirculación del agua resultante del proceso de decantación y sedimentación del relave minero; primordialmente esta agua resultante se reingresará al beneficio y obtención del mineral de interés.

4.2.2.2 Técnica de recirculación de las aguas sedimentadas.

El criterio de circulación de aguas sedimentadas se fundamentará en la recirculación del agua resultante de la piscina del relave para garantizar el reingreso en el proceso metalúrgico de la planta de beneficio del proyecto minero. Para el efecto la empresa deberá realizar y ejecutar análisis físico- químico, metalúrgicos y balance de masas semestrales, para constatar que la recirculación del agua sedimentada dentro del proceso metalúrgico no está afectando el rendimiento de los subprocesos de beneficio.

Para alcanzar un rendimiento adecuado durante la aplicación de la técnica de recirculación de las aguas sedimentadas en las piscinas de relaves se considerará lo siguiente:

- **Flujo del sistema de agua**

La sedimentación natural de los relaves en el depósito serán por gravedad que permitirá tener un espejo de agua, misma que será reutilizada desde una piscina de sedimentación de la planta (cota máxima del depósito aproximadamente a 3745m), y luego por bombeo el agua se enviará hacia el reservorio (cota del tanque desde donde se bombeará: 3832m) para el uso en la planta de producción. El proceso del sistema de recirculación es el siguiente:

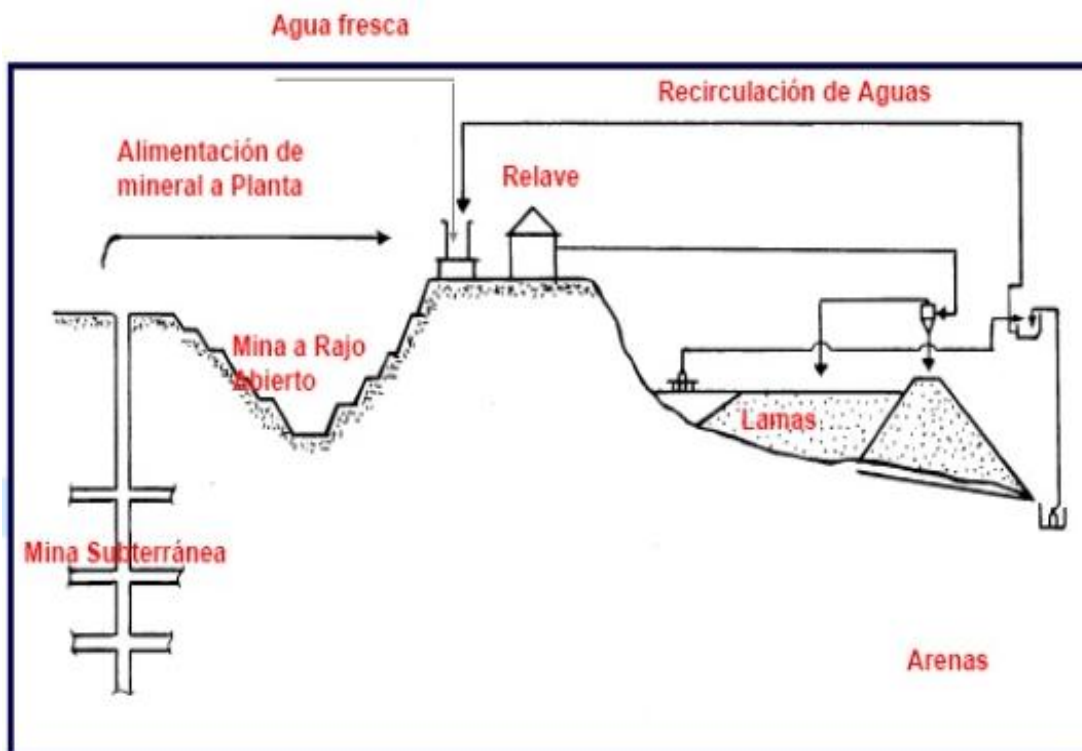


Figura 27 Esquema general de recirculación para operaciones mineras

Fuente: (SERNAGEOMIN, 2007)

Para alcanzar una recirculación adecuada al proceso de beneficio de deberá contar con un modelo de bomba (Bomba IS100 - 65-200) para retorno de agua que cumpla con estas características mínimas de traslado de agua, utilizando material resistente al desgaste por los componentes del flujo; además de contar con 2 unidades una activada y otra de reserva.

Las características mínimas de la bomba serán las siguientes:

Rendimiento: $Q= 100\text{m}^3/\text{h}$

$H=100\text{m}$

Potencia del motor de apoyo: $N=22\text{kw}$

- **Sistema de abastecimiento de agua reciclada de la planta de beneficio**

Con la finalidad de garantizar que el agua producto del beneficio del mineral de interés no se acumule con el relave en el depósito principal, se torna viable adecuar un sistema de abastecimiento a la salida de la planta de beneficio para lograr aprovechar al máximo el agua residual de la planta de producción. Para el efecto se equipará un sistema de reservorio mismo que permitirá el aprovechamiento eficiente de las aguas utilizadas en la producción y en los equipos de refrigeración del proceso metalúrgico (ver figura 17); esta agua se acumulará en piscinas para luego ser recirculadas a través del bombeo para su uso en los subprocesos del beneficio, previo la sedimentación de sólidos en suspensión.

La instalación del sistema de bombeo en el espejo de agua del depósito de relaves y la instalación adicional del reservorio al final del proceso de beneficio facilitará alcanzar una recirculación del 70% del total del agua calculada que se usará en los procesos del beneficio, considerando que la cantidad será de 3024 m³ / d.

4.2.2.3 Implementación de técnicas para riego y desarrollo agroforestal sostenible con el agua residual del depósito de relaves.

Para optimizar el desarrollo e implementación de proyectos agroforestales sostenibles, paralelos a la actividad extractiva que se ejecuta en el proyecto minero; es viable considerar la utilización del agua no utilizada del espejo de aguas de la piscina de relaves principal, misma que previamente deberá pasar por un proceso de depuración y tratamiento para poder ser utilizada en actividades riego relacionadas a la reforestación de áreas intervenidas en el proyecto (Figura 29), actividades agrícolas en vivero o para utilización del agua tratada en crianza de trucha, previos análisis fisicoquímicos, que constaten el cumplimiento de los parámetros máximos permisibles establecidos en la norma nacional vigente. (ver 4.2.2.5)



Figura 28 Reutilización del agua proveniente de actividades mineras

Fuente: (Torrejón, 2015)

Las actividades de reforestación con especies endémicas usando agua tratada proveniente del espejo de aguas de la relavera, se ejecutarán dentro en las laderas adyacentes cercanas a los caminos de las áreas intervenidas del proyecto minero. (Figura 30)



Figura 29 Áreas del proyecto minero destinadas para actividades de Reforestación



Figura 30 Espacio para destinado para actividades de Reforestación, cercano al lugar donde se ubicará la relavera

Así mismo, la posible utilización del agua tratada proveniente del espejo de aguas de la relavera se puede hacer efectiva para la crianza de truchas. Para el efecto los encargados de la gestión ambiental del proyecto minero ya cuentan con un área destinada para la crianza de peces, con la salvedad que utilizan agua de la captación proveniente de la quebrada Migsihuigsi.

Una vez que se ejecuten las actividades extractivas en el proyecto minero, específicamente planta de beneficio y relavera principal, la reutilización de agua tratada en acuicultura será un bioindicador importantísimo para cuantificar y cualificar el eficacia y rendimiento de las técnicas de tratamiento y depuración aplicadas (*ver 4.2.3*) previo que se constate el cumplimiento de los parámetros máximos permisibles establecidos en la norma nacional vigente. (*ver 4.2.2.5*). Dentro del análisis de la técnica de acuicultura como bioindicador del agua tratada desde la presa de relaves se deberá considerar la capacidad de los peces para vivir y bioacumular metales pesados.



Figura 31 Crianza Actual de Truchas con el agua de la quebrada Migsihuigsi

4.2.2.4 Comprobar la existencia de planes de sellado de la piscina de relaves cuando termine su vida útil

El manejo del depósito de relaves una vez concluida su vida útil, constituye un componente importante que permitirá ejecutar cierres técnicos acorde a la cantidad de relave acumulado además de considerar factores como: estabilidad física del relave, geotecnia del depósito, sismicidad, seguridad del cierre, diseño de la cobertura, y finalmente el monitoreo y control de la presa post – cierre.

Ventajosamente el proyecto minero cuenta con un diseño de cierre del depósito de relaves que considera los factores mencionados anteriormente.

- **Diseño del cierre del depósito de relaves**

En cuando al cierre del depósito de relaves, se debe proceder de conformidad al diseño de cierre estándar (estabilidad física del relave, geotécnica del depósito, sismicidad) y a la evaluación de seguridad del cierre, a fin de garantizar la estabilidad, seguridad y cobertura a largo plazo post-cierre. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

La principal finalidad al cerrar el depósito de relaves es la de recuperar el sistema ecológico intervenido y el paisaje natural, realizando actividades de reforestación y recuperación adecuadas y que posibiliten una rehabilitación sostenible en el tiempo.

Consideraciones especiales que se deben cumplir en el post – cierre del depósito.

- a. Luego que el depósito de relaves ha sido cerrado, no puede ser utilizado de nuevo ni puede servir para otro fin diferente al de recuperación del sistema ecológico y paisaje natural.
- b. Una vez que el depósito de relaves ha sido cerrado, se debe asegurar el buen mantenimiento de la presa y las instalaciones de drenaje de las precipitaciones, y no se puede utilizarlo para almacenar agua sin verificación y aprobación.
- c. Después del cierre, cuando sea necesario reutilizar el depósito para la recuperación de recursos o para otros fines, se requiere la verificación de diseño y la aprobación, prohibiendo la minería indiscriminada, la construcción ilegal y las operaciones ilegales, a fin de evitar la rotura de presa, accidentes y derrumbes. (Tarras-Wahlberg, 2002)
- d. Una unidad especial o gerencia de la empresa será la responsable de la gestión del depósito de relaves cerrado. Esta unidad o gerencia será la responsable de la gestión de producción segura, así como el cumplimiento de los trámites legales.

- e. Durante el post-cierre alrededor del depósito de relaves se colocará señalética gráfica, indicando la prohibición de entrada del personal no autorizado y la ganadería.
- f. Para el diseño del cierre del depósito de relaves, después de hacer un análisis de la seguridad, se debe comprobar el tipo de la presa inicial y su sección transversal, el registro de control de precipitaciones, la sección estructural de las estructuras de drenaje, la verificación de la capacidad de drenaje, la zonificación de relaves y los pertinentes indicadores físico mecánicos, la norma de estabilidad y seguridad de la presa después del cierre, permitirán que los materiales de construcción de las zanjas de contrafuerte y del revestimiento del talud cumplan de manera estricta con los requisitos de las especificaciones técnicas de seguridad para el depósito de relaves. (GRUPO JUNFIELD, 2013)
- g. Al cerrar el depósito de relaves, se debe recubrir de manera oportuna el suelo en la superficie, y al mismo tiempo proceder a la construcción de las zanjas de drenaje en el depósito. En el proceso de la construcción de las zanjas de drenaje superficiales del depósito, se debe compactar la parte inferior de la zanja, con una cierta pendiente de drenaje. Al finalizar la construcción de las instalaciones de drenaje en el depósito, se procede a la reparación del talud exterior de la presa y la construcción de la zanja de drenaje superficial. Se debe asegurar que la estructura de drenaje cumpla con los requisitos y que mantenga un drenaje fluido. (GRUPO JUNFIELD, 2013)
- h. Para el cierre del depósito de relaves, se debe asegurar un mantenimiento adecuado de la presa y de las instalaciones de drenaje. Durante la temporada de precipitación, se debe realizar la inspección sobre las zanjas de drenaje superficiales de la presa, las zanjas de retención de agua, las zanjas de contrafuerte, las alcantarillas de drenaje y las entradas de agua de las canaletas,

y eliminar a tiempo los escombros de obstáculo, para evitar la obstrucción de las entradas de agua y las zanjas de drenaje que pueden afectar el drenaje. (Dean & Havens, 2004)

- i. La migración de contaminantes a través del aire, agua superficial o subterránea debe ser minimizada. Durante el período de operación podrían requerirse medidas estructurales especialmente durante el período post-cierre (debido al inevitable deterioro de materiales manufacturados), podría autorizarse la consideración de los procesos naturales de mitigación de contaminantes juntamente con la capacidad de asimilación del ambiente natural. (Davies, 2000)

4.2.2.5 Plan de Monitoreo y Seguimiento

La implementación de un plan de monitoreo y seguimiento para el transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición de relaves. Dentro de **este** plan se realizarán muestreos periódicos (**trimestrales y/o semestrales**) de calidad de napas subterráneas y acuíferas en la piscina y en el dique de la relavera, a fin de determinar las características físico – químicas de suelo, sedimentos y agua residual. Además, los muestreos de calidad determinarán las condiciones hidráulicas y de estabilidad del depósito y dique de la relavera. Todas estas consideraciones permitirán tomar las medidas y acciones correspondientes, según el caso. (Rojas, 2010)

Lo parámetros que se considerarán para el monitoreo serán los siguientes tanto para agua residual de relavera y sedimento de relave.

Tabla 11

Parámetros de análisis que se considerarán para el agua residual de la relavera

Ensayo	Metodos Referencia-Laboratorio	Unidades
Cloruros	APHA 4500 Cl-C	mg/l
Conductividad	APHA 2510 B	µs/cm
Dureza Total*	APHA 2340 C	mg/l CaCO ₃
pH	APHA 4500 H+B	Unid. pH
Sulfatos*	APHA 4500 SO ₄ E	mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	APHA 5210 D	mg/l
Demanda Química de Oxígeno	APHA 5220 D	mg/l
Oxígeno Disuelto	APHA 4500 O G	mg/l
Sólidos Totales	APHA 2540 B	mg/l
Nitrógeno Total*	HACH 8075	mg/l NTK
Arsénico	APHA 3120 B	mg/l
Mercurio	APHA 3120 B	mg/l
Plomo	APHA 3120 B	mg/l
Zinc*	APHA 3120 B	mg/l
Cobre*	APHA 3120 B	mg/l
Aceites y Grasas	EPA 418.1	mg/l
Hidrocarburos Totales (TPH)	EPA 418.1	mg/l
Fenoles	APHA 5530 C	mg/l
Hierro*	APHA 3120 B	mg/l
Nitritos*	APHA 4500-NO ₂ B	mg/l
Nitratos*	HACH 8171	mg/l NO ₃
Nitrógeno Amoniacal	HACH 8038	mg/l
Sólidos Disueltos*	APHA 2510 B	mg/l
Sólidos Suspendidos*	HACH 8006	mg/l
Níquel	APHA 3120 B	mg/l
Cianuro Libre*	APHA 4500 CN-E	mg/l

Tabla 12

Parámetros de análisis que se considerarán para el sedimento de la relavera

Ensayo	Metodos Referencia	Unidades
Aceites y Grasas	EPA 418.1	mg/kg
Cianuro Total	HACH 8027	mg/kg
Cobre	APHA 3120 B	mg/kg
Conductividad	APHA 2510 B	µs/cm
Hidrocarburos Aromaticos Policiclicos	EPA 3550 C-8310-3600	mg/kg
Arsenico	APHA 3120 B	mg/kg
Boro	APHA 3120 B	mg/kg
Cadmio	APHA 3120 B	mg/kg
Cobalto	APHA 3120 B	mg/kg
Cobre	APHA 3120 B	mg/kg
Cromo	APHA 3120 B	mg/kg
Estaño	APHA 3120 B	mg/kg
Mercurio	APHA 3120 B	mg/kg
Molibdeno	APHA 3120 B	mg/kg
Níquel	APHA 3120 B	mg/kg
Plomo	APHA 3120 B	mg/kg
Selenio	APHA 3120 B	mg/kg
Vanadio	APHA 3120 B	mg/kg
Zinc	APHA 3120 B	mg/kg
Benceno	EPA 8260 C/ EPA 5035	mg/kg
Etilbenceno	EPA 8260 C/ EPA 5036	mg/kg
Tolueno	EPA 8260 C/ EPA 5037	mg/kg
Xileno	EPA 8260 C/ EPA 5038	mg/kg

Las etapas establecidas para el monitoreo y seguimiento del transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición de relaves se establecerán de la siguiente manera.

Etapas Pre-campo

- Programación de actividades de campo y conformación de equipos de trabajo y de control.

- Establecimiento de puntos de monitoreo de agua de relavera y sedimentos; además de análisis de estabilidad y geotecnia del depósito de relaves.
- Contratación de laboratorios especializados para la realización de análisis y ensayos en campo.
- Calibración de equipos de monitoreo (En caso de que sean propios de la empresa)
- Compra de materiales y accesorios
- Preparación de reactivos (En caso de que sean propios de la empresa)
- Contacto con instituciones de control y afines para que realicen el acompañamiento en las actividades de monitoreo y seguimiento, como Ministerio del Ambiente, Agencia de Regulación y Control Minero, GAD's Provincial y Cantonal y Centros Educativos Universitarios.
- Programación de los monitoreos.

Etapa de Campo

- Toma de muestras
- Medición de parámetros y análisis geotécnico de suelos.
- Inspección del área circundante a las estaciones de monitoreo

Etapa de Post-campo

- Análisis de muestras
- Cálculo de los resultados
- Análisis e interpretación de la información
- Identificación de áreas críticas.
- Descripción de las actividades complementarias para generar planes de acción en las áreas críticas encontradas.
- Elaboración del Informe Final y/o Plan de Acción.

4.2.3 Tratamiento de Relaves

Las actividades extractivas y metalúrgicas dentro del proyecto minero Rio Blanco se ejecutarán con un porcentaje alto de recirculación de agua (70%), además, de que en el proceso de beneficio se efectuara con subprocesos metalúrgicos que generan un relave seco (GRUPO JUNFIELD, 2013). Dando como resultado una mínima acumulación de agua sedimentada en el depósito de relaves; misma que como primera opción será recirculada (*ver 4.2.2.2*). Además; como medida de remediación y depuración complementario, para estas aguas sedimentadas, se deberá contar con una instalación adecuada y tecnológicamente equipada para desarrollar el tratamiento de las aguas sedimentadas del depósito de relaves.

Adicionalmente, se podrían implementar técnicas de fitorremediación para estabilizar y retener metales pesados en las raíces de las plantas utilizadas en esta técnica. Esta propuesta se deberá implementar en el cierre definitivo del depósito de relaves.

4.2.3.1 Alternativas de tratamiento de aguas cianuradas resultantes del proceso de beneficio.

En la industria minera se han manejado varios métodos de tratamientos para la descontaminación de aguas ácidas y cianuradas resultantes del proceso metalúrgico de beneficio; todos basados en la oxidación del cianuro a cianato, mucho menos tóxico y posteriormente dissociable en dióxido de carbono y nitrógeno.

Dentro de los métodos de depuración del cianuro se pueden señalar:

- Degradación natural
- Oxidación química
- Biodegradación

Degradación Natural

Los procesos de degradación natural reducen la toxicidad de los compuestos cianurados a lo largo del tiempo. Los principales mecanismos responsables de esta transformación son la volatilización de las fases gaseosas, la oxidación natural, la adsorción en superficies minerales, las reacciones de hidrólisis, la biodegradación (bacteriana) y la precipitación de compuestos insolubles (García, 2005)

Si bien estos procesos son efectivos, presentan el inconveniente de tener una cinética demasiado lenta como para poder ser considerados útiles a nivel industrial. Dependen, además, de la localización geográfica de las instalaciones, pues este parámetro condiciona las condiciones climáticas en las que se produce la degradación.

Oxidación Química

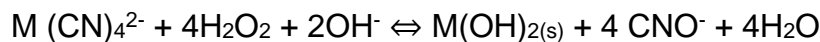
Los procesos de oxidación química más conocidos para el tratamiento del cianuro incluyen el proceso con SO_2 /Aire (desarrollado por la compañía minera canadiense INCO) y el proceso de tratamiento con H_2O_2 (peróxido de hidrógeno) iniciado por la empresa minera Degussa Goldhandel. Además del método tradicional de Cloración, que en la actualidad está en desuso.

- **Tratamiento con Peróxido de Hidrógeno**

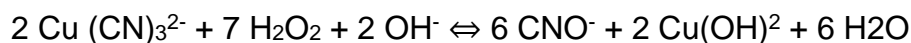
El peróxido de hidrógeno es un potente oxidante no contaminante, cuyo uso se ha extendido a lo largo de los años, siendo utilizado en numerosas instalaciones metalúrgicas de todo el mundo (sobre todo para tratamientos de efluentes cianurados residuales).

El reactivo se comercializa normalmente concentraciones superiores al 70% de H_2O_2 . Las reacciones de oxidación tienen lugar al pH natural del efluente, que generalmente es de 10 (ELIPE, 2012), y no requiere mayor control de dicho parámetro, puesto que el H_2O_2 sólo presenta un suave carácter ácido.

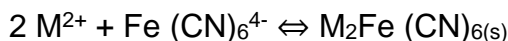
Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



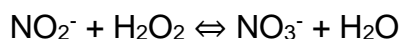
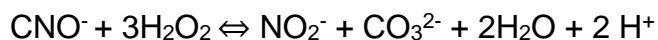
Los complejos cianurados de metales como el Cu y Zn son oxidados, permitiendo la precipitación espontánea de los hidróxidos correspondientes en el rango de pH 9:



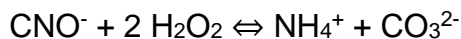
Para los ferrocianuros que no son oxidados, y precipitan como sales de metal insoluble (Fe, Cu, Zn) junto con los precipitados de hidróxido se tiene:



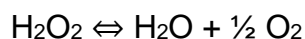
Una presencia de peróxido en exceso durante el proceso puede favorecer la formación de iones carbonato y nitrito. Éste último, a su vez, puede derivar en nitrato:



El cianato formado durante el proceso se hidroliza espontáneamente formando ión amonio e ión carbonato (la reacción sólo ocurre de forma apreciable a temperatura ambiente y a valores de pH por debajo de 7). Se estima que, entre un 10 y un 15 % de los iones cianato generados, reaccionan de este modo:



Finalmente, cualquier nivel residual de oxidante se descompone espontáneamente generando oxígeno:



La reacción cinética de oxidación (está marcadamente afectada por la presencia de pequeñas concentraciones de iones de Cu (10-20 mg/l) que actúan como catalizadores (ver Figura 32). Por tanto, está indicado especialmente para el tratamiento de efluentes que contienen iones Cu en solución por encima de 20 mg/l. En ausencia de dichos iones, la reacción de oxidación tiende a hacerse lenta, necesiándose un elevado exceso de H_2O_2 para acelerar el proceso o bien añadirlos en forma de $CuSO_4$ o $FeSO_4$. (Ruales, 2012)

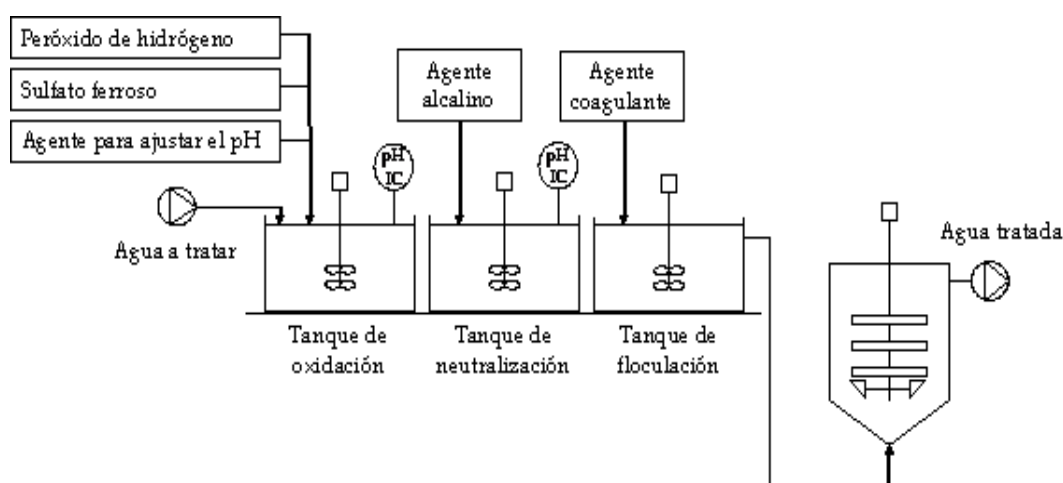


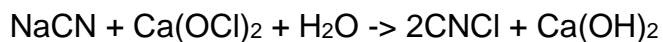
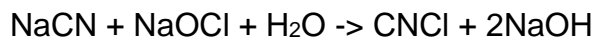
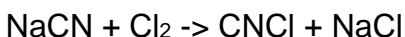
Figura 32 Proceso de Tratamiento con Peróxido de Hidrogeno

- **Tratamiento con hipoclorito de calcio**

El cloro ha sido utilizado para la destrucción del cianuro desde los comienzos en de la utilización de este reactivo en la industria minera, debido a su facilidad para ser obtenidos.

La cloración alcalina es un proceso químico que implica la oxidación y destrucción del cianuro en estado libre y en compuestos débiles (cianuros WAD) bajo condiciones alcalinas es decir un $pH > 11$. (Chung, 2010)

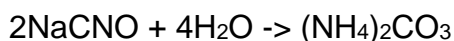
La destrucción del cianuro usando iones de hipoclorito ó gas cloro procede vía el compuesto tóxico, cloruro cianógeno (CNCl) de acuerdo con una de las siguientes reacciones:



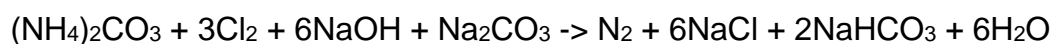
Esta reacción ocurre casi instantáneamente, con el elevado pH de la reacción, para obtener cianato de acuerdo con la reacción:



El tiempo de reacción va desde los 10 a 15 minutos dependiendo del pH. Si se cuenta con suficiente iones hipoclorito, el cianato se oxida a amoníaco y carbonato:



La hidrólisis requiere aproximadamente entre 1 a 1,5 horas; al momento de agregar un exceso de iones hipoclorito, el amoníaco reacciona para convertirse en gas nitrógeno:



Normalmente el proceso no llega hasta este punto debido al excesivo consumo de cloro que implica y un período de reacción muy grande. La oxidación de cianuro a cianato requiere aproximadamente 2,75 kg Cl/ 1kg CN, aunque en la práctica el consumo es mucho mayor (ver Figura 33).

La cloración alcalina puede remover, bajo condiciones ambientales, todas formas de cianuros, excepto los muy estables cianuros de hierro. (Fajardo, 2010)

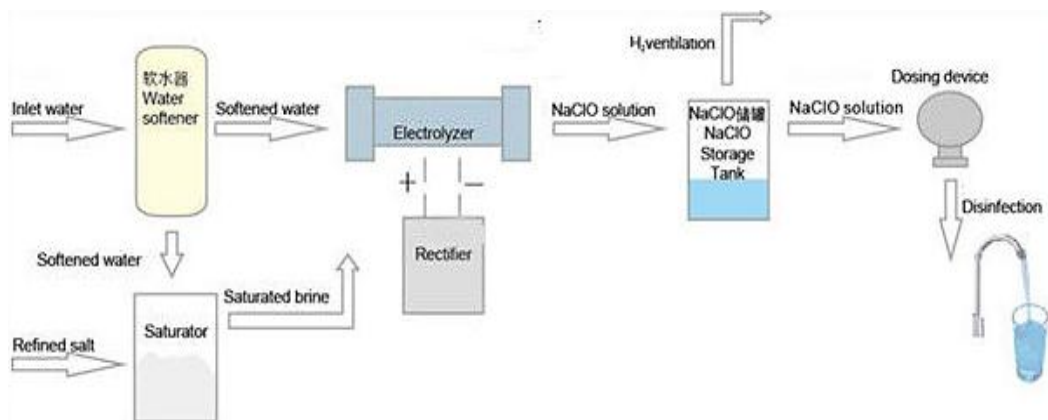


Figura 33 Proceso de Tratamiento con Hipoclorito de Sodio

Fuente: (Shanghai Jiashang Environmental , 2015)

Biodegradación

La biodegradación del cianuro es la base de los sistemas de tratamiento de los efluentes residuales industriales como los utilizados por Homestake Mining Company en los Estados Unidos e ICI Bioproducts en el Reino Unido. Durante más de una década, se ha empleado un proceso biológico para tratar el cianuro en la Mina Homestake en Lead, Dakota del Sur. Las condiciones aeróbicas son mucho más favorables para la degradación del cianuro que las condiciones anaeróbicas, aunque los organismos anaeróbicos pueden ser eficaces para tratar el cianuro en concentración es de hasta varios miligramos por litro. (Nava, 2007)

Entre las principales ventajas en el proceso de tratamiento biológico tenemos el diseño simple, la facilidad del control del operativo del proceso, bajos costos de las sustancias químicas y la capacidad para tratar todas las diversas formas del cianuro y los subproductos generados. En contra parte las limitaciones radican en el bajo rendimiento que presentan los sistemas de tratamiento biológico en temperaturas frías dando como resultado concentraciones muy altas de cianuro.

Es importante mencionar que los tratamientos antes descritos pueden variar su eficiencia dependiendo el número de interferencias presentes en la solución a tratar. La

presencia de diferentes elementos o compuestos en la solución puede interferir de una manera positiva o negativa en el resultado del análisis químico de cianuro, según la técnica utilizada. (Nava, et al., 2007, p. 22).

Los tratamientos de oxidación y biodegradación permiten deducir que:

- De acuerdo con la investigación de Fajardo (2010)," el mejor tratamiento para la remoción de cianuro libre es el H₂O₂ en la relación 2/1, porque se obtienen los más altos porcentajes de remoción, además presenta ventajas sobre los otros tratamientos, desde el punto de vista técnico, económico y ambiental" (p11).
- A pesar de que estadísticamente se comprobó que los mejores porcentajes de remoción de cianuro total se obtuvieron con el hipoclorito de sodio en las diferentes relaciones aplicadas, sin embargo, el estudio sugiere la aplicación del peróxido de hidrógeno en su relación 2/1 por las consideraciones antes puntualizadas.
- Dependerá de la empresa minera seleccionar, definir, implementar y ejecutar una de las alternativas propuestas. La ventaja es que todavía se pueden realizar pruebas piloto, una vez que arranque la explotación del mineral y durante la fase inicial de operación de la planta de beneficio y depósito de relaves con el fin de ajustar datos técnicos que optimicen la alternativa seleccionada por la empresa.

4.2.3.2 Técnica de fitorremediación de relaves para estabilizar y retener metales pesados

Una vez ejecutado el cierre técnico del depósito de relaves mediante la compactación y estabilización hidráulica del material resultante del beneficio del mineral en el proyecto minero con un almacenamiento estimado de 2,05 millones de metros cúbicos para una vida útil en 11,6 años; se deberán realizar actividades técnicas que permitan la inocuidad de los relaves mineros a mediano y largo plazo; es así que la aplicación de la técnica de fitorremediación para estabilizar y retener metales pesados presentes en los relaves es una opción socioeconómica y ambientalmente factible.

El proceso de cianuración es usado frecuentemente para la lixiviación y posterior obtención de minerales de oro y plata. Por lo que Logsdon, Hagelstein y Mudder (2001), afirman que “Los relaves mineros producidos mediante el método de cianuración contienen sustancias tóxicas como el arsénico, plomo, cadmio, cianuro, selenio y zinc que, al tener contacto con el agua y el subsuelo, altera su composición natural.

La fitorremediación es una tecnología alternativa y sostenible; que consiste en el uso de especies forestales para reducir, degradar o inmovilizar compuestos orgánicos e inorgánicos considerados como contaminantes (naturales o sintéticos), del suelo, el agua o del aire. Para el efecto, se han identificado especies con la capacidad de almacenar metales pesados en alta concentración presentes en suelos contaminados y potencialmente tóxicos, como Cd, Pb, Zn, Cu, Fe, Ni, Se y otros metales pesados que se oxidan con facilidad. (Baldwin, 2007)

Una alta eficiencia de la fitorremediación se fundamenta en identificar las especies vegetales que toleren el estrés, que acumulen los metales pesados y produzcan cantidades grandes de biomasa (Figura 34). En general las plantas que acumulan más de 1000 mg/kg del Pb, se llaman hiperacumuladoras. (García, Chico Ruiz, & Valdivieso Arenas, 2008)

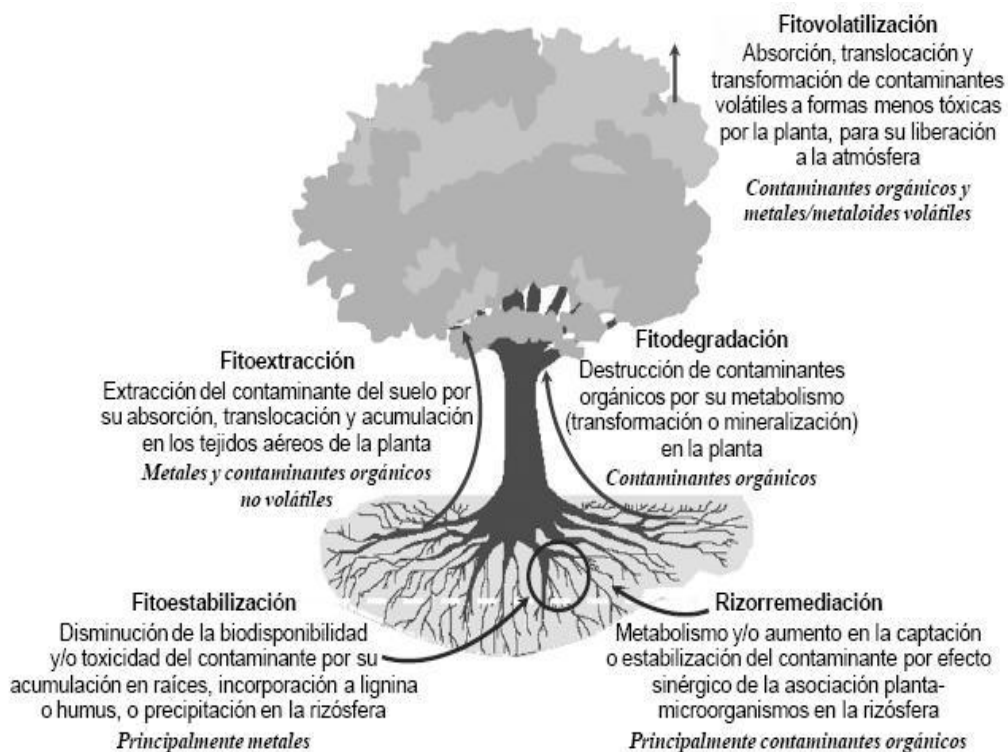


Figura 34 Sistema de Fitorremediación en el suelo para generar o extraer biomasa

Fuente: (Peralta Pérez, 2012)

Estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) han logrado identificar la factibilidad de las técnicas de fitorremediación de metales pesados para lo cual se deben considerar cuatro mecanismos de absorción de metales en plantas: fitoextracción, fitovolatilización, fitoestabilización, fitoimmobilización, fitodegradación y rizofiltración como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 13
Mecanismos de Fitorremediación

Proceso	Mecanismo	Contaminantes
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos e inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación de metales pesados.	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de las hojas	Orgánicos e inorgánicos
Fitoimmobilización	Acumulación en la rizósfera	Orgánicos e inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces y microorganismos para absorber y adsorber contaminantes del agua.	Orgánicos e inorgánicos

Fuente: (Delgadillo López, 2012)

La industria minera en Perú y principalmente proyectos ejecutados por empresas subsidiarias de JUNEFIELD MINERAL RESOURCES HOLDINGS LIMITED. Mediante una investigación experimental de campo han visto factible la aplicación de técnicas de fitorremediación para el tratamiento de los relaves mineros generados en sus empresas, como alternativa para depurar y tratar los suelos contaminados por relaves; o a su vez como una técnica para evitar la contaminación de los depósitos de relave posterior a su cierre técnico. Es así como, un estudio evaluó el uso de especies forestales de la sierra peruana (*Myoporum laetum*, *Polylepis racemosa* y *Buddleja coriacea*) para el tratamiento de relaves mineros. Se evaluó el desarrollo de las especies plantadas en relave minero durante 27 semanas y se hizo un análisis fisicoquímico al relave para determinar el pH y la concentración de elementos químicos. Las especies forestales demostraron tener gran tolerancia a suelos contaminados y se obtuvo una remoción de los elementos químicos: antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plata (Ag) y plomo (Pb) (Paredes, 2015). Tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 14.
Resultados del Análisis de metales pesados y pH

PÁRAMETRO	CALIDAD DE RELAVE MINERO (mg/kg)	LÍMITE PERMISIBLE USO AGRICOLA NORMATIVA ECUATORIANA y CANADIENSE.	VALORACION DE LA CALIDAD DEL RELAVE UNA VEZ APLICADA LA TÉCNICA DE FITOREMEADIACION (mg/kg).		
			<i>Myoporium laetum</i> Miosporo	<i>Polylepis racemosa</i> Polilepis	<i>Buddleja coriácea</i> Kiswara
Antimonio (Sb)	298.1	20 ⁽¹⁾	89.54	73.48	74.85
Arsénico (As)	2202.0	12 ⁽²⁾	1348.9	999.71	1344.98
Cadmio (Cd)	36.52	2 ⁽²⁾	32.80	31.96	32.15
Cobre (Cu)	5460.5	63 ⁽²⁾	864.86	723.52	741.54
Plata (Ag)	61.6	20 ⁽¹⁾	45.95	30.43	38.192
Plomo (Pb)	2933.5	60 ⁽¹⁾	1081.87	938.72	946.79
pH	2.50	6 a 8 ⁽²⁾	6.58	6.55	6.63

(1) Tomado de Canadian Soil Quality Guidelines for de protection of Environmental and Human Health (CCME, 2007).

(2) Tomado del Acuerdo Ministerial 097-A publicado en el Registro Oficial No. 387.

Fuente: (Paredes, 2015)

La conclusión del estudio realizado por Paredes (2015) comprueba que de las especies analizadas *Polylepis racemosa* es la especie en la cual que se observa mayor remoción de metales pesados, sin alcanzar los límites máximos permisibles de la normativa vigente, mientras que se obtuvo una estabilización del pH cumpliendo el limite permisible vigente.

Adicionalmente, otra investigación evaluó el crecimiento de *H. annuus L.* (girasol), especie bioacumuladora de metales pesados, mediante la adición de acondicionadores orgánicos e inorgánicos al relave minero a fin de lograr la fitoextracción de plomo, zinc y cadmio.

La investigación utilizó una muestra procedente de una presa de relaves de la localidad de Zarumilla, (Trujillo Perú), las muestras se obtuvieron utilizando la metodología de muestreo en zigzag, se excavó hasta 20 cm de profundidad aproximadamente y se extrajo 6 kg de submuestras en 20 puntos de muestreos, las cuales se homogenizaron obteniendo una muestra compuesta de 120 kg. (Lizarbe Asmat, 2016)

Para completar la metodología de la investigación se utilizó una mezcla de material orgánico (humus y musgo) e inorgánico (arena y aserrín) para la preparación de 36 kg de acondicionador, a partir de la siguiente proporción: 50% humus + 30% musgo + 10% arena + 10% aserrín. (Lizarbe Asmat, 2016)

Sobre la muestra recolectada se llevó a cabo un total de 4 tratamientos a diferentes proporciones de relave y acondicionador, como se observa en la Tabla 14, se realizó 6 réplicas por tratamiento en bolsas de polietileno de 2 kg de capacidad.

Una vez mezclado el relave y los acondicionadores se ubicaron en bolsas individuales para aplicar una siembra directa colocando 2 semillas en cada bolsa aplicando un riego directo hasta la germinación, para poder evaluar los resultados para cada tipo de tratamiento. (García, Chico Ruiz, & Valdivieso Arenas, 2008)

Tabla 15

Proporción de relave y acondicionador

TRATAMIENTO <i>H. annuus L.</i> (girasol)	DESCRIPCIÓN	PERIODO DE PRUEBA (días)
T1	100 % relave	30- 60- 90
T2	75 % relave + 25 % de acondicionador	30- 60- 90
T3	50 % relave + 50 % de acondicionador	30- 60- 90
T4	25 % relave + 75 % de acondicionador	30- 60- 90

Fuente: (Lizarbe Asmat, 2016)

Las mediciones, mediante un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA), para cuantificar la eficiencia del girasol en la fitoextracción de plomo, zinc y cadmio consideraron las medidas de longitud de raíz, número de hojas, longitud de tallo y peso seco, de todas las plantas de *H. annuus L.* para cada tipo de tratamiento con periodos de

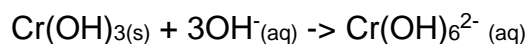
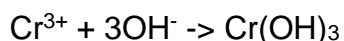
medición de 30, 60 y 90 días (Lizarbe Asmat, 2016) ; mismas que fueron comparados con un “Control” (plantas germinadas en suelo sin relave).

La investigación concluyó que el método de siembra directa logró acumular la mayor concentración de Pb, Zn y Cd, en donde la raíz fue el órgano de mayor bioacumulación de estos metales, a pesar de que no se logró alcanzar los límites máximos permisibles. También, se observó que los mejores resultados obtenidos se encuentran en el tratamiento 2 (75% de relave y 25% de acondicionador). (Lizarbe Asmat, 2016)

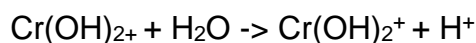
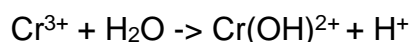
De las dos investigaciones expuestas se observa que en la primera (tres especies forestales) la fitorremediación se efectuó por los procesos de fitoextracción y fitoestabilización; mientras tanto que en la segunda investigación se efectuó por los procesos de inmovilización y rizofiltración.

Las reacciones químicas que se dan en los procesos de fitoextracción y fitoestabilización podrían ser de: hidrólisis, precipitación, complejación, reacciones redox, y fotoquímicas (Mulas Fernández, 2015). Para el caso de la presente investigación, reducción de metales pesados en relaves mineros, se tendrían específicamente reacciones de precipitación, hidrolisis y redox.

Precipitación (Cromo)



Hidrolisis (Cromo)



Redox (Cromo)⁵



En cuanto a las reacciones químicas de los procesos de inmovilización y rizofiltración se las puede visualizar en la Figura 18.

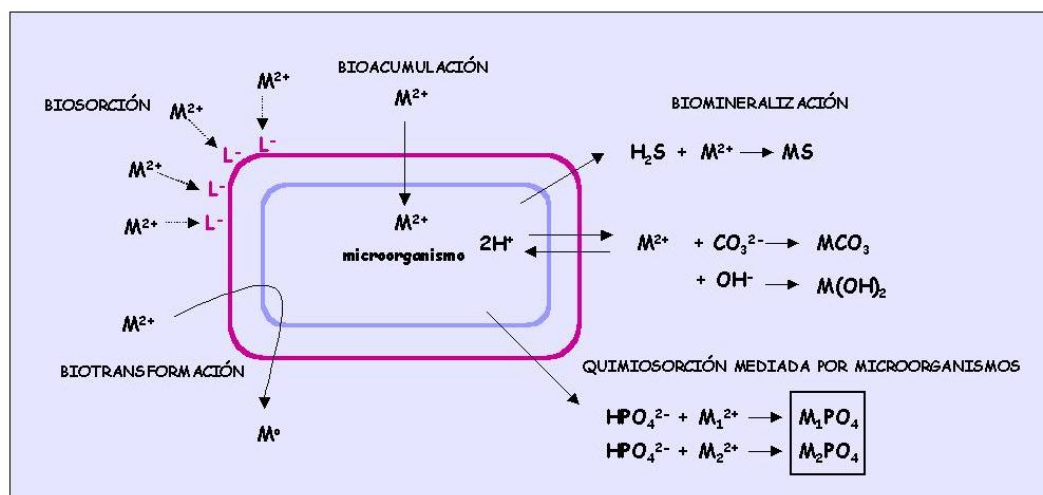


Figura 35: Reacciones químicas del Proceso de fitoinmovilización y Rizofiltración

Fuente: (Vullo, 2003)

El contexto geográfico y la realidad del proyecto minero Río Blanco permite que se tome como referencia el estudio realizado por Paredes (2015) y el realizado por Lizarbe (2016) para que según sea el caso, se considere la aplicación de estas técnicas de fitorremediación con las especies antes descritas, a sabiendas que la utilización de esta alternativa simplemente brinda resultados preliminares para la eliminación de los metales pesados y estabilización del pH en relave minero de los depósitos, sin lograr alcanzar el

⁵ Los iones CrO_4^{2-} y HCrO_4^- son las formas más móviles de Cr (VI) en el suelo, siendo el HCrO_4^- la forma dominante en suelos ácidos con $\text{pH} < 6$. (SOTELO MUÑOZ, 2012)

cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa nacional e internacional vigente⁶.

La fitorremediación como técnica preliminar de remediación y remoción de metales pesados y estabilización de pH se podrá ejecutar durante la operación del depósito de relaves o a su vez cuando se ejecute el cierre técnico del mismo. Las especies forestales seleccionadas deberán pasar por investigaciones experimentales de laboratorio, previo a su implementación a mayor escala a fin de remediar los suelos contaminados con relaves que se generen en el proyecto minero.

4.2.4 Disposición final de los relaves

La correcta gestión ambiental de la empresa en la disposición final de relaves mineros permitirá almacenar adecuadamente los relaves provenientes del proceso metalúrgico, aplicando tecnología ecológicamente racional, económicamente viable, para proteger la integridad física de las personas, el medioambiente y el aspecto sociocultural circundante.

4.2.4.1 Relleno hidráulico de relaves secos en las galerías existentes por la explotación del proyecto minero Río Blanco

El proyecto minero tiene una escala de minado de 800 t/d, el volumen promedio diario de espacio vacío es 300 m³ del que aproximadamente 240 m³ deben ser llenados el mismo día. (GRUPO JUNFIELD, 2013) El espacio vacío se forma luego del minado de las vetas mayores a 5 metros, para ejecutar el llenado se debe cumplir con ciertos principios técnicos de diseño, mismos que se detallan a continuación:

⁶ Canadian Soil Quality Guidelines for de protection of Environmental and Human Health (CCME, 2007)

- a. Cumplimiento estricto de los requisitos del contrato (empresa ejecutora), además de las normas, reglamentos y especificaciones nacionales pertinentes, y que se garantice la calidad del diseño.
- b. Aprovechamiento del depósito de relaves y las canteras existentes en la zona de influencia del proyecto, para así optimizar las obras de ingeniería que se ejecutarán y minimizar los gastos en la inversión del relleno.
- c. Constatar que los equipos de relleno utilizados tengan la capacidad y preparación necesaria.
- d. Garantizar la seguridad y estabilidad del sistema de llenado en el periodo de la vida útil del proyecto minero. (Hace referencia a la vida útil de la mina y planta de beneficio)
- e. Ejecutar actividades de llenado priorizando la protección del medioambiente y la conservación del agua. (En el proceso de compactación del relave con cemento se usará agua recirculada)
- f. Proceso sea simple, confiable y de fácil manejo
- g. Garantizar que la inversión total del sistema de llenado este acorde al presupuesto anual que maneja la empresa, a fin de evitar pérdidas o cierres forzados del sistema de llenado.

Selección de materiales de llenado

Para el presente caso, se elige la cola de los relaves generados del procesamiento metalúrgico del mineral de interés, adicionalmente se usa el cemento como material cementante.

De acuerdo con los requerimientos del método de minado 28 días al mes, se puede usar el equipo de llenado con una fuerza 0.5 – 1 Mpa, y la relación de la mezcla es: Cemento - Relave =1:4 a 1:12; (correspondiente al cemento tipo 32.5⁷)

⁷ Cementos de aluminato de calcio

Se deberá rellenar un promedio de 240 m³/d; ventajosamente este valor si es factible alcanzarlo debido a que se ha elegido relaves secos provenientes de la pila seca del proceso metalúrgico de beneficio, cuando el relave necesite de procesos de secado, se tomarán los relaves sedimentados preexistentes del depósito o tranque principal.

La cola de relave entra en un potente mezclador biaxial a través de una banda transportadora (y simultáneamente se añade cemento y agua de acuerdo con la proporción seleccionada). Finalmente, la mezcla es transportada al área vacía mediante el tubo de llenado y usando una bomba.

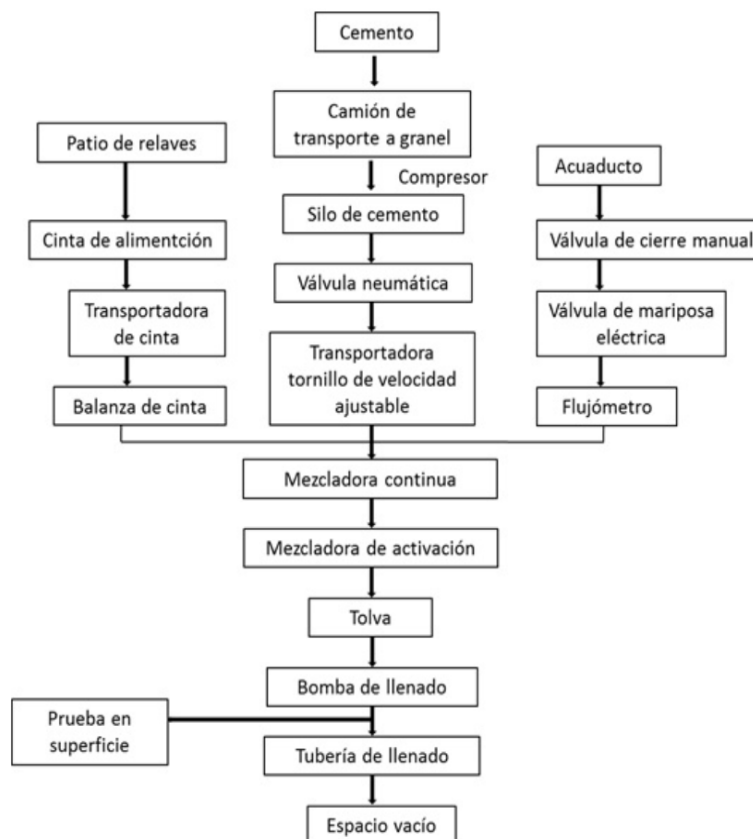


Figura 36 Diagrama de flujo de llenado del relave seco con cemento

El sistema de llenado de relaves se compone principalmente de: sistema de espesamiento, preparación de la mezcla, bombeo de lodos, sistema de abastecimiento de electricidad y agua, sistema de control automático y sistema de llenado del stope.

Sistema de alimentación de cemento

El cemento a granel transportado desde otro lugar hasta el silo de cemento mediante unidades de transporte neumático, el cemento se suministra con una potente mezcladora biaxial.

Aplicando una proporción promedio de 1:8 mezcla cemento - relave: se calcula que el consumo de cemento máximo diario sería de 90 m³ equivalente a 100 toneladas.

Sistema de mezcla

La cola de relave, cemento y el agua para la mezcla, por la auto alimentación por el sistema de control de peso del llenado de relaves, entran al mismo tiempo en la potente mezcladora biaxial, y luego de mezclar en forma continua son descargados en la mezcladora de activación, y después la mezcla se descarga a la tolva de la bomba de llenado.

Mezcladora biaxial potente

El cemento y la cola de relave se mezclan en la revolvedora, de acuerdo con la capacidad de llenado (248m³/d). La mezcladora debe alcanzar un volumen efectivo de mínimo que permita alcanzar llenar el menos el 80% de los espacios vacíos dentro de la mina.

Mezcladora de activación fuerte

La mezcladora de activación realiza la descarga mediante la tolva de compensación, Esto se hace controlar la alimentación de materiales desde la descarga de la mezcladora de activación, hasta la bomba de llenado industrial.

Bomba del sistema de llenado

la bomba seleccionada para el sistema de llenado debe cumplir el requisito de relleno de (248m³/d) para una operación continua de mínimo 6 horas al día.

Sistema de la tubería de llenado

El sistema de la tubería de llenado está compuesto por tuberías resistentes y que cumplan con los parámetros y normativa nacional para soportar la estrangulación hidráulica generada.

Es importante instalar un manómetro cada 150 metros de la tubería para detectar el cambio de presión durante el proceso de llenado. Además, se debe tratar de distribuir la tubería de llenado lo más cerca posible de la tubería de aire a presión y de la tubería de agua para que sea de fácil manipulación en caso de un incidente. Finalmente, al distribuir la tubería de llenado, es mejor reducir el número de curvas y pendientes para disminuir la pérdida de presión de la mezcla y evitar fallos o bloqueo en el sistema.

4.2.4.2 Utilización de los relaves para fabricación de ladrillos y baldosas

La obtención de ladrillos y baldosa utilizando como agregado de construcción los relaves mineros polimetálicos resultantes de los subprocesos metalúrgicos (flotación), es una técnica de disposición final de relaves mineros que en el país no ha sido utilizada; sin evidenciarse investigaciones realizadas.

Ventajosamente la industria minera peruana tiene años de adelanto en aspectos técnicos referentes a la explotación, beneficio, manejo, gestión y disposición final de relaves mineros; y para el efecto se cuenta con una investigación realizada que estableció las técnicas de fijación y micro encapsulación de los metales pesados en los relaves mineros, con el propósito de estabilizar los metales peligrosos y contaminantes que se encuentran en los relaves, anulando así el proceso natural de disponibilidad y movilidad de los metales pesados que se caracterizan por causar contaminación

cuando están en estado inestable y por lo tanto migran hacia al medio físico, suelo y agua. (Romero A. , 2010)

La metodología de la investigación aplicada para la medición y caracterización experimental de la eficiencia del uso del relave minero como agregado de construcción en el trabajo realizado por Romero (2010) se detalla a continuación:

Materiales

- a. Relave
- b. Cemento
- c. Cal
- d. Agua destilada
- e. Malla Serie Tyler N.º 200
- f. Espátula
- g. Balde
- h. Molde para ladrillos
- i. Molde para baldosas
- j. Badilejo.

Pruebas experimentales

Para la ejecución del experimento se consideran los siguientes procedimientos:

- a. Procedimiento para la obtención de agregados de construcción a partir de relaves mineros polimetálicos.
- b. Procedimiento para la fabricación de ladrillos y baldosas a partir del agregado de construcción.

Procedimiento para la obtención del agregado de construcción

El proceso para la obtención del agregado de construcción comprende los siguientes pasos:

- a. Caracterizar geoquímicamente el relave.
- b. Analizar granulométricamente.
- c. Caracterizar fisicoquímica.
- d. Analizar químicamente.
- e. Encapsular los metales pesados en el relave, preparando una mezcla con una proporción en peso del relave que representa del 70 al 90% del peso total del relave a encapsular, cemento que representa del 9 al 16% en peso del total del relave a encapsular, cal que representa del 1 al 10% en peso del total del relave a encapsular; agregar agua hasta obtener una mezcla coloidal y finalmente secar la mezcla.

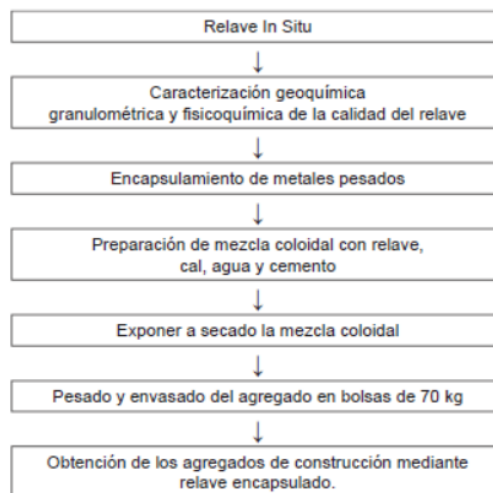


Figura 37 Procedimiento para la obtención del agregado de construcción

Fuente: (Romero A. , 2010)

Procedimiento para la fabricación de ladrillos y baldosas a partir del agregado de construcción

El proceso para la fabricación de baldosas y ladrillos a partir de la encapsulación del relave es el siguiente:

- a. Proporcionar los moldes convencionales para los ladrillos y baldosas de acuerdo con el tamaño y forma requeridos.
- b. Preparar una mezcla homogénea con una proporción en:
 - o Peso de los gruesos del agregado de construcción que representa entre 14% al 70% del peso total de la mezcla,
 - o Cemento que representa del 40 al 70% del peso total de la mezcla.
 - o Cal que representa del 1 al 10% en peso del total de la mezcla.
 - o Finos del agregado de construcción que representa del 10 al 22% del peso total de la mezcla.
- c. Agregar agua hasta obtener una mezcla homogénea.
- d. Verter en cada molde correspondiente; la mezcla obtenida en los pasos anteriores.
- e. Curar (secar) el ladrillo o baldosa en condiciones de temperatura ambiente por un periodo de 26 a 30 días, se puede agilizar.

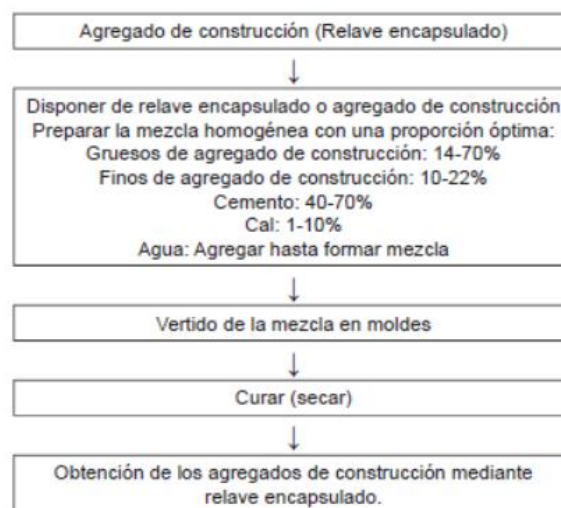


Figura 38 Procedimiento para la fabricación de ladrillos y baldosas a partir del agregado de construcción

Fuente: (Romero A. , 2010)

Una vez realizadas diversas pruebas de toxicología y aplicando la metodología 3111-EPA, 3113-EPA y 3114-EPA, demostraron que la calidad del agregado de construcción obtenido a partir de los relaves mineros polimetálicos no es contaminante. (Romero A. , 2010)

La empresa deberá evaluar esta alternativa de disposición final efectuando pruebas experimentales piloto de los relaves (secos) que se generen en el proceso metalúrgico y los que estén sedimentados en el depósito principal. Los procedimientos de esta investigación se pueden replicar a la realidad, contexto y residuos mineros generados (relave seco o húmedo) del proyecto minero Río Blanco.

4.2.4.3 Cierre técnico del depósito de relaves

El cierre técnico del depósito de relaves debe considerar todas las alternativas propuesta en el manejo y tratamiento a fin de lograr el desarrollo de proyectos agrícolas mediante la aplicación de técnicas de estabilización de los depósitos llenos para evitar deslizamientos y controlar filtraciones para que a mediano y largo plazo se logre aplicar un programa de revegetación mediante la colocación de capas de grava, arcilla y geomembranas; y una vez que se valide la condición idoneidad del suelo se pueda sembrar especies endémicas. La aplicación, post cierre de la relavera, preliminar de la técnica de fitorremediación descrita anteriormente, es fundamental para lograr el cierre técnico adecuado.

Las consideraciones técnicas para el óptimo cierre en un depósito de relaves son las siguientes:

Sismicidad

El riesgo sísmico del sitio del depósito se ha calculado en base a un estudio llevado a cabo por WMC y S/S Ingenieros Consultores Ltda., en dicho estudio se consideró la incidencia de las diferentes fallas circundantes en base a las aceleraciones horizontales máximas en el sitio de interés, para lo cual se detalla:

- Terremoto Interplaca Subductivo Lejano – Magnitud $M_s = 8,8$, profundidad focal de diseño $H = 25$ km, y distancia epicentral $D = 400$ km.
- Terremoto Interplaca Subductivo Costero – Magnitud $M_s = 8,8$, profundidad focal de diseño $H = 25$ km, y distancia epicentral $D = 250$ km. Cálculos de aceleración máxima Casaverde y Vargas (1980) = 0,338 g; Aguiar (1988) = 0,210 g; Youngs et al (1997) = 0,255 g; Ruiz y Saragoni (2005) = 0,401 g.
- Terremoto Cortical Superficial – este terremoto corresponde a la eventual activación de una falla localizada más cerca del proyecto. Con los antecedentes disponibles se ha estimado que esta falla sería capaz de producir un terremoto de magnitud $M_s = 7,1$. La distancia epicentral de diseño se considera como $R = 8$ km. Las aceleraciones máximas calculadas son Donovan (1973) = 0,385 g; Patwardhan (1978) = 0,338 g; Sadigh et al (1997) = 0,438 g.

El mayor valor de aceleración máxima (PGA) estimado determina que para un evento de terremoto máximo creíble (MCE) considerando todos los sismos de diseño y todas las relaciones de atenuación corresponde al sismo tipo cortical superficial de alcance máx = 0,438 g. Para el diseño del muro, se ha aplicado un valor de 0,6 g como criterio del diseño. Este, por tanto, incluye un factor de seguridad alto relativo al PGA, y constituye un umbral superior a las normas especificadas en las zonas de riesgo sísmico más alto a nivel nacional. (Terrambiente, 2011)

El estudio sísmico específico permitió considerar y deducir que para la fase del proyecto y operación del depósito de relaves se debe tener en cuenta que:

- El sitio se encuentra dentro de una región sísmica activa.
- La actividad sísmica que afecta el sitio no dará lugar a movimientos de tierra de suficiente magnitud para afectar el diseño y la construcción de una estructura de relleno de tierra usando prácticas y diseños antisísmicos en todas las instalaciones. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

- Suficientes datos históricos regionales disponibles permiten estimar la sismicidad del sitio y determinar el Terremoto Máximo probable que podría impactar el sitio y estimar el movimiento y la aceleración de tierra resultante, para su uso en el diseño del terraplén.
- En la actualidad no se conocen fallas activas dentro de los límites del embalse de colas. Hay una estructura de falla en la zona que será examinada durante la investigación geotécnica detallada previa al arranque de labores mineras. (GRUPO JUNFIELD, 2013)

Procesos y efectos de la erosión

El transporte erosivo de los relaves, más allá de los límites del depósito puede tener efectos ambientales sobre la calidad del agua superficial o sobre el hábitat acuático por sedimentación en los arroyos o fuentes de agua circundantes.

Como lo discutió Blight (1987), la erosión del agua afecta severamente los taludes de los depósitos de relaves, particularmente aquellos constituidos con arenas de relaves cicloneados. El mecanismo de erosión del agua ocurre por canalización y la manera más efectiva y económica para prevenirlo es cubriendo los taludes de relaves expuestos con una capa de suelo natural grueso, o desmonte de mina si éste está disponible y es químicamente inerte.

La erosión por viento es más importante en las grandes extensiones de la superficie en un embalse de relaves. Las nubes de polvo provenientes de tranques de relaves pueden elevarse miles de metros en la atmósfera, y los niveles de material particulado medidos cerca de los embalses pueden alcanzar valores como de 2000 mg por metro cúbico (Blight G. , 1987) capaces de causar irritación de las vías respiratorias y constituir un riesgo a la seguridad de los vehículos en movimiento.

La humedad tiene efectos obvios sobre el transporte de partículas, pero únicamente a poca distancia de la superficie de los relaves. El secado de la superficie no puede ser

prevenido por la saturación debajo de la superficie, y las polvaredas han ocurrido en relaves finos saturados tan próximos como a un metro por debajo de la superficie (Blight G. , 1987). El clima tiene efectos importantes en el comportamiento de la erosión relacionados con la frecuencia y severidad de las polvaredas, es así que, los problemas de polvo generados en los depósitos de relaves mineros han sido identificados en tan diversos climas como el cálido y el frío. Los problemas de polvos de los relaves pueden ser reducidos por la cobertura con nieve y la unión interparticular con hielo en ambientes fríos, y en lugares elevados, (acopla a la realidad y contexto del proyecto minero).

El principal objetivo de la recuperación de la superficie de los embalses es, por lo tanto, prevenir la erosión de la superficie de los relaves por el viento, lo que puede ser logrado mediante varios procedimientos, cuya aplicación es viable y factible debido a la geografía y topografía donde se ejecutan las actividades extractivas del proyecto Rio Blanco.

Medidas para la estabilización de la superficie

Estabilizar la superficie del embalse requiere, primero, que el agua superficial del embalse sea drenada, recirculada, tratada se le permita evaporarse o que la superficie de los relaves se deje secar a condiciones ambientales. La desecación de la superficie y la ganancia en resistencia, suficiente para soportar maquinaria, podría tomar un lapso de 9 a 12 meses; las condiciones geográficas, hidrogeológicas y climáticas del proyecto minero podrían adelantar el proceso de secado.

Aunque se han desarrollado métodos empíricos para predecir este tiempo de secado (Swarbrick & Fell, 1992), se deben practicar experiencias propias de campo para la mayoría de los depósitos de relaves individuales.

Durante o después del período de secado se puede obtener una estabilización temporal usando aditivos químicos, seguido por medidas permanentes que usan ya sea vegetación o cobertura con rocas, para el caso.

a. Tratamientos Químicos descritos anteriormente

Las limitaciones en la efectividad de los diferentes tratamientos limitan la estabilización química de grandes áreas de relaves, excepto bajo circunstancias especiales tales como el cierre temporal de la concentradora. Las aplicaciones de tratamientos químicos han favorecido la estabilización temporal de las superficies sembradas durante la rehabilitación, estimulando la germinación y supervivencia de las plantaciones, pero no puede servir como una medida permanente posterior a la clausura (Dean & Havens, 2004).

b. Estabilización Vegetativa, aplicando técnicas de fitorremediación

La revegetación de los relaves es todavía una propuesta que depende de muchos aspectos y factores que se definen según el contexto y realidad de cada proyecto minero, y según dependiendo el caso las pruebas pilotos realizadas deben establecer áreas de vegetación bien definidas, mismas que serán monitoreadas por lo menos 5 años antes del período de clausura o cierre del depósito de relaves. (Vick, 1990)

c. Cobertura con Roca

En algunos casos la recuperación vegetativa puede ser virtualmente imposible debido a las altas elevaciones o desiertos donde están ubicados los depósitos de relaves, condiciones climáticas que dificultan el crecimiento de plantas nativas.

Bajo estas condiciones, el único recurso viable y factible para la estabilización sería cubrir las superficies de los relaves con fragmentos de rocas, desmonte minero o grava. Por ejemplo, Blight (1988) informa sobre una disminución en la erosión de 10 veces, en la superficie de relaves lamosos con taludes suaves, cubierta con una capa de «piedra muy fina» de 10 mm de tamaño y bajo condiciones climáticas del Sur de África. En las regiones más frías, donde la acción de congelación prevalece, las partículas más pequeñas resultarán sepultadas por los ciclos de congelación y deshielo en los relaves circundantes, requiriendo una capa más gruesa de fragmentos de roca, semejantes al

talud detrítico encontrado en muchos lugares elevados, metodología que ajusta a la realidad y contexto del proyecto minero.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La identificación de la infraestructura que se instalará en el proyecto minero Río Blanco permite identificar las técnicas de explotación minera, el proceso de beneficio y el transporte, almacenamiento y disposición final del relave generado en la planta de beneficio.
- La determinación del proceso extractivo (minado) y cada uno de los subprocesos de beneficio permitieron identificar específicamente los puntos clave que derivan en la generación y acumulación de relave minero, siendo los subprocesos de flotación y lixiviación con cianuro las técnicas metalúrgicas de beneficio que acumulan el relave y le dan un grado de toxicidad, relativamente peligroso por la acumulación de metales pesados derivados de las características mineralógicas del yacimiento mineral.
- La evaluación cuantitativa basada en los reportes técnicos y los estudios de factibilidad de la empresa minera identifican que la explotación diaria (minado) será de un promedio de 800 toneladas de material que ingresará a la planta de beneficio acompañada de un volumen promedio de agua de 4320 m³/d para generar un promedio de relave minero de 727,25 toneladas/d.
- Los análisis y balances de masa realizados por la empresa minera y la interpretación de los resultados de lixiviación proyectan un alto rendimiento para la obtención de los minerales de interés (Au y Ag), asimismo se reportan altos

valores de metales pesados en el sedimento (relave) resultante de las pruebas de lixiviación.

- Los datos obtenidos de la caracterización, cuantificación y cualificación de los procesos de minado, metalúrgicos de beneficio y generación de relaves mineros fundamentan la base conceptual para una propuesta adecuada de gestión, manejo, tratamiento y disposición final de relaves mineros considerando el contexto y realidad donde se ejecuta el proyecto minero contando con un respaldo y sustento técnico de trabajos, investigaciones académicas y experiencias en proyectos mineros internacionales.
- Las propuestas de gestión señalan estrategias claras que deberán ser consideradas durante la fase operativa, de almacenamiento, adecuación y cierre del depósito de relaves.
- Las técnicas de manejo detalladas en la propuesta consideran la implementación de obras civiles de contención, drenaje, y sistema de bombeo para recirculación de aguas sedimentadas desde la piscina de relaves. Adicionalmente, el monitoreo y seguimiento propuesto facilitar las medidas correctivas, de mitigación y planes de acción emergentes que se deberán ejecutar durante la operación, transporte, almacenamiento y cierre del depósito de relaves.
- Las alternativas de tratamiento propuestas permiten tener opciones acordes a la ingeniería y técnicas metalúrgicas de beneficio que se ejecutarán en el proyecto minero, para estabilizar y reducir la oxidación de los metales pesados presentes en el relave minero (sedimento + agua). La alternativa de tratamiento de agua residuales del depósito de relaves permitirá alcanzar los límites permisibles establecidos en la normativa vigente; mientras tanto que la técnica de fitorremediación de relaves mineros sirve como una técnica preliminar para

remover y estabilizar parcialmente la cantidad metales pesados y pH, respectivamente, presente en los relaves mineros, permitiendo así evitar acumulación de contaminantes en el suelo, durante la operación o posterior al cierre técnico del depósito de relaves.

- Dentro de la disposición final de relaves mineros se han considerado opciones que garanticen la inocuidad, estabilidad física e hidráulica de los relaves, una vez que el depósito o tranque de relaves haya llegado al límite de su vida útil. La disposición en la mina subterránea utilizando cemento amerita un análisis de costos y estudios de prefactibilidad; en cuanto a la utilización del relave minero como agregado de material de construcción debe realizar a detalle lo especificado en la mencionada propuesta para garantizar la inocuidad del relave minera una vez que sea transformado en ladrillo o baldosa. Finalmente, en cuanto al cierre técnico de la presa o depósito de relaves la consideración del proceso de erosión y las medidas de estabilización del suelo en la presa y en el área circundante es importante para garantizar que el cierre sea sostenible a medio y largo plazo (5 a 20 años).

5.2 Recomendaciones

- La implementación de las estrategias de gestión, técnicas de manejo, sistemas de tratamiento y alternativas de disposición final y cierre técnico del depósito de relaves deberán requerir de un análisis de costos y estudios de factibilidad por parte de la empresa minera, mismo que se podrán realizar previo a la ejecución de labores extractivas y de beneficio o a su vez durante la operación del depósito de relaves.

- Debido a que la empresa minera JUNEFIELD GROUP S.A. cuenta con el aval y el asesoramiento técnico de una empresa minera internacional (JUNEFIELD MINERAL RESOURCES HOLDINGS LIMITED) se logrará ejecutar todas las propuestas del presente trabajo cumpliendo con los más altos estándares internacionales y en el caso que nuestra normativa nacional vigente contemple límites más rigurosos se acatarán incondicionalmente los mismos.
- Cada una de las propuestas planteadas en el presente documento podrán ser ejecutadas mediante el apoyo complementario y convenios estratégicos con instituciones estatales como la Agencia de Regulación y Control Minero, Instituto de Investigación Geológico Minero Metalúrgico, Universidades y Escuelas Politécnicas.
- La empresa deberá llevar el registro histórico de todos los resultados e informes obtenidos del plan de monitoreo y seguimiento planteado en este trabajo, a fin contar con datos históricos que puedan ser útiles previo al cierre técnico del depósito de relaves, para poder evaluar el comportamiento histórico de los parámetros físico químicos analizados (tanto para sedimento y agua) así mismo identificar la posible variación en la estabilidad geotécnica del suelo durante los años de funcionamiento de la presa de relaves.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Regulación y Control Minero ARCOM. (2012). Proyecto de seguimiento, control y fiscalización de actividades mineras a gran escala. Quito.
- Agencia de Regulación y Control Minero ARCOM. (2013). Mapa Proyectos Emblemáticos . Quito.
- Baldwin, P. (2007). Phytoremediation of arsenic by two hyperaccumulators in a hydroponic environment. *Microchemical Journal*, 297-300.
- Blight, G. (1987). Erosion of the Slopes of Gold Tailings Dams. *Geotech.*
- Blight, G. (1988). Some Less Familiar Aspects of Hydraulic Fill Structures. *Geotech. Spec.*
- CCME. (2007). (Canadian Council of Ministers of the Environment) *Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health.*
- CENDA, F. (1996). *Estudio colectivo de impacto ambiental y plan de manejo ambiental para las plantas de beneficio de mineral aurífero ubicadas en el río Calera/ Salado. Loja. Loja.*
- Chung, D. (2010). Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Químico: "Tratamiento de Efluentes: Estudio para reducir la Toxicidad en Efluentes Resultantes de un Proceso Industrial.". Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral ESPOL.
- Crespo Quintero, J. W. (2007). Tesis Previa a la Obtención del título de Ingeniero en Minas "Elección del Sistema de Explotación del Bloque R-Norte de la veta Santa Ana, Distrito Minero Zaruma-Portovelo". Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral ESPOL.
- Davies, M. (2000). *An alternative to conventional tailing management – "dry stack"*. Vancouver: AMEC Earth and Environmental .
- Dávila, J. (2004). *Instrumentos de Gestión Ambiental. Maestría en Ciencias: Gerencia, Auditoría y Gestión Ambiental.* LIMA : UNSA .

- Dean, K., & Havens, R. (2004). *Methods and Costs for Stabilizing Fine-Sized*. U.S. Bureau of Mines.
- ELIPE. (2012). Informe Semestral de Producción Planta de Beneficio Svetlana 1 Periodo Jun 2011 - Diciembre 2011. Quito.
- Empresa Nacional Minera ENAMI EP . (2015). Glosario De Terminos . Quito : Publicaciones ENAMI EP.
- Fajardo, J. (2010). Estudio de Métodos Químicos de Remoción de Cianuro presente en residuos de Cianuración provenientes del Proceso de Extracción de Oro de veta en el departamento de Nariño. *Revista Luna Azul*(31), 8-16.
- García, L., Chico Ruiz, J., & Valdivieso Arenas, G. (2008). *Capacidad de Helianthus Annuus L. "Girasol" para acumular Plomo y su efecto en el crecimiento*.
- Garcia, R. (2005). Tesis de Doctorado: "Aplicación de sistemas pasivos para el tratamiento de soluciones residuales de procesos de cianuración en minería de oro.". Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Gaviria, A. (2006). Análisis de Alternativas para la Degradación del Cianuro en Efluentes Líquidos y Sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales. *Dyna*(149), 31-44.
- González, S. (1994). Geoquímica de metales pesados en Chile. Impacto Ambiental de metales pesados en Chile. Simposio sobre Contaminación Ambiental. Santiago.
- GRUPO JUNEFIELD. (2013). *Estudio de Factibilidad Rio Blanco*. Quito: Empresa JUNEFIELD.
- Le-Fort, L. (1996). *Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Industrial "Uso del Agua en la Minería del Cobre en Chile"*. Santiago de Chile : Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Lizarbe Asmat, K. (2016). Fitoextracción De Plomo, Zinc y Cadmio de Relaves Mineros Utilizando Helianthus annuus L. (Girasol). *Infinitum*, 74-79.
- Medina, G. (2010). *Minería aurífera artesanal* (Primera ed.). Lima: Ministerio de Energía y Minas - Proyecto MAPEM.

- Nava, F. (2007). Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración: Revisión de los principales métodos. *Revista de Metalurgia*, 20-28.
- Ortiz, A. A. (2008). Concentracion y Flotacion de MInerales. Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos .
- Paredes, J. (2015). Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros. *ECIPerú*, 42-46.
- Pascó-Font, A. (2011). *An environmental study of artisanal, small and medium mining in Bolivia, Chile and Peru*. Washington DC: Banco Mundial.
- Pillajo, E. (2008). Potencial Aurifero en Ecuador y Posibilidades de una Explotacion Ecoeficiente. Quito: FUNGEOMINE.
- Pinillos, J. (2015). *Tecnologías Ecologicamente Racional Manejo de las Aguas en los Depósitos de Relaves Mineros*. Lima: Universidad Nacional Federico Villareal.
- PRODEMINCA. (2000). *Mapeo Geológico*. Quito.
- Reid, C. (2008). Life cycle assessment of mine tailings management in Canada. *ELSEVIER LTD., VII*, 471 - 479.
- Rojas, A. (2010). Tesis de grado previa a la obtencion del titulo de Ingeniero Químico Ambiental "Gestión Ambiental de los Residuos Sólidos (Relaves) Generado como producto del Beneficio de Minerales en la Planta Concentradora de Minerales Huari-Uncp La Oroya.". Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Romero. (2011). *Manual de Reutilización de Pasivos Ambientales Mineros del Proceso de Flotación de minerales*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Romero, A. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboracion de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial* , 75-82.
- Romero, A. (2011). *Caracterización de la Pasta de Relave para uso como Relleno en Labores Mineras*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ruales, J. (2012). Tesis previa a la obtencion del título de Ingeniero Ambiental: "Determinación de Tratamientos para Destrucción de Cianuro en Efluentes

Líquidos Provenientes de la Piscina de Relaves Sólidos de la Planta Svetlana." Quito: Universidad Internacional SEK.

- SAN LUIS MINERALS. (2011). *Proyecto Rio Blanco Condiciones Generales* . Azuay: SLM.
- Sandoval, F. (2001). *La Pequeña Minería en el Ecuador*. Quito: MMSD.
- SERNAGEOMIN. (2004). Guía metodológica de seguridad para proyectos mineros subterráneos . Santiago de Chile.
- SERNAGEOMIN. (2007). *Guía Técnica de Operación y Control de Relaves*. Santiago de Chile.
- Swarbrick, G., & Fell, R. (1992). Modeling Desiccating Behavior of Mine Tailings. *Geotech. Eng.*
- Tarras-Wahlberg, N. (2002). Environmental management of small-scale and artisanal mining: the Portovelo-Zaruma goldmining area, southern Ecuador. *Journal of Environmental Management* (65), 165-179.
- Tchernitchin, A. (2006). Relaves Mineros y sus Efectos en Salud, Medio Ambiente. *Cuad Méd Soc (Chile)*, 22.
- Terrambiente. (2011). *Actualización-Estudio Impacto Ambiental fase de Explotación*. Quito.
- Torrejón, J. A. (30 de Octubre de 2015). Mecanismo de Producción Más Limpia: El Reúso de Aguas Residuales en la Actividad Minera. *Latindex*, II(30), 263-278.
- Vick, S. (1990). Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams. *BiTech Publishers*.
- Wardrop. (2007). *Diseño Mina Subterránea*. Canadá .
- WMC. (2007). *Diseño de obras de captación para abastecimiento de agua mina y campamento*. EEUU-Chile.