

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Aplicación del relleno hidráulico en pasta para rellenar tajos a largas
distancias en la compañía minera Cerro Lindo – Nexa Resources**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Joy Kell LEON SOTO

Asesor:

Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA

Cerro de Pasco – Perú - 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Aplicación del relleno hidráulico en pasta para rellenar tajos a largas
distancias en la compañía minera Cerro Lindo – Nexa Resources**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Vicente César DÁVILA CORDOVA
PRESIDENTE

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA
MIEMBRO

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería de Minas



Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 009-2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:
Joy Kell LEÓN SOTO

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo

Aplicación del Relleno Hidráulico en Pasta para Rellenar Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo – Nexa Resources”

Asesor:
Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA

Índice de Similitud: **21 %**

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 10 de mayo de 2024.



Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a mis padres por el apoyo incondicional que me dieron en mis estudios y como también el apoyo brindado por mis familiares, quienes estuvieron al tanto de mis avances en mi formación profesional

AGRADECIMIENTO

Especial a todas las personas que me han brindado una oportunidad en el aspecto laboral, para así poder desenvolver todo lo aprendido en las aulas universitarias, así como también a los ingenieros que se encuentran laborando en la unidad.

Un reconocimiento especial a mis docentes de pregrado, quienes me fortalecieron y las aulas, con sus enseñanzas que me van valiendo en el transcurrir de mi vida dentro del aspecto laboral.

RESUMEN

La Unidad Minera Cerro Lindo utiliza la tecnología de relleno en pasta para el rellenado hidráulico de los tajos creados por el minado mediante el método de sublevel stoping, para garantizar la recuperación de los tajos secundarios y terciarios según el secuenciamiento de minado y reducir el riesgo de contaminación del mineral al rellenar las paredes de los tajos primarios rellenados, los rellenos de los tajos deben tener la resistencia más alta posible.

La investigación realizada “Aplicación del Relleno Hidráulico en Pasta para Rellenar Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo – Nexa Resources”, tiene por objetivo el transporte de la pulpa de relleno en pasta hacia los nuevos cuerpos del yacimiento ubicados a distancia mayor a las consideradas en el proyecto inicial para el relleno hidráulico en pasta en los cuerpos OB1 y OB2.

El requisito principal para el relleno hidráulico es que la pulpa de relleno pueda ser transportada a largas distancias utilizando material de alta calidad para atenuar la sedimentación del relleno en la parte inferior de la tubería para obtener la máxima resistencia y administrar una mezcla para que la presión de bombeo sea adecuada para la bomba Putzmeister disponible.

Palabras claves: Relleno Hidráulico, Tajos a larga distancia, Pulpa de relleno en Pasta.

ABSTRACT

The Cerro Lindo Mining Unit uses the paste filling technology for the hydraulic filling of the cracks created by the mine through the method of sublevel stoping, to ensure the recovery of the secondary and tertiary cracks according to the mining sequencing and to reduce the risk of contamination of the ore when filling the walls of the filled primary cracks, the cracks fillings must have the highest possible strength.

The research work carried out “Application of Hydraulic Filling in Paste to Fill Pits at Long Distances in the Cerro Lindo Mining Company – Nexa Resources”, has as its objective the transport of the filling pulp in paste to the new bodies of the deposit located at a distance. greater than those considered in the initial project for the paste hydraulic filling in the OB1 and OB2 bodies.

The transportability of the slurry filler over long distances must satisfy the main requirement of performing hydraulic filling with quality material to achieve optimal resistance, attenuate the sedimentation of the filler at the bottom of the pipe and manage a mixture so that the pumping pressure is in accordance with the availability of the Putzmeister pump.

Keywords: Hydraulic Filling, Long distance pits, Filling pulp in Paste.

INTRODUCCION

En el Perú la minería viene implementado la aplicación de avanzada tecnología en sus operaciones, con la finalidad de automatizar sus operaciones en la minería subterránea, la robotización de equipos que se manejan remotamente desde una cabina en lugares estratégicos. La Unidad Minera Cerro Lindo es la mina subterránea mecanizada que produce la mayor cantidad de mineral en todo el Perú, utilizando tecnologías de minería trackless completamente mecanizadas de empresas de primer nivel. Utiliza el método de explotación de stoping subnivel.

Al terminar de extraer el mineral de los tajos, este método de minado deja grandes espacios abiertos que deben llenarse con la tecnología de relleno hidráulico en pasta, que se compone principalmente del relave producido por la planta de tratamiento en superficie que se devuelve al interior de la mina para eliminar vacíos, restaurar la estabilidad de la pared rocosa, evitar subsidencias, permitir la recuperación de tajos secundarios y reducir el envío de relave a las canchas de relave filtrado en superficie, todo lo cual tiene un impacto en el medio ambiente.

Los nuevos cuerpos descubiertos en la Unidad Minera Cerro Lindo se encuentran a una distancia horizontal superior a lo previsto al inicio del proyecto de relleno hidráulico en pasta en la mina. La ubicación de las plantas de pasta en relación con los nuevos tajos creados después de la preparación y explotación dificulta el transporte del relleno a largas distancias.

INDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

INDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la Investigación.....	2
1.3. Formulación del problema	20
1.3.1. Problema general	20
1.3.2. Problemas Específicos.....	20
1.4. Formulación de objetivos.....	20
1.4.1. Objetivo general	20
1.4.2. Objetivos específicos.....	20
1.5. Justificación de la investigación	20
1.6. Limitaciones de la Investigación.....	22

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	23
2.2. Bases teóricas - científicas.....	28
2.3. Definición de Términos	41
2.4. Formulación de Hipótesis	46
2.4.1. Hipótesis general	46
2.4.2. Hipótesis específicos	46
2.5. Identificación de las Variables.....	46

2.5.1. Variable Independiente:.....	46
2.5.2. Variable Dependiente:.....	46
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	46

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación.....	48
3.2. Métodos de la investigación.....	48
3.3. Diseño de la Investigación	49
3.4. Población y muestras	49
3.4.1. Población.....	49
3.4.2. Muestra.....	49
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	49
3.5.1. Técnicas.....	49
3.5.2. Instrumentos	50
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	50
3.7. Tratamiento Estadístico de Datos.	51
3.8. Orientación ética filosófica y epistémica.....	51

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	52
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	53
4.3. Prueba de hipótesis	56
4.4. Discusión de resultados.....	56

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRAFÍCA

ANEXOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Página.
Ilustración 1. Ubicación - Mina Cerro Lindo	2
Ilustración 2. Compañía Minera Cerro Lindo - Nexa.....	3
Ilustración 3. Esquema Geológico Regional.	5
Ilustración 4. Columna Estratigráfica.....	15
Ilustración 5. A) Dioritas, B) Gabrodioritas – horblenditas	17
Ilustración 6. A) afloramiento de intrusivos graníticos (Qda. Gallo Rumi); B) muestra de mano granodioritas-tonalitas.....	18
Ilustración 7. A) Vista panorámica al este, donde se muestra afloramientos de intrusivos granodioritas-tonalitas de grano medio y edad más reciente. B) Muestra de mano de granodiorita-tonalita grano medio.....	19
Ilustración 8. Secuencia de la mina Cerro Lindo.	28
Ilustración 9. Tabla geomecánica de la mina Cerro Lindo.....	30
Ilustración 10. Equipo perforador frontonero en perforación.	31
Ilustración 11. Frente cargado y amarrado.	31
Ilustración 12. Detector de gases.....	32
Ilustración 13. Desatador mecánico.	33
Ilustración 14. Scoop para limpieza de frente.	34
Ilustración 15. Diagrama de flow sheet de las plantas de pasta 1 y 2.	35
Ilustración 16. Filtro de banda.....	35
Ilustración 17. Tanque espesador.	36
Ilustración 18. Tolla mezclador.....	36
Ilustración 19. Bomba Putzmeister.....	37
Ilustración 20. Prueba de slump de la pasta.	38
Ilustración 21. Construcción del 2do nivel de un muro tapón de concreto.	41
Ilustración 22. Estructurado 1er nivel de un muro tapón de concreto.....	41
Ilustración 23. Punto de descarga de la línea de aditivo en el mezclador continuo de Planta	53
Ilustración 24. Las densidades registradas en ambas muestras de relleno patrón fueron 2570 y 2600	57

Ilustración 25. Presiones de bombeo registradas en el instante del muestreo de mezclas patrón al tajo de prueba.....	58
Ilustración 26. Densidad del Relleno Hidráulico Vs Extensibilidad Horizontal.....	60
Ilustración 27. Muestras para realizar el secado con vicat.....	62
Ilustración 28. Ensayo de tiempo de secado con herramienta vicat.....	63
Ilustración 29. Muestras de probetas de Relleno para la Compresión	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de Variables.....	47
Tabla 2. Muestras de las mezclas obtenidas	59

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página.
Anexo 1. Matriz de Consistencia	
Anexo 2. Planos	
Anexo 3. Panel Fotográfico	

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Determinación del problema

El relleno hidráulico en pasta se obstruye cuando se transporta por tuberías a largas distancias porque se compone de relave, agua y cemento. Para evitar eso, se agrega más agua, pero el relleno en pasta se deteriora. Para este propósito, se espera que se utilicen aditivos que mejoren el transporte de pasta a largas distancias. Se puede mejorar el proceso de mezcla de pasta de relleno reduciendo la presión de bombeo y la pérdida de presión; reducir la tasa de desgaste de las tuberías, mejorar la colocación del relleno, mejorar la consistencia de la mezcla de relleno y reducir la segregación. La producción de mina y la producción de concentrados en la planta concentradora dependen del transporte de relleno de pasta, Si se produce una obstrucción en las tuberías de relleno, esto podría resultar en el derrame de las tuberías en las instalaciones mineras, lo que podría resultar en un procedimiento administrativo sancionador por parte del Osinergmin, la autoridad competente en este asunto.

En promedio, se producen 20210 toneladas de relave al tratar 21,500 toneladas de mineral por día. El cuarenta por ciento de este relave se utiliza para la disposición superficial y el sesenta por ciento se utiliza para rellenar en pasta los tajos vacíos. Los aditivos reducen la pérdida de presión al aumentar la distancia de transporte y/o mejorar el flujo. Diversas empresas en la industria minera ofrecen una variedad de aditivos para alterar las propiedades físicas y químicas de los relaves, los mismos que se utilizaron para caracterizar los relaves y llevar a cabo pruebas a nivel laboratorio que recientemente se implementaron en el mercado industrial.

1.2. Delimitación de la Investigación

Ubicación

Nexa Perú es dueña de la mina Cerro Lindo, una mina de polímetalica subterránea, situado en la provincia de Chíncha, Perú, cerca de 268 km al sureste de Lima, a 60 km de la costa y a 1820 msnm

Ilustración 1. Ubicación - Mina Cerro Lindo



Accesibilidad

El acceso desde Lima está disponible a través de la Carretera Panamericana pavimentada hacia el sur hasta Chíncha, y luego a través de un

camino sin pavimentar que sube por el valle del río Topara hasta la mina. (NEXA RESOURCES, s.f.)

Ilustración 2. Compañía Minera Cerro Lindo - Nexa.



Geología regional

En el Perú, varios depósitos de sulfuros masivos se encuentran en la serie volcano-sedimentaria del Grupo Casma, que comparten características con otros yacimientos en todo el mundo. Se ha catalogado a los depósitos peruanos como del tipo Kuroko en función de su entorno de formación, su edad y la presencia de baritina.

Utilizando el modelo metalogénico de SMV (Sulfuros masivos volcanogénicos), Tambo Grande en Piura, Perubar, Palma y Colquisiri en Lima y Cerro Lindo en Ica son los depósitos más conocidos y estudiados. (Trujillo Cabanillas, s.f.)

Geomorfología

A nivel regional se tienen las siguientes unidades geomorfológicas:

- **Pampa Costanera**

Esta unidad se desarrolla en una faja paralela a la costa, con la ribera litoral al oeste y una cadena de cerros bajos que alcanzan alrededor de 200m aproximados (Salazar y Landa, 1993). Tiene una amplia y relativamente

plana superficie que se extiende a lo largo del frente oceánico, con algunas colinas y cerros en el lugar.

La amplitud de esta unidad es de aproximadamente 10 km, dependiendo de si la cadena de cerros bajos o las estribaciones andinas se acercan o alejan de la ribera litoral. (Salazar & Landa, 1993)

- **Superficie Puna**

Esta superficie de **erosión** se cree que se formó durante el Mio-Plioceno, tras el emplazamiento de plutones y la serie de volcanes sedimentarios plegados del Terciario Inferior a Superior. La denudación que ocurrió durante este período produjo una superficie de erosión madura de altitud moderada, que se revitalizó gracias a la elevación de los Andes, que posteriormente fue fragmentada por la erosión de glaciares, fluvioglaciares y ríos. (Salazar y Landa, 1993). Hacia el oeste, presenta una penillanura de colinas concordantes, un relieve moderado y una pendiente suave. Esta superficie morfológica está entre la divisoria continental. y los contrafuertes occidentales. (Salazar y Landa, 1993).

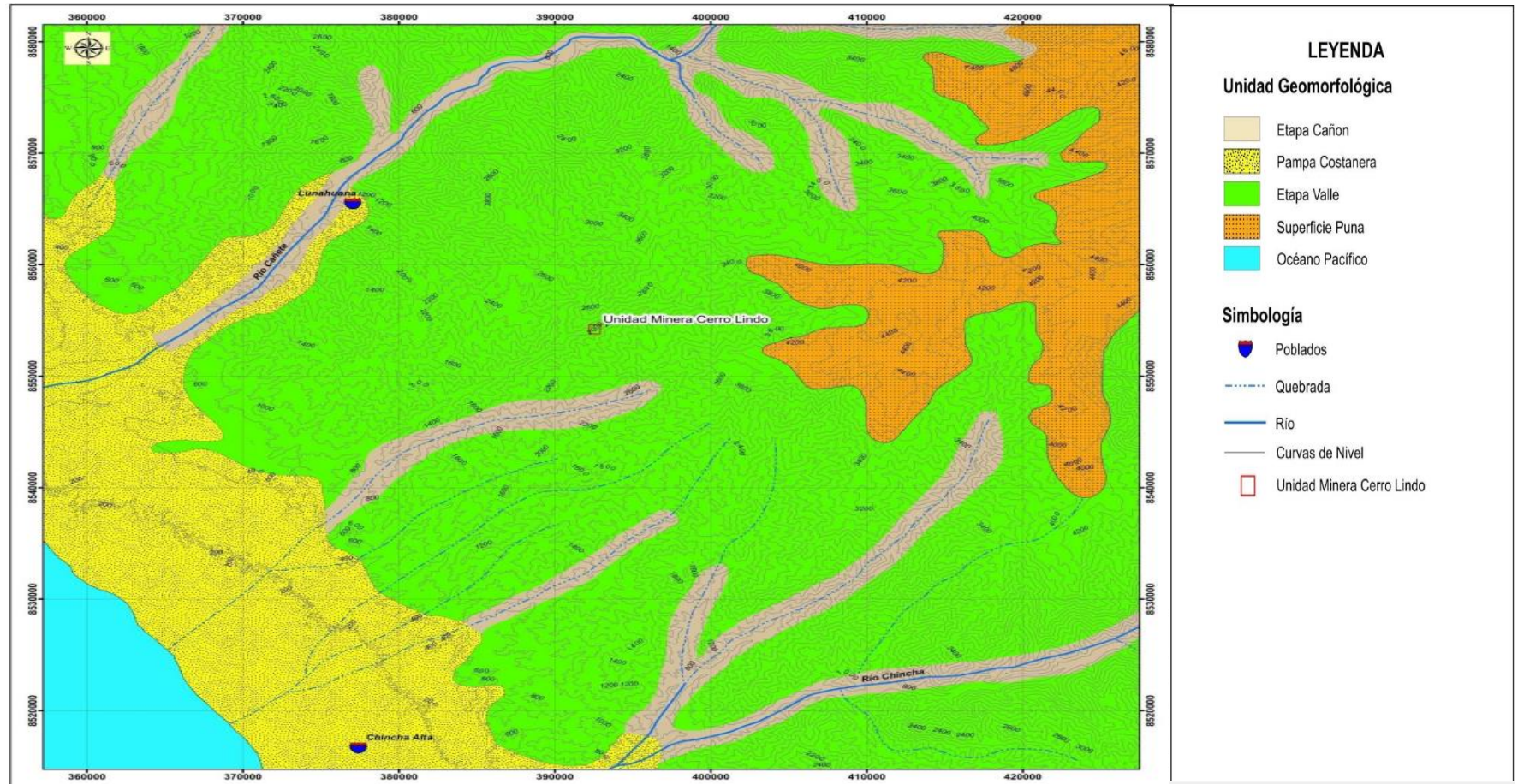
- **Etapa Cañón**

Esta unidad está relacionada con el aumento de la Superficie Puna desde casi el nivel del mar hasta aproximadamente 5000 m.s.n.m. como parte del proceso erosivo del sistema de los ríos de la vertiente pacífica. Los depósitos aluviales y fluvioglaciares ubicados en terrazas están conectados a esta unidad. (Salazar & Landa, 1993)

- **Etapa Valle**

La Superficie Puna ha sido disectada por un ciclo de erosión juvenil a maduro que ha generado penillanuras y cumbres concordantes que descienden aproximadamente 3000 metros en distancias de 40 a 60 km. (Salazar & Landa, 1993). Las unidades descritas se muestran en el siguiente plano.

Ilustración 3. Esquema Geológico Regional.



Litología

La Formación Huaranguillo se encuentra presente en la región y descansa como un roof pendant se encuentra una serie de volcanes que pertenecen al Grupo Tantará, así como intrusivos del Batolito de la Costa.

A. Formación Huaranguillo (Kis-hu)

La secuencia volcánica a sedimentaria gruesa, cuyo afloramiento se distribuye con un rumbo NO-SE. En el paraje Huaranguillo, al noreste de la hacienda Lunche en el río San Juan, se encuentra su localidad típica con una potencia estimada de 3,000 metros. (Salazar & Landa, 1993). Dentro de esta secuencia se encuentra el yacimiento de Cerro Lindo, que se remonta al Cretáceo Medio y forma parte del Grupo Casma. Es una secuencia de volcanes dominada por andesitas porfíricas. Como resultado de la extensión de la cuenca durante la subducción, se depositaron en un ambiente de Back arc (Salazar & Landa, 1993). Se compone de tres miembros:

- **Miembro Inferior (Kis-hu1)**

La secuencia de volcanes grises gruesos con una estratificación específica y un rumbo NOSE, no se percibe el contacto inferior al ingresar por el Batolito de la Costa. La superfuerza Tiabaya se encuentra al noroeste, la superfuerza Catahuasi se encuentra al noreste y la superfuerza Incahuasi se encuentra al sur. La formación de volcanes es conocida como "La Laguna de los Volcanes". Se debilita gradualmente en la quebrada Topara, los cerros Campanario, Cullco, Palta Rumi y Mesa Rumi. La formación litológica está compuesta por andesitas grises con tonos verdosos metamorfozados (esquistos), que son el resultado de la tectónica Mochica. Además, en el contacto con la super unidad

Catahuasi se ha producido una alteración hidrotermal, además, se puede observar una modificación similar en la Qda. Huatiana 11 cuando las erupciones volcánicas entran en contacto con la super unidad Incahuasi. La esquistocidad tiene un rumbo NO-SE buzando al NE y SO. La mayor zona de interés económico se encuentra en esta región debido a los depósitos de sulfuros masivos de tipo volcanogénico con mineralización de zinc, cromo y plata. (en la Qda. Topará se ubica el proyecto minero Cerro Lindo). (Salazar & Landa, 1993)

- **Miembro Medio (Kis-hu2)**

La secuencia de areniscas y pelitas delgadas entre algunos niveles de volcanitas y cenizas delgadas, sobreyace e infrayace en consonancia con los miembros inferior y superior. Se corta por diques subvolcánicos de composición dacítica, porfirítica y verdosa. Está compuesto por areniscas grises y pardas de grano medio a fino que se intercalan con pelitas muy delgadas laminares en los sectores calcáreos. Se presentan con buzamientos variados y anticlinales y sinclinales amplios manteniendo un rumbo NO-SE. En el noroeste, los cerros Ancoquishca, Pata, Hoya, Atoc Sayco y Silla Pite limitan sus picos, mientras que, en el sur, los cerros Conta Grande y Santa Catalina sobreyacen en armonía con la Formación Atocongo. También se pueden encontrar en la base de los cerros Huaranguillo y en las quebradas La Mejorada desde el valle del río San Juan. En el suroriente, se extiende por los cerros Cahuay Pata, Marcas Pata, Buena Vista y Jatun Convento, y se aferra constantemente a la unidad superior. (Salazar & Landa, 1993)

- **Miembro Superior (Kis-hu3)**

Es una secuencia de calcárea silicificada en capas delgadas a medianas, intercaladas con pelitas en la base; varía en grosor y estructura hacia el techo, de vez en cuando, los niveles de volcanitas coinciden con los estratos y son cortados por diques subvolcánicos porfiríticos, que produce anticlinales y sinclinales amplios, así como pliegues de chevron en la base y el techo. Son calizas bandeadas con estratificación laminar y alto silicio, los afloramientos cercanos al distrito de San Juan de Castrovirreyna exhiben grosores que van desde 0,02 m hasta 2,5 m., además, se pueden observar varios niveles de areniscas cuarzosas gris claras que se subordinan al techo y exhiben estructuras heterolíticas que ocasionalmente forman pliegues de chevron.. Los cerros Silla Pite, Chapaca, Rajuilla Pata y Lomas Yanalucac son los más destacados, así como los sectores de Infiernillo, Minasniyoc, Señal Huamanai, Quitasol y Huaytapata. Lomas Arcopunco se extienden hacia el cuadrángulo de Guadalupe y se elevan junto a la Formación Pariatambo en el área suroriental. Sin embargo, los volcánicos de la Formación Tantaré y Sacsaquero están en discordancia angular y el Batolito de la Costa los atraviesa. (Salazar & Landa, 1993)

B. Formación Tantaré (Ptt-an)

Según SALAZAR H. (1993), se trata de una serie de volcanes en su área típica cerca del distrito de Tantaré, en la cima del río del mismo nombre o San Juan. En esta investigación, nos dividimos en cuatro grupos de formación de Tantaré: Ignimbritas, Sedimentitas, Brechas, y Volcánitas.

- **Unidad de Ignimbritas (Ptt-an-ig)**

Son facies de ignimbritas rosadas riolíticas (soldadas) muy vinculados, con presencia de cristales de plagioclasa y cuarzo y una textura de fiame moderada. El cráter está al sur de Liscay, en el valle del río Lambras, y se encuentra en una posición irregular en comparación con secuencias de volcanes similares.

- **Unidad de Brechas (Ptt-an)**

La unidad se encuentra en las regiones de Charapunca, Lucuma, Anta y Amailla, así como en los farallones del río Tantar. Su grosor es de alrededor de 150 metros y su litología se compone de brechas de 13 volcanes de diversos tamaños, con clastos de hasta 80 cm de diámetro y una composición predominantemente andesítica en la matriz y los clastos, de color gris con tonos verdosos y azulados. Algunas secuencias de lavas grises muy delgadas se pueden ver. Se invierte de acuerdo con la secuencia sedimentaria-volcánica superior. (SALAZAR H., 1993)

- **Unidad Sedimentaria (Ptt-an)**

Es una secuencia de sedimentos y volcanes que se compone de areniscas grises y pelitas pardo rojizas en estratos gruesos con algunas intercalaciones de volcanitas. Se compone de areniscas feldespáticas grises de grano medio a grueso, con pelitas rojas y volcanitas limitadas, presentan un afloramiento lenticular con un rumbo de NO-SE y un buzamiento de 15° al NE, En el sector intermedio del cerro Marcalla, se encuentra mejor expuesta, ya que su afloramiento está limitado al valle del río Tantar. (con algunos sub-volcánicos que la instruyen formando placolitos), cubriendo la quebrada Apate en el sur y el pueblo de Tantar en el norte. (SALAZAR H., 1993).

- **Unidad de Volcanitas (Ptt-an)**

Es una secuencia de volcanitas gris oscuras con composición andesítica que se encuentran en sectores riolíticos. Sus colores son verdosos y rojo porfirítico, y se pueden observar secuencias de tobas lapilli riolíticas bien soldadas, de color gris claro y tonos verdosos, y tienen cristales de plagioclasa y cuarzo libre. (próximo a Tantará), La secuencia más extensa de esta formación tiene afloramientos paralelos al río San Juan. Se extiende hacia el oeste por los cerros Cacrillo, Jatun Cancha, Huamatambo, Chilcapuquio y Chilca Rumi, y hacia el oriente por las cercanías de la Villa de Arma, Huachos, Santa Rosa de Quilca, Pichuta y el cerro Tocino. Esta secuencia se opone a los invasores del Batolito de la Costa y la Formación Hualhuani en las cercanías de la Villa de Arma y Cotas, así como con la Formación Sacsaquero. Los cerros Campanayoc, Jatun Punta, Huayllamarca, Pitecancha y 14 Palmadera se ubican en la región noroeste del cuadrángulo. Además, en la frontera con la hoja de Tupe se encuentran los cerros Chihui Punta, Cochahuana, Ripicancha y Chihui Punta en dirección norte. Las super unidades del Batolito de la Costa están en desacuerdo con estos cerros y la super unidad Catahuasi los invade. En el área de la quebrada del río Lambras, en los parajes de San José y Liscay, se han infiltrado unidades desconocidas que forman parte del Paleógeno. Se asocia con sucesiones similares en los cuadrángulos de Castrovirreyna, en el que se han encontrado dataciones entre $40,9 \pm 0,9$, $40,9 \pm 1,20$ y $41,2 \pm 1,20$, según Ma. NOBLE et al. (1974) y MC KEE (1979).

C. Cuaternario

Se compone de depósitos que se han distribuido de manera muy irregular en el área de estudio, los cuales se han diferenciado en función de su composición y tiempo de depósito. (SALAZAR H., 1993)

- **Depósitos Aluviales 1 (Qh-al1)**

Estos depósitos se encuentran en las laderas de la mayoría de las poblaciones andinas porque son principalmente productos de la meteorización y acumulaciones de grava, arena y arcillas. Aprovechando la pendiente suave de los valles, se cultivan en su mayoría.

- **Depósitos Aluviales 2 (Qh-al2)**

La mayoría de los depósitos en las áreas intermedias y altas de los ríos y quebradas son aglomerados de arcillas, arenas y limos. La gran parte de ellos son cultivados y forman pequeñas terrazas, y en varios casos se mantienen como activas debido a la diferenciación del cauce y caudal de los ríos.

D. Rocas Intrusivas

- **Super Unidad Tiabaya (Ks-ti)**

Esta super unidad es el mecanismo más grande y nuevo del segmento Arequipa, y en la zona de estudio se caracteriza por su naturaleza leucócrata, tiene una composición que va desde tonalitas hasta monzogranitos y se ha dividido en cinco pulsos magmáticos. La edad promedio en el valle del río San Juan es de 80 ± 8 Ma. Intruye casi todas las unidades cretáceas, tanto sedimentarias como volcánicas.

- **Monzodioritas (Ks-ti/mzd)**

Considerado Uno de los primeros pulsos magmáticos se puede encontrar en los sectores periféricos del plutón, en los cerros Chitia

Pucro en el oriente. Los alrededores de Huachos y Miraflores se extienden hasta Capillas del Norte a través de las quebradas Chilcani, Liochuncho, Cajamarca y Yahuar Puquio. En la región occidental del valle, se puede encontrar en las cercanías de Sihuay y al suroeste de San Juan de Cacrillo.

Con una composición que va desde monzodioritas hasta dioritas mesócratas y leucócratas, tienen tonos verdosos granulares y son de grano medio a fino. Contienen una gran cantidad de plagioclasa es el mineral principal, mientras que el feldespato potásico, los piroxenos, el cuarzo, las arcillas y la biotita son los componentes adicionales. Además, los óxidos de hierro y la clorita son efectos secundarios. (SALAZAR H., 1993)

- **Granodioritas Tonalitas (Ks-ti/gd-to)**

En las áreas orientales, nortes y sur occidental del valle se puede sentir este pulso magmatico a través de las quebradas de los ríos Tantará, Arma y Huachos, así como en la zona intermedia de los cerros Tocino, Chipanto, Oqueranta, Pichana, Inya Pampa, Maray Pata, Jatun Ichu y las quebradas de los ríos Tantará, Arma y Huachos, Chipanacancha se encuentra en el río San Juan en las áreas de Huachinga y Hda. Luchumarca, expandiéndose al lado sur occidental con diferenciaciones en granulometría y composición, incrementando la presencia de biotita y hornblenda y aflorando en los cerros Abra pata., y se extiende al noroeste hasta la hoja de Chinchá a través de los cerros Luchumarca, Qdas. Ayoque, Almacén y Cerro Chiripampa.

Es la roca litológicamente grisácea (leucócrata), con un tono rosado, compuesto por cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa (variando este último en sectores), es evidente que hay xenolitos grises oscuro, posiblemente de pulsos anteriores.

- **Monzogranitos (Ks-ti/mzg)**

El centro del valle del río San Juan es donde se encuentra el pulso mágico central, que emana desde el sector Soncco de la Planta de Bombeo hasta los cerros Chipanto, Muge, Puca Pata, Chilca Puquio, Mirador y Las Petacas y Chipanto; son mesócratas a leucócratas, de color rosado, granulares, de grano medio a grueso, hipidiomórficas y con minerales esenciales de plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo. También contienen minerales como cloritas, biotita, anfíboles, arcillas y serpentinas. Los picos de los afloramientos son notables y elevados, con picos que se extienden hacia el valle del río San Juan. También se pueden observar xenolitos en los pulsos previos. (SALAZAR H., 1993)

- **Cuarzo monzogranitos (Ks-ti/cmz)**

En el área de Mosquitoyoc en Qda, se percibe un pulso magmático. Las Petacas y sus erupciones ingresan a la Formación Huaranguillo 2. Son rocas mesócratas a melanócratas granular con plagioclasa, cuarzo de feldespato potásico y máficos. (SALAZAR H., 1993)

- **Sienogranito (Ks-ti/sgr)**

En la zona oeste del plutón, en las montañas Jatun Junco, cerca de Cusicancha y Sihuay Chico, rocas mesócratas con tonalidades rosadas y verdes, granular de grano medio, holocristalinas con feldespato potásico, plagioclasa y cuarzo se pueden encontrar.

- **Super Unidad Incahuasi (Ks-in)**

Es un plutón con algunos cuerpos de dioritas, monzonitas y granodioritas, con una composición tonalítica y cuarzomonzodiorita predominante. Es un plutón grande y suave. (apariencia de lomadas suaves), se extiende desde el sur hacia el norte y de este a oeste, desde la Qda. Huatiana hasta el cerro Campanario, y desde la Qda. Maraypata hacia este, hacia el oeste hasta el cuadrángulo de Chinchavita la formación de secuencias cretáceas como Atocongo y Huaranguillo. Su edad radiométrica de emplazamiento se estima en 78 ± 1 Ma. (PITCHER et al., 1985). 17

- **Tonalitas (Ks-in/to)**

Son rocas mesócratas granulares que tienen diferenciaciones de tonalita y cuarzomonzodiorita a dioritas y contactos que son difíciles de rastrear. La composición modal contiene plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo y biotita. Los cerros de Huachanan, Jatun Casa, Guanaquillo, Huacarume, Llamacancha, León Rumi, Pabellón, Campana, Rondalla y Pahuaypita. son los lugares donde se encuentran principalmente. Son rocas mesócratas granulares con variaciones de tonalita y cuarzomonzodiorita a dioritas y contactos poco cartografiados.

- **Granodioritas (Ks-in/gr-bt)**

Los puntos de erupción se restringen a la Qda. Huatiana y al este del cerro Rondalla. La presencia de biotitas en forma de libro y hexagonales es su principal característica. Los diques porfiríticos y afaníticos los separan en dirección sur a norte en la Qda. Huatiana.

- **Monzonitas (Ks-in/mz)**

Es visible en los extremos del plutón, especialmente en la Qda. (Proyecto Almacén), estos cuerpos son los principales almacenes de yacimientos metálicos, aunque algunas rocas algo frescas dan una composición modal cercana a las monzonitas, sus afloramientos están alterados hidrotermalmente.

A continuación, se muestra la columna estratigráfica (Ilustración 4), donde se muestran las unidades descritas:

Ilustración 4. Columna Estratigráfica

ERA	PERIODO	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Dep. Aluviales 2		Depositos polimicticos de bloques gravas arenas y limos
			Dep. Aluviales 1		Depósitos de conglomerados de pie de monte, de arenas, limos arcillas
	PALEOGENO	Eoceno	Formación Tantarà-an.		Secuencias de lavas gris oscuras con tramos de color verde a marrón, de composición andesítica porfirítica
			Formación Tantarà-ig		Facies de ignimbritas gris claras con tonalidades rosadas
MESOZOICO	CRETACICO	Superior	Formación Huarangulillo 3		Facies de caliza silicificada gris bandeada, replegada con intercalación de areniscas cuarzosas
			Formación Huarangulillo 2		Facies de areniscas cuarzosas, areniscas calcareas con niveles de limonitas
	Inferior	Formación Huarangulillo	Formación Huarangulillo		Secuencias volcánica masivas, gris oscura de composición andesítica, en sectores presenta esquistocidad

Geología Local

El depósito de Cerro Lindo se encuentra localmente en rocas volcánicas félsicas de composición riolítica a riodacítica en las cajas piso y techo. La roca generalmente es grisácea blanca con algunas pronunciaciones rosadas, azuladas y verdosas. Incluye texturas primarias como estratificación en tufos, bandeamiento de flujo y amígdalas. Se encuentra en un ambiente bimodal dentro de un edificio volcánico félsico en la mina. (riolita-andesita). (Velázquez P.,2019)

Formación Huaranguillo (Kis-hu)

La secuencia volcánica de la Formación Huaranguillo en la zona tiene un tiempo de Cretáceo Medio a superior, y las rocas que brotan en la zona son:

- **Riolita (Kis-hu/ri)**

La riolita potásica de Cerro Lindo se compone principalmente de biotita de color marrón oscuro y hornblenda marrón y verde con feldespato ortoclasa. El cuarzo, el ópalo y la calcedonia aparecen simultáneamente en ambas biotitas, y la riolita sódica con anfíboles relleno las amígdalas. La roca, que generalmente es de color gris claro a blanquecino, tiene una textura afanítica y se conoce como volcánico félsico. Es común encontrar riolitas en el campo, pero es difícil distinguir entre varios tipos. La actividad hidrotermal y la depositación de sulfuros están genéticamente relacionadas con el emplazamiento. (Velazques P., 2019)

- **Andesita (Kis-hu/an)**

Andesita Moteada: En contacto con la riolita y la andesita, esta roca es única por la presencia de pequeños nódulos silicificados que a veces contienen calcedonia y chert. Los nódulos tienen una variedad de tamaños, con los más pequeños que van desde 0,5 cm hasta 1 cm, La roca volcánica

andesítica 21 moteada está formada por estos nódulos. El volcán Andesítico: Con una matriz afanítica, débil cloritización y propilitización, fenocristales de plagioclasa y biotita de color gris oscuro a gris verdoso.

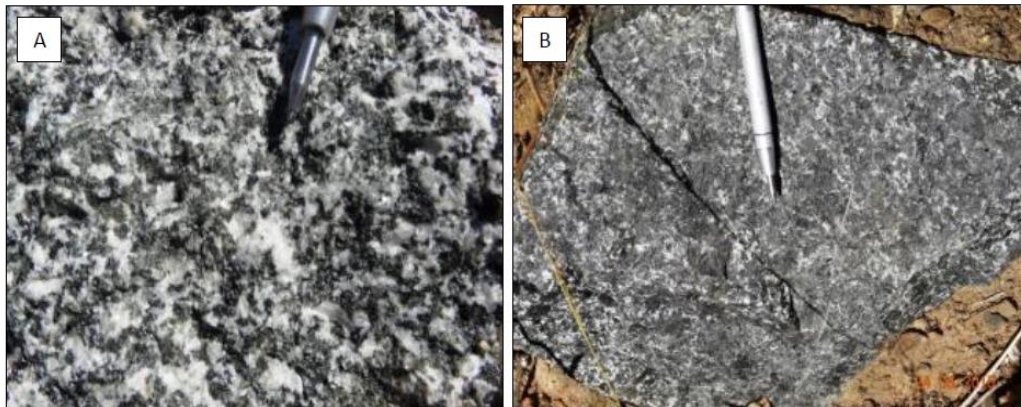
Rocas Intrusivas

- **Super Unidad Incahuasi (Ks-in)**

A. Dioritas – Horblenditas (Ks-in/di)

Se encuentran entre los intrusivos más antiguos del Batolito de la Costa y exponen su pico más notable al este y noreste de la mina Cerro Lindo. Anteriormente, esta roca ha sido ingresada por intrusivos más ácidos. Sus componentes principales son plagioclasas y horblenda-biotita, con calcita, epidota y cuarzo en venillas o concentraciones irregulares, y se distinguen macroscópicamente por su textura fanerítica gruesa. Muestras muy representativas se observa en la Ilustración 5.

Ilustración 5. A) Dioritas, B) Gabrodioritas – horblenditas



Fuente: U.M. Cerro Lindo.

B. Granodioritas – Tonalitas (Ks-in/to-gd)

El intrusivo granodiorítico irrumpe la mayor parte del área estudiada, y las unidades sedimentarias se apoyan en su mayor parte sobre el. Ocupa áreas topográficamente bajas.

Afloran ampliamente en las unidades volcánicas-sedimentarias cercanas. Sus características macroscópicas incluyen un color gris claro y una textura equigranular, holocristalina de grano grueso. Los minerales esenciales incluyen plagioclasa, cuarzo, algo de ortosa y una gran cantidad de horblenda, aunque hay poca biotita. Ilustración 6. (Velazques P., 2019)

Ilustración 6. A) afloramiento de intrusivos graníticos (Qda. Gallo Rumi); B) muestra de mano granodioritas-tonalitas.



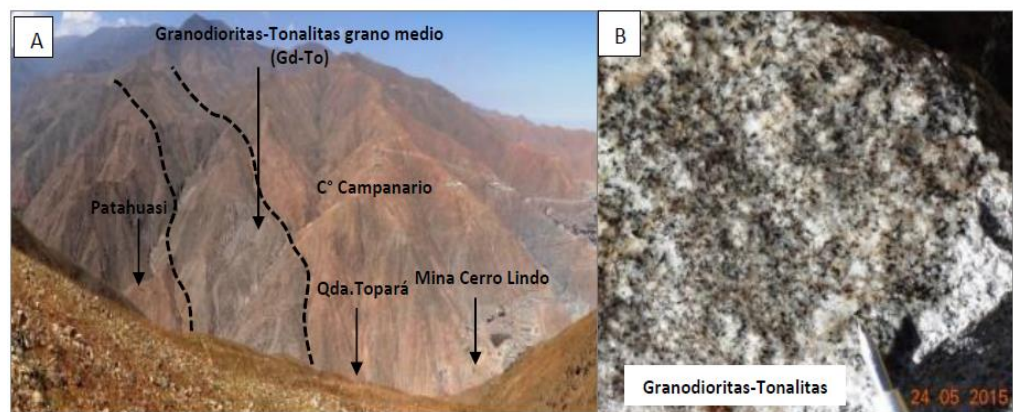
Fuente: U. M. Cerro Lindo.

C. Granodiorita – Tonalita (Ks-in/to-gd)

Patahuasi: La secuencia volcánica de Cerro Lindo comienza con una roca grisácea. Se cree que esta roca ha cortado otros cuerpos mineralizados en el área este del yacimiento, posiblemente el afloramiento. (anomalía) de Patahuasi (Foto 3 A) El intrusivo se encuentra a 500 metros al noreste de la mina Cerro Lindo y parte de la cuenca de la Fm. Huaranguillo, donde los cuerpos mineralizados presentes se extendieron hacia el este hasta la anomalía de Patahuasi. (Boca Mina 1875) por el río Topará aguas arriba, donde se encuentra el contacto, y fluiría de este oeste a sureste en una longitud aproximadamente 3,5 km y un ancho de 500 a 600 m. (cortando) a las

secuencias de granítico intrusivo y volcánico (granodioritas-dorritas). Sus minerales esenciales incluyen plagioclasas, cuarzo y biotitas, con poca ortosa y anfíboles. Son de color gris-claro con textura equigranular, holocristalina de grano medio (horblenda), poco cloritizados. Este invasor es más joven que el Batolito de la Costa en edad. (Velazques P., 2019)

Ilustración 7. A) Vista panorámica al este, donde se muestra afloramientos de intrusivos granodioritas-tonalitas de grano medio y edad más reciente. B) Muestra de mano de granodiorita-tonalita grano medio.



Fuente: U. M. Cerro Lindo.

- Superunidad Catahuasi (PN-ca/to) Superunidad mayormente tonalítica, gris oscuro con tonos azules, sólida y resistente a la erosión. Se extiende por más de 15 km en dirección NO-SE y se encuentra al NO de la hoja, entre las quebradas Puquio y Chicuy. Las erupciones volcánicas de la Formación Huaranguillo 1 y las secuencias volcánicas de la Formación Tantara sufren un impacto similar. En su extremo occidental, cerca de las secuencias cretáceas, esta unidad está tectonizada en sistemas de cizalla. El origen de este cuerpo podría estar en sistemas de transcurrencias con dirección NO-SE, que han favorecido su emplazamiento prolongado. La edad promedio es de 24 ± 1 Ma (PITCHER, ref. cit. 1985).

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Es posible la aplicación del Relleno Hidráulico en Pasta para Rellenar Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo – Nexa Resources?

1.3.2. Problemas Específicos

- a) ¿Se podrá transportar el Relleno Hidráulico en Pasta para rellenar Tajos a largas distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo?
- b) ¿Será factible efectuar el Relleno Hidráulico en Pasta para instaurar la estabilidad de los Tajos en la Compañía Minera Cerro Lindo?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Aplicar el Relleno Hidráulico en Pasta para Rellenar Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo – Nexa Resources.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Transportar el Relleno Hidráulico en Pasta para rellenar Tajos a largas distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo.
- b) Efectuar el Relleno Hidráulico en Pasta para instaurar la estabilidad de los Tajos en la Compañía Minera Cerro Lindo.

1.5. Justificación de la investigación

Esta investigación ayudará a entender la distribución de tensiones en los rellenos de pasta hidráulicas y a deducir la estabilidad de las paredes de pasta. Asegurará la producción de mineral y el tonelaje de tratamiento programado en la Planta Concentradora y reducirá el espacio vacío en el interior de la mina. El uso del relave como relleno reducirá significativamente el uso de áreas para

relaveras y evitará la contaminación ambiental y su exposición al medio ambiente.

La actividad minera en general está constantemente preocupada por este tema, lo que requiere que las empresas inviertan enormes cantidades de dinero para eliminar estos pasivos mineros. La reducción de los tiempos de ciclo es posible gracias a la mejora en la confiabilidad del sostenimiento de las minas subterráneas. Esto mejora la productividad de las operaciones, lo que aumenta la rentabilidad y los impuestos de contribución social. Una vez que se ha determinado la resistencia, las variables de la mezcla del relleno de la pasta se puede optimizar para obtener la mezcla deseada y la resistencia requerida utilizando el menor número posible de cemento. Por lo tanto, el relleno debe ser rentable. Dentro de los gastos de explotación de una mina, estos gastos pueden ser significativos. La optimización de diseños de mezcla puede ahorrar de costos. El diseño de muestreo, la extracción de muestras representativas, la caracterización del relave y la determinación de pruebas experimentales son parte de las metodologías del trabajo de investigación. Será un punto de partida para muchos colegas que todavía no están familiarizados con este tipo de metodologías utilizadas en la investigación de proyectos mineros. En una planta concentradora, el material de relave no tiene costo; en cambio, la planta concentradora paga por el transporte y el espesado del material. El transporte de materiales a través de líneas de tuberías es más económico, eficiente y rápido que otros métodos. Una característica de la pasta es el ángulo que forma en el depósito del recipiente; la pasta se esparce formando un ángulo de depósito, lo que elimina el uso de recursos adicionales para esparcir el material manualmente o mecánicamente. Si

se utiliza el relave producido por la planta de concentración para rellenar los tajos, el plan de cierre de la mina se estaría ahorrando dinero.

1.6. Limitaciones de la Investigación

Los nuevos cuerpos descubiertos en la Unidad Minera Cerro Lindo se encuentran a una distancia horizontal mayor a la estimada al inicio del proyecto de relleno de pasta en la mina. Esto se debe a la ubicación de las plantas de pasta en relación a los nuevos cuerpos descubiertos después de la preparación y explotación hacen que el envío de la pasta se vuelva un desafío el transportar el relleno hidráulico a largas distancias, lo cual nos generó una limitación en el proceso pero que fue superado mediante un adecuado tratamiento en la pasta.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

Antecedentes nacionales.

- **(Ortiz R., 2015)**, de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, desarrolla su tesis “Esquema de diseño del sistema de relleno hidráulico como componente de sostenimiento para reducir los costos de transporte de pulpa en la mina Arcata”, tiene como objetivo proporcionar información sobre los parámetros operativos, la calidad del relleno hidráulico por gravedad y la escenario actual de la empresa minera en relación con la construcción de un silo de 500 metros cúbicos, en el que será utilizado para recolectar los desechos "relave" de la planta concentradora, evitando la contaminación de las áreas verdes cercanas a la empresa. Los diagnósticos preliminares de condiciones mineras generalizadas, tecnologías de relleno y componentes de diseño y funcionamiento del sistema de relleno se incluyen

principalmente en el plan. Este trabajo de tesis divide los temas principales en cinco capítulos. En el Capítulo 1, Se presenta un esquema que sirve de referencia a estudios similares para justificar la evaluación técnica del uso de relleno hidráulico, ya que cada mina será un caso particular de estudio debido a sus características. Además, se presentan los objetivos para establecer el esquema de diseño de relleno hidráulico. En el Capítulo II, Analiza el marco teórico y las técnicas de relleno hidráulico que se emplean en las varias minas del país. Además, se discute cómo preparar la tajea de acuerdo con los requisitos del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional. (OS 055-201), y lo que La CIA Minera Ares - Unidad Arcata requiere normas de personal para la operación, drenaje y preparación del relleno en superficie, así como para la preparación del tajea en sí. iii En el Capítulo III, Se examina todo lo relacionado con la empresa minera Arcata en general, incluida su ubicación, clima, vegetación, hidrología, historia, geología, técnicas de explotación, transporte de minerales y planificación del minado. En el Capítulo IV, el trabajo de campo sobre las características mineralógicas, el análisis granulométrico del relave necesario para el relleno hidráulico, como el transporte de sólidos por tuberías, la clasificación de muestras heterogéneas y observaremos los parámetros de pulpas, hidrociclones y bombas Svedala utilizadas en este proyecto, los coeficientes de uniformidad, la velocidad mínima de percolación, la velocidad de sedimentación de la partícula y otros parámetros se calcularán utilizando una variedad de fórmulas en el trabajo de gabinete. En el Capítulo V, Se proporciona una explicación breve del proceso de relleno de una tajea, así como los problemas más frecuentes. El objetivo no es establecer un patrón fijo de aplicación del sistema; en cambio, se

discute la fórmula del tiempo neto de relleno de una tajea, así como los costos de relleno hidráulico y construcción del silo en todas sus etapas, como la construcción civil, la instalación de tuberías, el montaje del silo y la adquisición de bombas Svedala, sino proporcionar un esquema que sirva como referencia para estudios similares.

- (Huaman L., 2007), de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, presenta su tesis “Aplicación de relleno hidráulico en la Mina Jimena de Compañía Minera Poderosa S.A.”; La inestabilidad en la explotación de la Veta Jimena, propiedad de Compañía Minera Poderosa S.A., debe ser reducida. Este documento examina la evaluación técnica-económica de la aplicación del relleno hidráulico en esta Veta. Según el análisis técnico del proyecto, la distribución de dimensiones de partículas necesarios para el transporte por gravedad de la pulpa debería estar cerca de la curva de Talvot. La pulpa contiene un 76% de sólidos y tiene una granulometría de 3 /8 pulgadas. Se utilizan tuberías SCH-80 Ø4” y polietileno PN 12.5 Ø4” para su transporte. Después de analizar tres opciones para la ubicación de la planta, se llegó a la conclusión de que la planta de relleno hidráulico debería estar ubicada en el NV-2375. Esto se debe a que la distancia entre las cotas y el nivel de explotación más bajo es de 586 m. También de esta ventaja, tiene una tolva de gruesos que se puede utilizar como tolva de agregados para el relleno hidráulico. Se espera un caudal de 45 a 55 m³/hora con una densidad de pulpa de 1.90 kg/L, gravedad específica de 2.65 kg/L y tubería de conducción de Ø4”. Según la evaluación económica, se requiere una inversión inicial de capital de \$ 273 692, con un costo mensual de operación de \$ 27 690 y un ahorro anual superior a \$ 450 000. vi Los factores

financieros calculados con un horizonte de tres años para el proyecto y una tasa de interés anual del 15 % son los siguientes: • VAN: \$ 105 477 • TIR del 40% Beneficio/Costo: 1.61, Recuperación de la Inversión: 1.59 = 2 años. Se puede deducir de los factores financieros mencionados que el proyecto es rentable y, por lo tanto, económicamente viable, ya que se llevó a cabo su construcción y aplicación.

Antecedentes internacionales

- **(Gómez A., 2016)**, de la Universidad Politécnica de Madrid, España, presenta tesis de investigación “Proyecto de ejecución de un relleno hidráulico y su tratamiento para cimentación directa”. El presente proyecto tiene como objetivo la ejecución de un relleno hidráulico y su correspondiente tratamiento geotécnico, con la finalidad de adecuar el terreno para la futura cimentación de instalaciones y edificios. La construcción se encuentra al noroeste de Gijón, entre este pueblo y Candás, mientras que al norte limita con el mar Cantábrico. El relleno hidráulico se llevará a cabo dentro del marco de la ampliación del puerto de El Musel. Esto permitirá arropar el proyecto en el norte con un dique vertical y en el sur con un muelle. En el proceso de preparación del terreno para la cimentación, se utilizará la precarga como método de tratamiento geotécnico para el relleno hidráulico.
- **(Rivera D., 2017)**, de la Universidad Austral, Valdivia- Chile, desarrolla la tesis “Optimización del Sistema de Relleno Rdc para el Método de Explotación Cámaras y Pilares Corte y Relleno (Drift And Fill) Ascendente en la Mina El Roble Ubicada en el Municipio El Carmen de Atrato del Departamento de Choco, Colombia”. El yacimiento El Roble La mina

Carmen de Atrato Chocó, ubicada en el área de concesión de 6679 Ha, ha iniciado su operación industrial en 1990 y ha procesado más de 1,5 millones de toneladas de mineral de pirita y calcopirita con una ley media de 2,53% Cu y 2.54 g/t Au de un depósito cretácico de VMS. Desde su fundación, la mina ha explotado estos minerales mediante minería subterránea, extrayendo alrededor de 400 t/día hasta el 2013. Atico, una empresa canadiense, adquirió la mina en 2012. Para el año 2014, ha incrementado la producción mediante exploraciones y reorganización del proceso de minado, lo que ha permitido abrir un nuevo socavón en la cota 1880 msnm, donde se ubican cuerpos mineralizados de pirita y calcopirita con leyes de 4.45% Cu y 3.17 g/t. Debido a los tenores y extracción de la mina, la producción ha aumentado hasta 650 t/día., también han aumentado las secciones del túnel, lo que ha requerido modificaciones importantes en aspectos como el sostenimiento, la perforación, la voladura, el transporte y la ventilación. Como resultado, la mina ha tenido que recurrir a contratistas especializados en cada uno de los requerimientos de la nueva mina, estas empresas las que se especializan en cada uno de los requisitos de la mina, empresa que se encarga de los trabajos de sostenimiento en la mina; obras civiles que se encarga del relleno detritico cementado en las cámaras que ya se han explotado; y, por último, la empresa EXSA S.A. que se encarga del diseño, seguimiento y monitoreo de la perforación y voladura en todas las labores de la mina. El método de explotación utilizado en la mina El Roble es el drift and fill, también conocido como cámara y pilares corte y relleno ascendente, y se aplica a depósitos metálicos de origen sedimentario. el proceso de extraer el mineral mediante cámaras o tajos horizontales y/o verticales. Una vez que se extrae

una franja, se llena con material estéril, como relleno detrítico cementado (RDC), que sirve como piso de trabajo para los trabajadores y permite sostener las paredes de la cámara y, en algunos casos, el techo. El relleno detrítico cementado tiene las siguientes aplicaciones: • Proveer una plataforma de trabajo. • Evitar el movimiento y caída de las rocas. • Facilitar la recuperación de pilares. • Evitar o minimizar la subsidencia. • Estabilizar el macizo rocoso en las minas, reduciendo la posibilidad de estallidos de roca.

2.2. Bases teóricas - científicas.

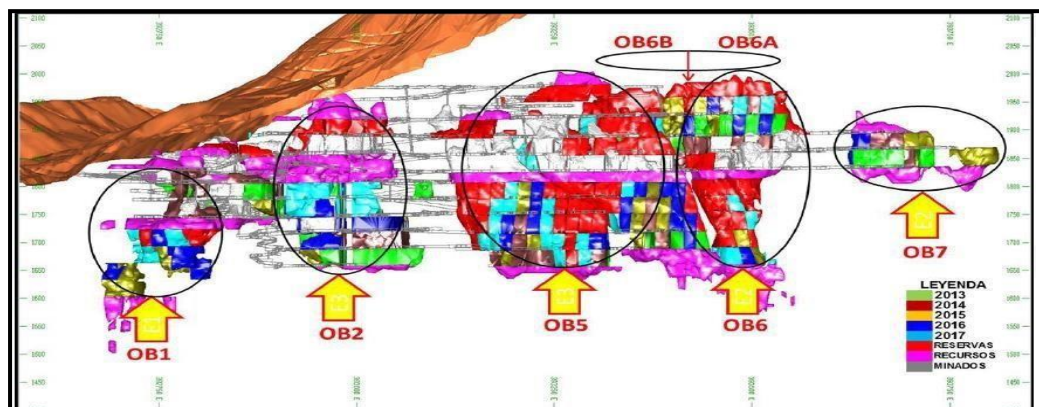
Método de Explotación

El yacimiento debe cumplir con ciertos requisitos para una explotación subterránea, como la resistencia del mineral y la roca encajonante. Estos requisitos incluyen dimensión, forma, profundidad, ángulo de buzamiento y posición del depósito, según el método de minado. La elección de un método de minado y el dimensionamiento de las labores de explotación dependen de la información del macizo rocoso. (Velazques P., 2019).

Método de Sublevel Stopping

Los cuerpos mineralizados se cubican en paralelepípedos para ser minados de forma ascendente de acuerdo con un programa establecido por año. Este método se conoce como detención sublevel stopping. (Velazques P., 2019)

Ilustración 8. Secuencia de la mina Cerro Lindo.



El método de minado utilizado en la Unidad Minera Cerro Lindo es Sub-level Stopping (taladros largos) ascendente secuencial debido a la geomorfología y al tipo de yacimiento de los cuerpos mineralizados. Dado que se mueve un gran volumen de tonelaje, es un método de producción masivo. Esta técnica implica la colocación de tajos de treinta metros de altura, 25 metros de ancho y 40 metros de largo. Estos bloques tienen mallas pasantes o negativas y positivas.

Los paralelepípedos se construyeron de tal modo que el diseño principal era crear una cruz o una "T" en la parte superior e inferior de cada tajo. La galería transversal se conoce como galería acanalada, mientras que la galería más larga se conoce como galería central o principal. En general, todos los tajos tienen la misma matriz y configuración. (Velazques P., 2019)

Ciclo de Minado

El ciclo de minado de la Unidad Minera Cerro Lindo incluye mantener, perforar, volar, ventilar, desatar mecanizado, limpiar y transportar para el procedimiento de explotación de “sublevel stoping”.

Sostenimiento

Se utilizan espesores de shotcrete vía humedad en la Unidad Minera Cerro Lindo según la evaluación geomecánica de la labor requerida. Se fortifican con fibras sintéticas para alcanzar una $f_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ y se atornillan con pernos helicoidales sistemáticos de 10' espaciados de 1.5m x 1.5m. Cuando el terreno lo requiere y previa evaluación geomecánica, se colocan cables de boletín de 6.5 m a 15 m en cruces, selladas y en la preparación de tajos en el nivel superior e inferior.

Ilustración 10. Equipo perforador frontonero en perforación.



Voladura

El carguío se lleva a cabo utilizando el equipo de (carga neumática mecanizada) Fanel de periodo corto (15m): Carmex (guías ensambladas).

Explosivos: emulsión 3000 (2" x 12") para cordón detonante (pentacord 5p). El agente de voladura: anfo.

Ilustración 11. Frente cargado y amarrado.



Ventilación

Los ventiladores primarios, los extractores primarios y los ventiladores auxiliares componen el sistema de ventilación de la U.M. Cerro Lindo. Todos estos forman una compleja red que actualmente ingresa 2.000.000 de CFM a la mina, lo que cubre el requerimiento actual de 1.700.00 CFM. esta cantidad sin tener en cuenta la necesidad de voladura porque se realiza durante el cambio de guardia.

Ilustración 12. Detector de gases.



Desate mecanizado

El desate utiliza desatadores electrohidráulicos SCALER BTI para hacer caer las rocas sueltas en hastiales, coronas, etc.

El desatado se lleva a cabo en esta área tanto en frentes ciegos como cruceros, galerías, rampas y otros lugares donde las condiciones de seguridad son inestables como en trabajos donde las condiciones de seguridad son inestables. Las ventanas de los tajos vacíos también se realizan para preparar los tapones de contención de relleno.

Ilustración 13. Desatador mecánico.



Limpieza y transporte

La cámara de carguío, que está diseñada para cumplir con las especificaciones del tajo de extracción del nivel inferior es donde los sacos cargan la materia y la vierten en el camión, el material se mueve a las parrillas del Nivel 1820 por este último, o en ocasiones, cuando las parrillas están en mantenimiento, el mineral se mueve a la superficie del Botadero 100, donde pasa al siguiente proceso, que es el chancado.

Ilustración 14. Scoop para limpieza de frente.



Relleno en pasta

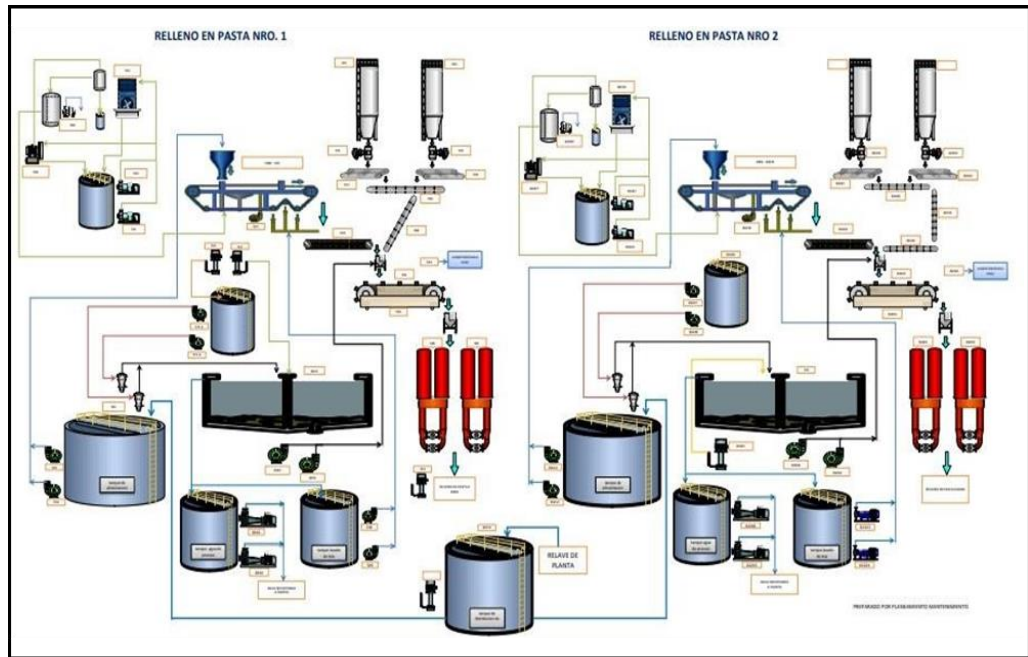
Planta de Relleno en Pasta

El relleno de pasta es un fluido no Newtoniano con una gran cantidad de sólidos. Para su producción, se utiliza el relave total producido por la planta concentradora, que se mezcla con cemento y agua para conseguir una pasta con valores de resistencia a la compresión uniaxial específicos, tiempos de curado específicos y que consigan con los parámetros operativos para un buen bombeo y transporte a largas distancias.

Mientras la pasta se bombea a través de las líneas de relleno hasta los tajos a rellenar, las partículas de diferentes tamaños no se separan ni sedimentan debido a su bajo contenido de agua.

La U.M. Cerro Lindo tiene dos plantas de relleno en pasta que se encargan de preparar el relleno de manera independiente, desde recibir el relave de la planta metalúrgica hasta bombearlo hacia los tajos a rellenar. (Velazques P., 2019)

Ilustración 15. Diagrama de flow sheet de las plantas de pasta 1 y 2.



Filtro de banda

El bombeo controlado alimenta el filtro de banda horizontal continuamente mediante un lazo de control entre el sensor de nivel del tanque y el VFD de la bomba. Para mantener los sólidos de la pulpa en suspensión, el tanque tiene un agitador. En el extremo opuesto del rodillo de tracción del filtro-banda, la alimentación al filtro se distribuye uniformemente sobre la banda.

Ilustración 16. Filtro de banda.



Tanque espesador

El agua extraída del proceso de filtrado se dirige al espesado, donde se separa del agua de los componentes solidos sedimentados. Luego, el agua se reutiliza y los sedimentos regresan al proceso de filtrado.

Ilustración 17. Tanque espesador.



Mezclador (Mixer)

Este equipo mezcla relave, cemento y agua. Este tipo de equipos tienen un sistema que permite que las válvulas a prueba de mezcla se llenen y vacíen. (a prueba de fugas), lo que permite el llenado, vaciado y limpieza simultánea de varios tanques.

Ilustración 18. Tolva mezclador.



Bomba Putzmeister

Es una bomba de desplazamiento positivo que puede bombear 105 m³/h de pasta sólida del 83.8% con una reología que equivale a un asentamiento de 175 mm. (7" slump). Con un motor de 450 Kw y una presión de 60 a 80 bares, funciona a unos 7.7 giros por minuto.

Ilustración 19. Bomba Putzmeister.



Es una mezcla de relave de planta concentradora, cemento y agua para lograr una resistencia con un tiempo de fraguado corto. La pulpa de relaves debe pasar por dos procesos de separación sólido-líquido para aumentar su contenido de sólidos. Para crear la mezcla, se utilizan todos los relaves producidos por la planta concentradora.

Para que la pasta sea transportable, la mezcla tiene una reología específica del mineral del yacimiento VMS, lo que es crucial para la selección de una bomba, la ubicación de la planta de relleno en la pasta y el sistema de transporte.

Ilustración 20. Prueba de slump de la pasta.



Reología de la pasta

La reología estudia los principios físicos detrás de los movimientos de los fluidos que causan deformación. El comportamiento para estos principios está influenciado por el movimiento del fluido, el esfuerzo de corte, la viscosidad y el gradiente de velocidad.

Tapones de contención

Para mantener el relleno en el interior del tajo, la Unidad Minera Cerro Lindo utiliza tapones similares a muros de concreto.

Muros de concreto

El relleno de pasta mantiene el ciclo de minado en marcha y permite la disposición del relave. Para llenar un agujero, es necesario construir muros de contención, por lo que es crucial analizar su ciclo de construcción.

Después de finalizar la explotación del recipiente, se realiza el procedimiento de entrega que especifica las condiciones para encontrar la ventana de extracción del recipiente para comenzar la construcción del muro de contención, estas son las condiciones:

- Iluminado: El área de construcción se ve mejor.
- Dique de seguridad: El área de trabajo se limita al lado del tajo, evitando que los trabajadores estén expuestos al espacio vacío.
- Desate: Elimina bancos o rocas sueltas.
- Sostenimiento con shotcrete: Asegurando los hastiales y la corona
- Raspado de piso: El muro debe ser construido con roca sólida.

De igual manera, los siguientes estándares deben cumplirse durante la construcción del muro de contención:

- Pernos de 5/8" de espesor y 9' de longitud, con hastiales y corona cada 40 cm.
- La longitud del perno en inyección es de 5' y la longitud en voladizo es de 4'.
- Estructurado de aceros de 1/2" con dos mallas, 20 cm de distancia entre los aceros verticales y horizontales y 20 cm de distancia entre las mallas.
- Espesor del muro 35 cm.

Construcción se llevó a cabo en dos partes. El primer tramo medía 2,8 metros de alto, mientras que el segundo tramo medía la longitud restante de la ventana.

El tiempo requerido para construir un muro dependerá de:

El equipo utilizado para la perforación; la perforación del piso y la perforación de los hastiales dependerán de la disposición del bolter.

(Velazques P., 2019) . Cuando se comienza a perforar los hastiales con una vara, también se debe perforar la corona con jackleg

- El uso del bolter, que facilita el cumplimiento del estándar de inyección de pernos al proporcionar una mejor calidad de perforación en cuanto a limpieza y orientación de los taladros.
- El trabajo del segundo nivel, que puede llevarse a cabo en un dique plataforma o en andamios, dependerá de si se utiliza el jackleg para completar la perforación de la corona.
- Inyección de pernos, que se puede realizar manualmente o con una bomba Ictus.
- Las preparaciones adicionales requieren más tiempo desde la perforación hasta el vaciado si la ventana es muy grande.
- Cuando los materiales no se depositan en lugares cercanos, la disposición de los agregados y cemento prolonga el tiempo de preparación de la mezcla debido al mayor desplazamiento del mezclador.
- La falta de energía eléctrica no paraliza el proceso, sino que lo retrasa porque retrasa el corte de los listones de madera para el encofrado, los aceros de construcción y las estructuras.

Ilustración 21. Construcción del 2do nivel de un muro tapón de concreto.



Ilustración 22. Estructurado 1er nivel de un muro tapón de concreto.

2.3. Definición de Términos

Apertura: Es la diferencia que existe entre las paredes rocosas debido a la discontinuidad o la abertura que presenta. A medida que aumenta la apertura, las condiciones de la masa rocosa mejorarán, mientras que a medida que aumenta cuando comience la apertura, las circunstancias serán más desfavorables.

Buzamiento (DIP): Es el ángulo que forma una veta, estrato o manto con respecto a la horizontal y se mide en un plano vertical.

Caja Piso: Es la roca debajo de la veta.

Caja Techo: Es la roca que está encima de una veta inclinada.

Constituyentes esenciales de los criaderos son: la mena, la ganga y el estéril.

Contactos litológicos: que generalmente componen las cajas de techo y piso de una sola veta.

Criadero, Yacimiento o Depósito Mineral: Parte de la corteza terrestre donde se forman sustancias minerales útiles que pueden ser explotadas con beneficio económico, utilizando los medios técnicos a su disposición.

Cuerpo (ORE BODY): Son almacenes de minerales que son grandes e irregulares y carecen de forma o tamaño definidos.

Depósitos primarios y secundarios. Los primeros están relacionados con el proceso original de formación de rocas. Los segundos minerales se forman como resultado de la alteración de los primeros.

Desmonte: Es todo objeto inútil y sin valor económico.

Diaclasas: Las juntas son fracturas que no han sufrido desplazamiento y suelen aparecer en la masa rocosa.

Diseminaciones. Son yacimientos mineralizados donde la masa rocosa contiene granos minerales dispersos.

Espaciado: Es la distancia que se encuentra en línea recta entre dos discontinuidades adyacentes. Este es el factor que determina el tamaño de los bloques de roca que no se han dañado. Los bloques serán más grandes y más pequeños cuanto menos espaciado tengan.

Estratificación: Es una superficie de roca sedimentaria que separa capas de litología similar o diferente. Estas rocas también se encuentran en rocas formadas por metamorfismo de rocas sedimentarias.

Explotación. Es un proceso de minado mediante el cual se extrae el mineral rentable utilizando una variedad de técnicas de explotación para que se pueda usar en la planta concentradora.

Fallas: Son grietas que se han movido. Estas son fracturas menores que se encuentran en áreas locales de la mina o estructuras importantes que pueden cruzar toda la mina.

Ganga. Área de mineral no valioso que está relacionada con la parte con buena ley. Este concepto es comparable porque la ley del mineral y las cotizaciones cambian con el tiempo.

Hilos. Vetillas muy delgadas de mineral que se cruzan entre sí.

Investigaciones Geotécnicas. Es un proyecto de investigación geotécnica que maneja las perforaciones con diamantinas para determinar los parámetros y características hidrogeológicas de los materiales que se encuentran en la zona de estudio.

Lentes. El yacimiento tiene una forma lenticular cuya fuerza disminuye hacia su contorno. Los lentes tienen decenas de metros de largo.

Mantos. La mayoría de los cuerpos mineralizados en forma tabular se encuentran en una posición horizontal o ligeramente inclinada menor a 30 grados, lo que les da una gran potencia en comparación.

Masa Rocosa: Es el medio in situ que contiene una variedad de tipos de discontinuidades, como fallas, diaclasas, estratos y otros rasgos estructurales.

Matriz rocosa. - Material rocoso que no presenta discontinuidades o bloques de roca que permanecen intactos entre discontinuidades (muestra de mano o mayor). Aunque se considera continua, es heterogénea y anisótropa, y está ligada a la fábrica, textura y estructura, así como a los minerales.

Mena. Parte más valiosa del mineral a partir del cual se pueden extraer uno o más metales a un precio razonable.

Mineral. La mena y la ganga son dos elementos inorgánicos de origen natural que forman la corteza terrestre y tienen un valor económico. Además, es una sustancia inorgánica.

Minería. parte de la industria que se dedica a la búsqueda, extracción, ganancias y venta de minerales y rocas rentables.

Orientación: Es la posición en el espacio de la discontinuidad, y su rumbo y buzamiento lo describen. Un "sistema" o una "familia" de discontinuidades es un conjunto de discontinuidades que se presentan con una orientación similar y son aproximadamente paralelas.

Perfil geotectónico: Es el conjunto de actividades que incluyen investigación subterránea, análisis y recomendaciones para el diseño y construcción subterránea.

Perfil litológico: Es una rama de la geología que estudia la composición y estructura de las rocas, incluyendo el tamaño del grano, las características físicas y químicas, las estructuras metamórficas, entre otras cosas. Su composición, textura, tipo de transporte y material cementante también están incluidos.

Perforación: Es el primer paso en la preparación de una voladura. El propósito es abrir taladros, huecos cilíndricos en la roca que se usan para alojar el explosivo y sus componentes iniciadores.

Persistencia: Es la extensión o el tamaño de una discontinuidad. Con mayor persistencia, la masa rocosa será más estable y menos estable.

Pliegues: Son intrusiones de roca ígnea de forma tabular que tienen estratos curvados y suelen estar empujados o verticales.

Potencia. El ancho o espesor de un yacimiento mineralizado medido en posición vertical frente a las cajas

Productividad. Es la relación entre la cantidad de bienes, servicios producidos y la cantidad de recursos usados.

Relleno: Los materiales dentro de la discontinuidad La masa rocosa es menos competente en materiales suaves, pero más competente en materiales más duros.

Roca intacta: Es el componente que se encuentra entre las discontinuidades y, en ensayos de laboratorio, se puede representar mediante una muestra de mano o un trozo de testigo.

Roca meteorizada: Es el proceso de descomposición de minerales y rocas cuando entran en contacto con la atmósfera, hidrósfera y biósfera sobre o cerca de la superficie terrestre.

Rugosidad: Es la irregularidad o aspereza de la superficie de la discontinuidad. La masa rocosa será menos competente cuanto menor sea la rugosidad con discontinuidad, y más competente será la masa rocosa cuanto mayor sea la discontinuidad.

Rumbo (STRIKE). Es la orientación de una veta, estrato o manto inclinado en un plano horizontal con respecto al norte magnético.

Veta o Filón. Son pequeñas ranuras llenas de mineral en la corteza terrestre que generalmente están inclinadas más de 30° y tienen un desarrollo regular en tres dimensiones: longitud, ancho y profundidad.

Yacimiento de Mineral. Compuesto de uno o más minerales que contiene sustancias metálicas aprovechables de cualquier tamaño o forma.

Zonas de corte: Son bandas de material de varios metros de espesor donde ha ocurrido la falla de la roca.

Zonificación geomecánica. proceso de separación de áreas con masas de roca similares en términos de condiciones geomecánicas y comportamiento.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Con la aplicación del Relleno Hidráulico en Pasta se rellenará los Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo – Nexa Resources.

2.4.2. Hipótesis específicos

- a) Se podrá transportar el Relleno Hidráulico en Pasta para rellenar Tajos a largas distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo.
- b) Efectuar el Relleno Hidráulico en Pasta para instaurar la estabilidad de los Tajos en la Compañía Minera Cerro Lindo.

2.5. Identificación de las Variables

2.5.1. Variable Independiente:

X: Aplicación del Relleno Hidráulico en Pasta en la Compañía Minera Cerro Lindo.

2.5.2. Variable Dependiente:

Y: Rellenar Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de Variables.

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Aplicación del Relleno Hidráulico en Pasta en la Compañía Minera Cerro Lindo.	En cuanto al uso del relleno de pasta, indica, es una tecnología relevante para las operaciones de minería subterránea y se está convirtiendo en una oportunidad de mejora común para su aplicación en muchas unidades mineras del mundo. El material de relleno se vierte en tajos vacíos previamente extraídos con todo el mineral dentro para formar una plataforma estable que se utilizará para las operaciones unitarias y de soporte en las paredes adyacentes. Además, ayuda a sostener los muros y pilares, lo que evita el desprendimiento de cargas o bloques del techo del tajo y permite la recuperación de pilares, lo que aumenta la productividad.	Planificación Minera Operaciones Mineras Ciclo de Minado	Parametros Geotecnicos Geomecanica Metodo de Explotacion
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Rellenar Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo.	Se ha considerado que, para el sostenimiento de las labores en la minería subterránea, se debe llevar a cabo un estudio técnico de memoria descriptiva para calcular los parámetros de diseño de la mezcla , optimización de bombeo y eficiencia en el transporte hacia los Tajo ubicados a largas distancias en interior mina, el relleno hidraulico en pasta dentro de la operación minera es muy importante por representar hasta el 20% del proceso.	Compañía Minera Cerro Lindo	Tajos Estabilidad Sostenimiento

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

- Basado en el diseño de la pasta para el Relleno Hidráulico y la aplicación de esta en el proceso de rellenar los Tajos, se ha descubierto que tenemos una investigación cuantitativa.
- Aplicada: En la etapa de desarrollo y explotación de la Mina Cerro Lindo, teniendo como objetivo el relleno de los Tajos ubicados a largas distancias.
- Experimental: Por el análisis realizado para generar la pasta para el relleno hidráulico y a la información obtenida durante el proceso de los datos.
- Documental: Por los informes realizados hasta culminar la investigación.
- De campo y de laboratorio: Por los resultados obtenidos en el proceso de investigación

3.2. Métodos de la investigación

El Enfoque cuantitativo, hipotético deductivo, paradigma positivista y alcance de naturaleza descriptiva:

- **Método deductivo:** Para llegar a una conclusión determinativa, se analizan los datos generales.
- **Método inductivo:** Obtenga una conclusión general de los datos y la historia de la mina Cerro Lindo y los trabajos de campo efectuados para este propósito.

3.3. Diseño de la Investigación

El diseño corresponde a la investigación cuantitativa, descriptiva y correlacional, lo cual determina el diseño adecuado para la pasta del relleno hidráulico y adecuado transporte a los Tajo ubicados a largas distancias en la mina.

3.4. Población y muestras

3.4.1. Población

La determinamos por la cantidad de Tajos a ser rellenos en la Mina Cerro Lindo, producto del proceso de explotación.

3.4.2. Muestra

La Muestra se dio con el logro del transportar la pulpa de relleno hidráulico en pasta a los nuevos cuerpos de yacimiento mineral que se encuentran a una distancia mayor que los cuerpos OB1 y OB2 que se consideraron en el proyecto inicial de relleno en pasta.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

Describe las técnicas utilizadas.

- **Recopilación y análisis de data**

Se recopila información histórica de los procesos efectuados para el relleno hidráulico y las distancias máximas alcanzadas.

- **Observación directa y toma de datos**

Se efectuaron pruebas de transporte de pulpa para determinar las dimensiones más adecuadas en lo que concierne a la pasta.

- **Búsqueda de información bibliográfica**

Se tomaron referencias del proceso de relleno hidráulico de otras empresas.

3.5.2. Instrumentos

Instrumentos de recolección de datos.

- **Materiales**

- ✓ Planos topográficos.
- ✓ Mapeos generados para la obtención de los parámetros técnicos.
- ✓ Informes Geotécnica – Geomecánica.
- ✓ Reporte de procesos realizados.
- ✓ Informe de Rellenos Hidráulicos y el soporte obtenido.
- ✓ Libreta de campo.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El relleno hidráulico en pasta es un fluido no Newtoniano que contiene muchos sólidos. Para su producción, se utiliza el relave total producido por la planta concentradora, que se mezcla con cemento y agua para conseguir una pasta con valores de resistencia a la compresión uniaxial específicos, un tiempo de curado específico y que cumpla con los parámetros operativos para un buen bombeo y transporte a largas distancias.

Mientras la pasta se bombea a través de las líneas de relleno hasta los tajos a rellenar, las partículas de diferentes tamaños no se separan ni sedimentan debido a su bajo contenido de agua.

3.7. Tratamiento Estadístico de Datos.

Las acciones que se aplicaron sobre las unidades experimentales que genera el Relleno Hidráulico en Pasta los detalles para alcanzar distancias largas, permiten obtener una estadística en los procesos y lograr un modelo estadístico que refleja los resultados obtenidos.

3.8. Orientación ética filosófica y epistémica

La "ética" se refiere a la afirmación de la conciencia individual autónoma o auténtica, así mismo la aplicación de las reglas impuestas por la sociedad que se deben cumplir con mucha atención para no caer en malos hábitos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo

Introducción del Relleno Hidráulico en Pasta con Aditivo

En la planta de pasta, se realizó una prueba de relleno de pasta con el aditivo MasterRoc MF 501, y se relleno el tajo 200 del nivel 1820. El tiempo de llegada del relleno al tajo después del bombeo del relleno de la Planta N° 2 es de 10 a 15 minutos.

En esta prueba se buscaron dos objetivos:

1. Mantener la consistencia del relleno de pasta para mantener las presiones de bombeo mientras se transporta fácilmente.
2. La resistencia se puede aumentar aumentando la densidad de relleno desde ~2+580 (producción actual en planta) hasta 2800.

El aditivo Master Roc MF 501 ayudó a lograr estos objetivos.

En la prueba industrial se utilizaron 5000 litros de Master Roc MF 501, que se transportaron a través de mangueras desde la posición IBC hasta el punto de descarga en el mezclador continuo. La descarga de aditivos en el mezclador continuo comenzó a las 9:00 y finalizó a las 18:20.

Se nos pidió recolectar muestras de relleno con tres dosis diferentes de cemento durante la prueba: 3, 4 y 5%. Se recolectaron nueve muestras con un 3%, dos muestras con un 4% y dos muestras con un 5%. La mayor cantidad de muestras del 3% se debe a que la planta de relleno trabaja con esa dosificación de cemento en la mayor parte del tiempo.

El punto de descarga del aditivo estaba ubicado a unos 40 cm delante de la pared delantera de la tolva en el techo del mezclador.

Ilustración 23. Punto de descarga de la línea de aditivo en el mezclador continuo de Planta



Fuente: U.M. Cerro Lindo.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Ensayos realizados

Mezclas patrón

Los siguientes parámetros fueron medidos durante la prueba industrial:

- Densidad de mezcla (balanza Marcy, en superficie)
- Consistencia (Slump, medido en el cono de Abrams, en superficie)

Dos muestras se tomaron del mezclador continuo y se midieron los parámetros antes mencionados. La dosis de cemento de la planta era del 3 % en el momento de dicho muestreo.

El objetivo de la evaluación de muestras patrón fue determinar la consistencia objetivo con la que el relleno debe bombearse al tajo con presiones normales de bombeo. Además, se registró la densidad del patrón de relleno para determinar el nivel de densidad que alcanzaría la mezcla de relleno después de agregar el aditivo Master Roc MF 501.

Mezclas con Aditivo

Los siguientes parámetros fueron medidos en cada muestra durante y después de la prueba industrial:

Durante la prueba industrial:

- Densidad de mezcla (balanza Marcy, en superficie e interior mina).
- Consistencia (Slump, medido en el cono de Abrams, en superficie).

Tras la prueba industrial:

- Tiempo de secado (ensayo con aguja de Vicat en laboratorio de interior mina, Norma técnica ASTM C191).
- Resistencia a compresión (ensayo de probetas cilíndricas de 4x8" en laboratorio de interior mina, Norma técnica ASTM C33).

Se tomaron 13 muestras y se midieron los parámetros mencionados anteriormente.

Cada muestra consta de 12 especímenes cilíndricos de 4x8" pulgadas moldeadas en un tajo para ensayo de resistencia a compresión, así como un

espécimen (truncocónico) que se encuentra en un recipiente plástico para ensayo de secado. En total, se tomaron 169 muestras.

Parámetros Operacionales por Considerar en la Prueba

Un líquido formulado uniformemente, el aditivo Master Roc MF 501, tiene las siguientes ventajas cuando se utiliza en rellenos de pasta:

- Aumenta la densidad de la pasta manteniendo la misma densidad, lo que permite aumentar la densidad sin aumentar las presiones de bombeo.
- Es posible reducir el contenido de cemento porque los granos de cemento se dispersan mejor para alcanzar resistencias más altas

Para maximizar el rendimiento del aditivo, la alimentación del cemento al mezclador, así como el flujo de agua y el relave filtrado deben ser lo más constantes posibles.

La consistencia puede variar debido a varios factores:

- El caudal de descarga de agua del mezclador continuo varía. Las presiones de bombeo aumentan cuando el caudal de agua que ingresa al mezclador disminuye.
- Características granulométricas del relave. Se debe abrir más la válvula de agua cuando la granulometría del relave es extremadamente fina para mantener las presiones de bombeo en niveles aceptables, lo que reduce la densidad y la resistencia del relleno.

Algunos elementos observados en la planta N° 2 estas pruebas industriales tienen un impacto directo en la presión de bombeo de relleno:

- La alimentación de agua al mezclador continuo no cuenta con un dispositivo que pueda medir el caudal de entrada en tiempo real.

- Se ha observado que el caudal de agua varía según la cantidad enviada desde la planta concentradora a la planta de relleno y no es constante.
- También hay momentos en los que el agua con un exceso de sólidos llega a la planta de relleno, lo que puede obstruir la línea de alimentación del mezclador continuo.
- Se ha observado que el dosificador de cemento que cae al mezclador no descargaba cemento durante minutos, a pesar de que el panel de control indicaba que estaba descargando cemento. Parece que el dosificador de cemento no funciona correctamente.

Lo mencionado anteriormente tiene un impacto significativo en el aumento de la presión de bombeo de relleno, así como en el aumento de la demanda de caudal de aditivo, con el fin de mantener la presión de bombeo en niveles aceptables.

4.3. Prueba de hipótesis

Mediante las variables Independiente y dependiente, que fueron planteadas en la investigación se determina y por lo tanto se acepta la hipótesis: Con la aplicación del Relleno Hidráulico en Pasta se rellenará los Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo – Nexa Resources.

- **H0:** Aplicación del Relleno Hidráulico en Pasta en la Compañía Minera Cerro Lindo.
- **H1:** Rellenar Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo.

4.4. Discusión de resultados

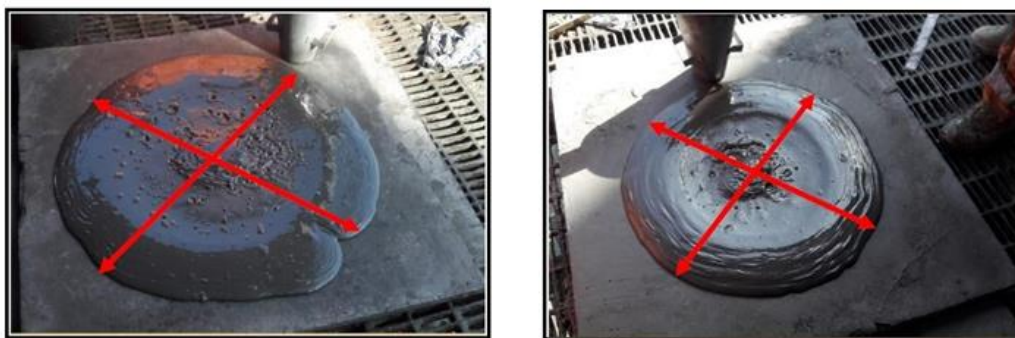
Resultados de Densidad de Relleno, Consistencia (slump) y Presión de Bombeo:

Mezclas Patrón

Se encontró que la sustancia utilizada para bombear al tajo de prueba era muy fluida en el ensayo de consistencia. (revenimiento vertical $\geq 11 \frac{3}{4}$ ""). Es conveniente realizar una medición de extensibilidad en situaciones de consistencias extremadamente altas, ya que dos mezclas con consistencias similares pueden presentar características de fluidez completamente distintas, tal como se muestra en las fotografías. Se decidió que la extensibilidad horizontal de cada mezcla de relleno sería el parámetro de medición de consistencia.

Las siguientes imágenes muestran las mediciones de extensibilidad realizadas a las dos mezclas patrón con flechas rojas. Las mediciones se realizaron en ambas direcciones diagonales de la plancha metálica utilizada para el ensayo, que tenía un lado de 1 m.

Ilustración 24. Las densidades registradas en ambas muestras de relleno patrón fueron 2570 y 2600

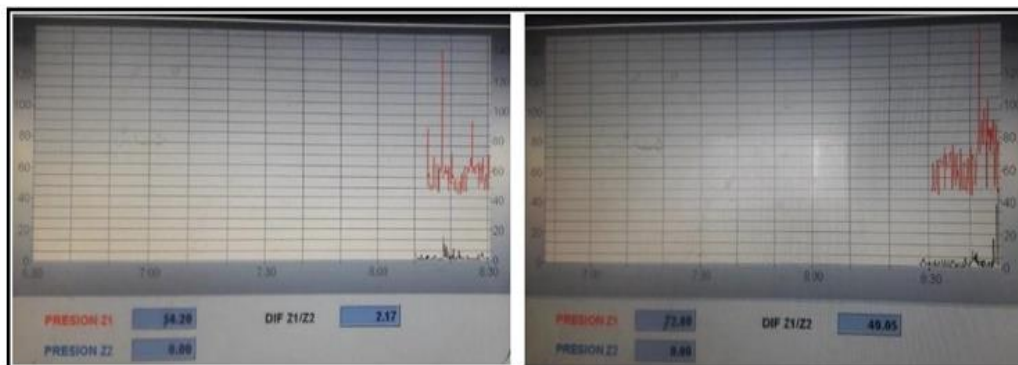


Fuente: U.M. Cerro Lindo.

La variación en la extensibilidad de las dos muestras patrón indica que la consistencia (slump) no es constante a pesar de que se trata de la misma mezcla. Varias variaciones en la granulometría del relave (exceso de finos reduce la extensibilidad), caudal de agua industrial inconstante que alimenta el mezclador continuo (reducción del caudal de agua reduce la extensibilidad), entre otras razones.

Las presiones de bombeo para ambas consistencias de mezcla mencionadas anteriormente oscilaron entre 50 y 100 bar durante el lapso de medición. (La hora de registro del panel de control de la planta se muestra en el eje de abscisas de la siguiente figura).

Ilustración 25. Presiones de bombeo registradas en el instante del muestreo de mezclas patrón al tajo de prueba



Fuente: U.M. Cerro Lindo.

Análisis de Resultados

La mezcla con la menor extensibilidad (68 cm) tiene el pico más alto de presión de bombeo (hasta 100 bar) observado en la imagen derecha anterior.

Las válvulas de alimentación de agua del mezclador continuo deben manejarse constantemente debido a la variación de extensibilidad y el aumento de la presión de bombeo observados durante la recolección de ambas muestras del relleno patrón. Las válvulas de alimentación de agua deben abrirse para reducir la presión de bombeo hasta niveles seguros de operación cuando la presión de bombeo aumenta. La densidad y resistencia del relleno disminuyen como resultado de esta operación.

Las presiones de bombeo registradas en el muestreo de ambas mezclas de patrón se consideraron las presiones máximas de bombeo que las mezclas con aditivo deberían alcanzar. Por lo tanto, se determinó que la extensibilidad mínima

de cualquier mezcla con aditivo despachada al tajo de prueba debía ser superior a 68 cm para evitar sobrepasar dichas presiones máximas de bombeo.

Mezclas con Aditivo:

En la siguiente tabla 1, durante todo el tiempo que descargó el aditivo al mezclador, el panel de control de la planta 2 mostró los registros de alimentación de relave y cemento al mezclador continuo. De las 17 muestras extraídas de relleno con MasterRoc MF 501, se registraron el caudal de descarga de aditivo y las densidades de relleno.

Tabla 2. Muestras de las mezclas obtenidas

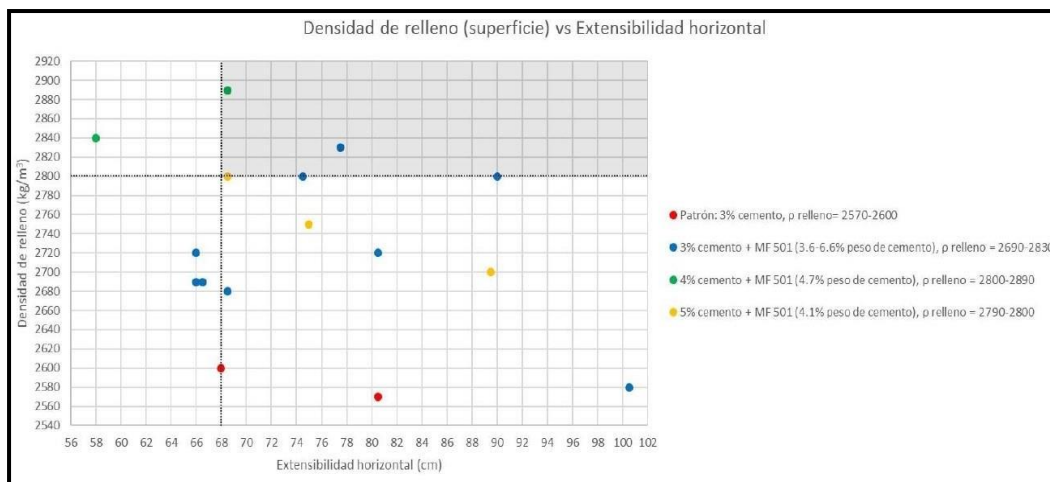
Dosis cemento (% cake de relave)	Alimentación cake de relave (ton/hr)	Alimentación cemento (ton/hr)	Caudal MasterRoc MF 501 (lt/minuto)	Dosis promedio MF 501 (% peso cemento)	Densidad de relleno (kg/m ³)	
					Superficie	Interior mina
3%	307 - 358	7 - 13	5.9	3.7%	2690	2590
3%	287 - 356	8 - 13	6.1	3.6%	2720	2640
3%	326 - 351	8 - 13	8.8	5.2%	2770	2700
3%			10.1		2810	2770
5%	277 - 338	16	10.6	4.1%	2790	2760
5%			10.6		2840	2730
4%	299 - 348	12 - 16	10.6	4.7%	2890	2750
4%			10.6		2800	2750
3%	317 - 354	8 - 12	10.6	6.6%	2800	2760
3%			9.7		2830	2700
3%			9.7		2830	2730
3%	308 - 352	8 - 13	9.7	5.8%	2780	2650
3%			9.7		2780	2810

Fuente: U.M. Cerro Lindo.

La siguiente Ilustración relaciona la extensibilidad y densidad promedio de las mezclas que se registraron en pruebas industriales. Ambos valores se midieron en superficie. (en el momento de la descarga del mezclador continuo). Los registros de mezclas de patrón y mezclas con aditivo se comparan. Se insertaron dos líneas, una vertical y otra horizontal, en el gráfico para indicar la extensibilidad horizontal mínima de cualquier mezcla que se bombea al tajo de prueba para evitar una presión de bombeo excesiva. (línea vertical), así como la

densidad de relleno objetivo mínima (línea horizontal). Junto con la densidad de relleno mínima objetivo

Ilustración 26. Densidad del Relleno Hidráulico Vs Extensibilidad Horizontal



Fuente: U.M. Cerro Lindo.

Análisis de Resultados

En la Tabla 2 se ha observado que la densidad registrada en la superficie de la densidad registrada en el interior de la mina siempre es mayor. Esto se debe a que los sólidos se adhieren cuando se transporta el relleno por tubería. Cuando la velocidad de transporte del relleno es menor a la velocidad de asentamiento de sólidos crítica, los sólidos se asientan.

En el Gráfico 1, Se aprecia que las mezclas con aditivos se incrementaron significativamente la densidad del relleno en comparación con la mezcla producida actualmente en Planta N° 2. La mezcla patrón (puntos rojos) registró un rango de densidades entre 2570 y 2600. La densidad aumentó entre 2680 y 2890 cuando se agregó un aditivo al relleno.

En el Gráfico 1, la densidad (= 2800) y la extensibilidad (≥ 68 cm) se cumplieron con las tres dosis de cemento utilizadas (3, 4 y 5%) en la prueba industrial con aditivos. De las 13 muestras de mezclas con aditivos, diez alcanzaron una extensibilidad superior a 68 cm y seis alcanzaron una densidad

superior a 2800. Los aumentos repentinos de la presión de bombeo fueron la causa de los casos donde la densidad y la ruptura no se cumplieron. (debido a las razones antes expuestas) que obligaron a la válvula de agua a abrirse. En cualquier caso, la densidad de relleno de todas las mezclas con aditivo es significativamente superior a la producción actual.

Las densidades más altas registradas generalmente están relacionadas con una mayor demanda de caudal de aditivo. Entonces, se describen las densidades de relleno y el caudal de aditivo utilizados para mantener las presiones de bombeo en niveles aceptables para cada dosis de cemento utilizada:

- En mezclas de cemento del 3 % y aditivo (puntos azules en el anterior gráfico), el caudal de aditivo fue de 5.9 a 10.6 litros por minuto y las densidades de relleno en superficie fueron de 2680 a 2830.
- Para las mezclas con del 4% y aditivo (puntos verdes en el anterior gráfico), se utilizó un caudal de aditivo de 10.6 litros por minuto y se alcanzó una densidad de relleno de 2840 a 2890.
- Para las mezclas con del 5% y aditivo (puntos amarillos en el anterior gráfico), se utilizó un caudal de aditivo de 10.6 litros por minuto y se alcanzó una densidad de relleno en superficie de 2700 a 2800.

El día de la prueba industrial, el operador de planta informó que debido a los repentinos aumentos de la presión de bombeo bajo condiciones constantes de descarga de cemento y aditivo al mezclador continuo, el relave descargado al mezclador contenía una cantidad excesiva de finos. (se detalla en Tabla 2).

A lo largo del tiempo que se descargó el aditivo en el mezclador continuo, hubo hasta tres ocasiones en las que la descarga de cemento del mezclador se cortó. A pesar de que el panel de control de alimentación de cemento al mezclador

continuo estaba configurado para descargar dosis de 3, 4 y 5 %, esto sucedió. (no había descarga de cemento al mezclador). Si el mezclador no contiene cemento, el aditivo no hace que el relleno sea "más fluido". Como resultado, este hecho también contribuye al aumento de la presión de bombeo.

Tiempo de secado

Los resultados solo corresponden a muestras rellenas con MasterRoc MF 501. Se reemplazó el molde estándar que estipula ASTM C191 para facilitar el muestreo del relleno en moldes de secado. (molde troncocónico que debe ser sellado por completo con una base de vidrio) por un contenedor plástico de volumen comparable que sea hermético.

Ilustración 27. Muestras para realizar el secado con vicat



Fuente: U.M. Cerro Lindo.

En los ensayos realizados, los especímenes de secado no fueron drenados. (el agua del relleno permanece en el recipiente hasta que se evapora completamente). Debido a que el estado de curado del tajo está drenado, esta condición es conservadora. (El agua escapa a través de las discontinuidades de la roca y los drenes de los muros de contención en la parte baja del tajo).

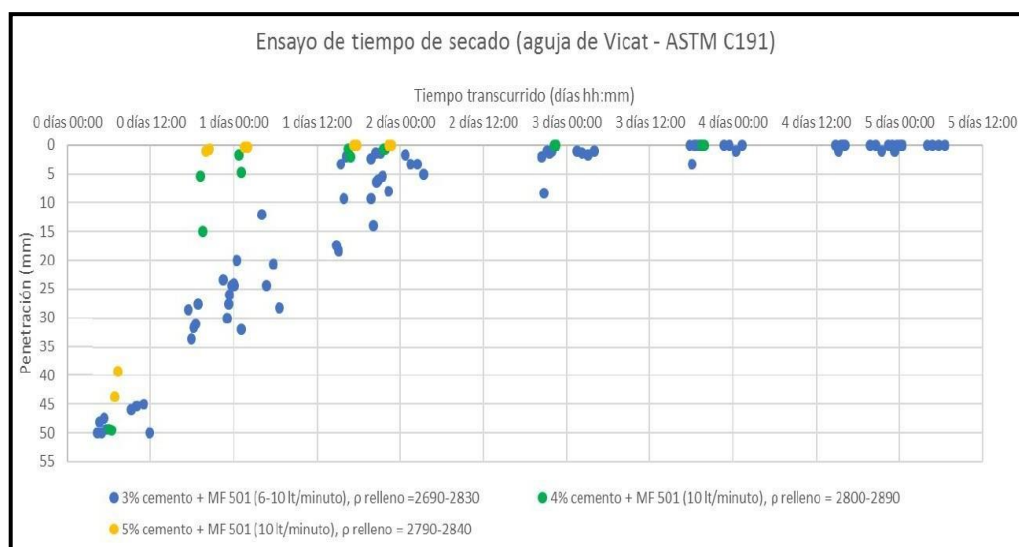
Además, debido a la presión vertical que ejerce sobre el relleno, el peso de la masa de relleno en el tajo hace que el agua drene más rápido. La presión

vertical específica aumenta a medida que aumenta la altura del relleno. Por lo tanto, se espera que el tiempo de secado del relleno en el tajo sea menor que el que se registró en los ensayos de secado.

No fue posible el moldeo de muestras patrón (relleno sin aditivo), debido a que la prueba industrial con aditivos tomó más tiempo que la guardia del personal de laboratorio de relleno en la mina Solo se pudieron recopilar muestras con diferentes dosis de cemento y aditivo durante las pruebas industriales.

Los resultados del tiempo de secado obtenidos después de monitorear continuamente los especímenes moldeados se muestran a continuación. La penetración se registró en los especímenes desde la primera hora después de su moldeo hasta que se secó completamente. (penetración cero).

Ilustración 28. Ensayo de tiempo de secado con herramienta vicat



Análisis de resultados

Los hallazgos sugieren lo siguiente:

- Después del moldeo de especímenes, las mezclas con 3% de cemento se secaron hasta 72 horas. Como resultado, el tiempo de secado del relleno

con esta cantidad de cemento es menor a tres días en las condiciones de curado del tajo.

- Después del moldeo de especímenes, las mezclas con 4% de cemento se secaron hasta 48 horas. Como resultado, el tiempo de secado del relleno con esta cantidad de cemento es menor a dos días en las condiciones de curado del tajo.
- Después del moldeo de especímenes, las mezclas con 5% de cemento se secaron hasta un día. Por lo tanto, en condiciones de curado del tajo, el tiempo de secado del relleno con esta dosis de cemento es menor a un día.

Resistencia a Compresión

Para ensayar a edades de 7, 28, 60 y 90 días, se moldearon doce probetas cilíndricas de 4 por 8 por cada una de las 13 muestras extraídas.

Las probetas plásticas de curado tienen una abertura en la base, lo que indica que los especímenes se han drenado. En comparación con el curado no drenado, este tipo de curado se asemeja más a las condiciones de curado del relleno en el tajo.

En el punto de descarga de la tubería de relleno en el tajo de prueba, se recolectaron muestras en el interior de la mina. Al lado de la zona de descarga de la tubería de relleno, se creó un área provisional para la desinfección de las probetas. Todas las probetas utilizadas para el moldeo de especímenes se colocaron en esta área. Después del moldeo de los ensayos, se esperó por dos días hasta que los ensayos sequen en el lugar mencionado anteriormente. Después de eso, todos los ensayos fueron enviados al laboratorio de relleno, donde se desmoldaron y preservaron hasta la edad de ensayo.

Ilustración 29. Muestras de probetas de Relleno para la Compresión



Fuente: U.M. Cerro Lindo.

Análisis de Resultados:

➤ **Con respecto a las mezclas con 3% de cemento:**

A medida que aumenta la densidad del relleno, los especímenes (íconos azules) muestran una tendencia a aumentar la resistencia.

Los especímenes moldeados alcanzaron densidades en superficie de 2770 a 2830 y resistencias de 0,20 a 0,40 MPa después de 7 días.

No hubo un aumento significativo en la resistencia a edad de 28 días en comparación con 7 días. Los especímenes demostraron la misma resistencia que a 7 días.

Con respecto a las mezclas con 4% de cemento:

A la edad de 7 días, los especímenes moldeados (círculos verdes) alcanzaron densidades en superficie de 2800 a 2890 y resistencias de 0.50 a 0.60 MPa.

La resistencia aumentó significativamente a los 28 días en comparación con los 7 días. Los especímenes mostraron resistencias superiores a los requisitos, que oscilaron entre 0.65 y 0.85 MPa.

➤ **Con respecto a las mezclas con 5% de cemento:**

A los 7 días, los especímenes moldeados (círculos amarillos) consiguieron densidades en superficie de 2790 a 2840 y resistencias de 1 a 1.05 MPa.

Los especímenes alcanzaron resistencias de 2.05 a 2.25 MPa a edad de 28 días.

Las resistencias se obtuvieron entre 7 y 28 días superan significativamente las exigencias de geomecánica. Como resultado, la cantidad de cemento en las mezclas que incluyen MasterRoc MF 501 debe ser inferior al 5%.

CONCLUSIONES

- Para mezclas con cemento del 3, 4 y 5%, el indicador que predomina en la dimensión de la mezcla de agua en la transportabilidad de la pasta de relleno a largas distancias se determinó al aumentar la densidad del relleno sin aumentar las presiones de bombeo actuales. El indicador comenzó con una densidad de 2580 (sin aditivo) y llegó a una densidad de 2800. Las dosis de aditivo fueron de 6,6, 4,7 y 4,1 % (en peso de cemento), respectivamente, para lograr este aumento de densidad.
- Las mezclas con 5% de cemento y una dosis de aditivo del 4,1% fueron los indicadores que predominan en la dimensión de la mezcla de aditivo en la transportabilidad de relleno de pasta a largas distancias. (en peso de cemento) a los 7 días, casi duplicaron la resistencia de relleno requerida (0,6 MPa a 28 días) y la triplicaron a los 28 días.

En Nexa Resources, el indicador que predomina en la dimensión de las tuberías de transporte en la transportabilidad del relleno de pasta a largas distancias fue identificado como el indicador más importante de acuerdo con la densidad y la ruptura enviada al interior de la mina.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las mezclas con un 5% de cemento y una dosis de aditivo del 4,1% tienen un impacto significativo en la transportabilidad de relleno hidráulico de pasta para largas distancias. (en peso de cemento), para duplicar la resistencia de relleno requerida en 7 días (0,6 MPa a 28 días) y triplicarla en 28 días.
- Se recomienda que la dimensión de la tubería de transporte predomine en la transportabilidad del relleno hidráulico de pasta para largas distancias en la U.M. Cerro Lindo de acuerdo con la densidad y la ruptura enviada a la mina.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

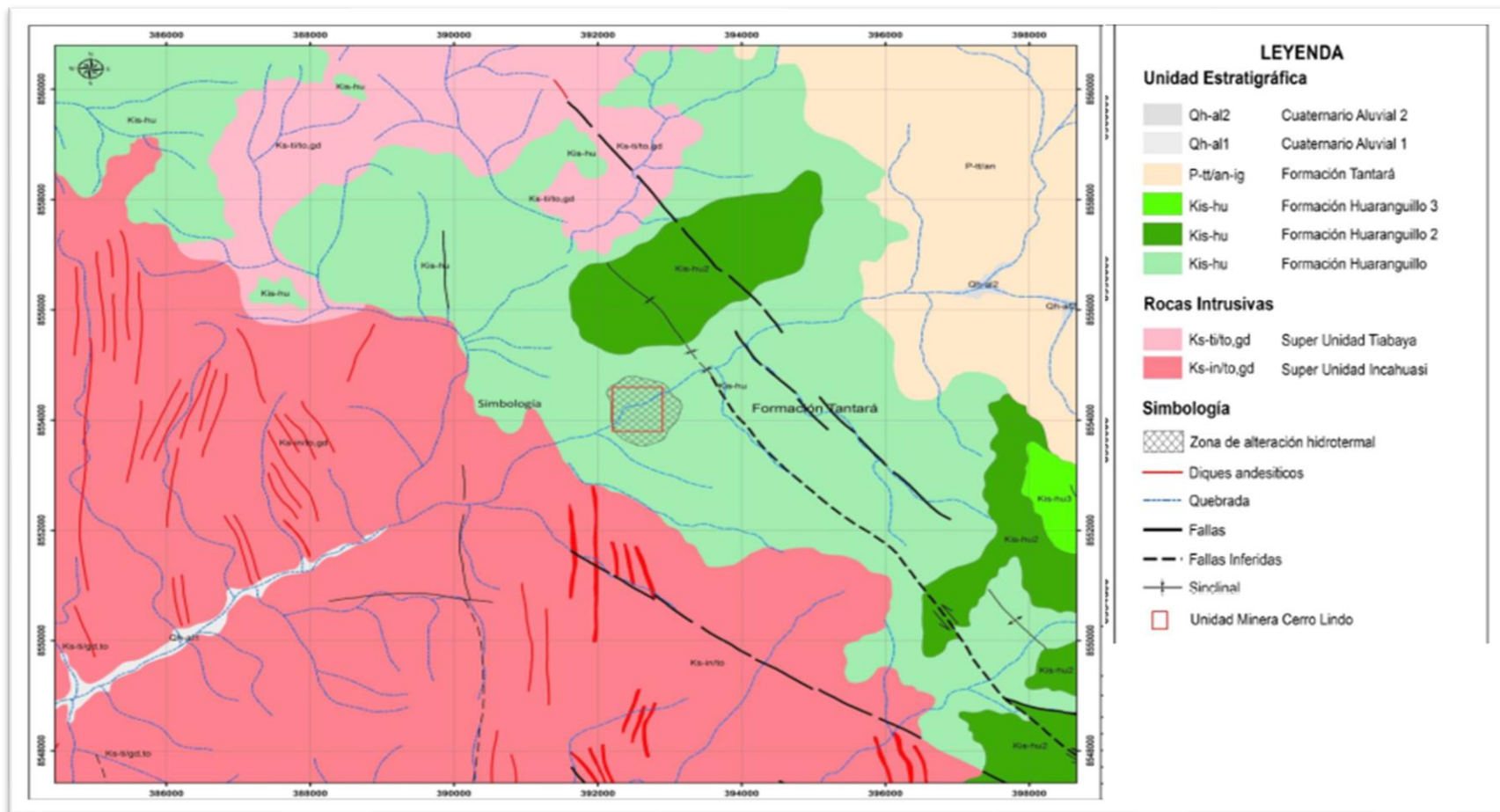
- A., Castaneda, Mendieta, Lezama y P., Ampuero. 2015. Sistema de relleno con mortero de relave para mejorar la confiabilidad del sostenimiento en la minería subterránea. Chíncha: s.n., 2015.
- Benzaazoua, Fall y. 2003. 2003.
- Cantorin. 2013. Método de relleno de pasta en la Unidad Minera San Rafael. San Rafael: s.n., 2013.
- Córdova R. David. “Asesoramiento Geomecánico Mina San Cristóbal”, Informe visita 12 - 13 de diciembre 2016.
- G., Suazo y A., Fourie A. y Hasan. 2015. Estudio experimental de la respuesta geomecánica de relaves en pasta cementados utilizados para el relleno de caserones. Western, Australia: s.n., 2015.
- Lain Huerta, Carlos. 2015. Estudio de las dimensiones tensionales y de la resistencia de los rellenos de pasta de la Mina Subterránea de aguas tenidas. Huelva: s.n., 2015.
- Ministerio de energía y minas. 2014. Orcopampa: s.n., 2014.
- Ministerio del Ambiente. 2013. Organismo de evaluación y fiscalización ambiental. Junín: s.n., 2013.
- KARZULOVIC A. “Sistemas de Calificación y Clasificación Geotécnica de Macizos Rocosos, Método del Índice GSI”.
- KARZULOVIC, Antonio; SISTEMAS DE CALIFICACION Y CLASIFICACION GEOTÉCNICA DE MACIZOS ROCOSOS.

ANEXOS

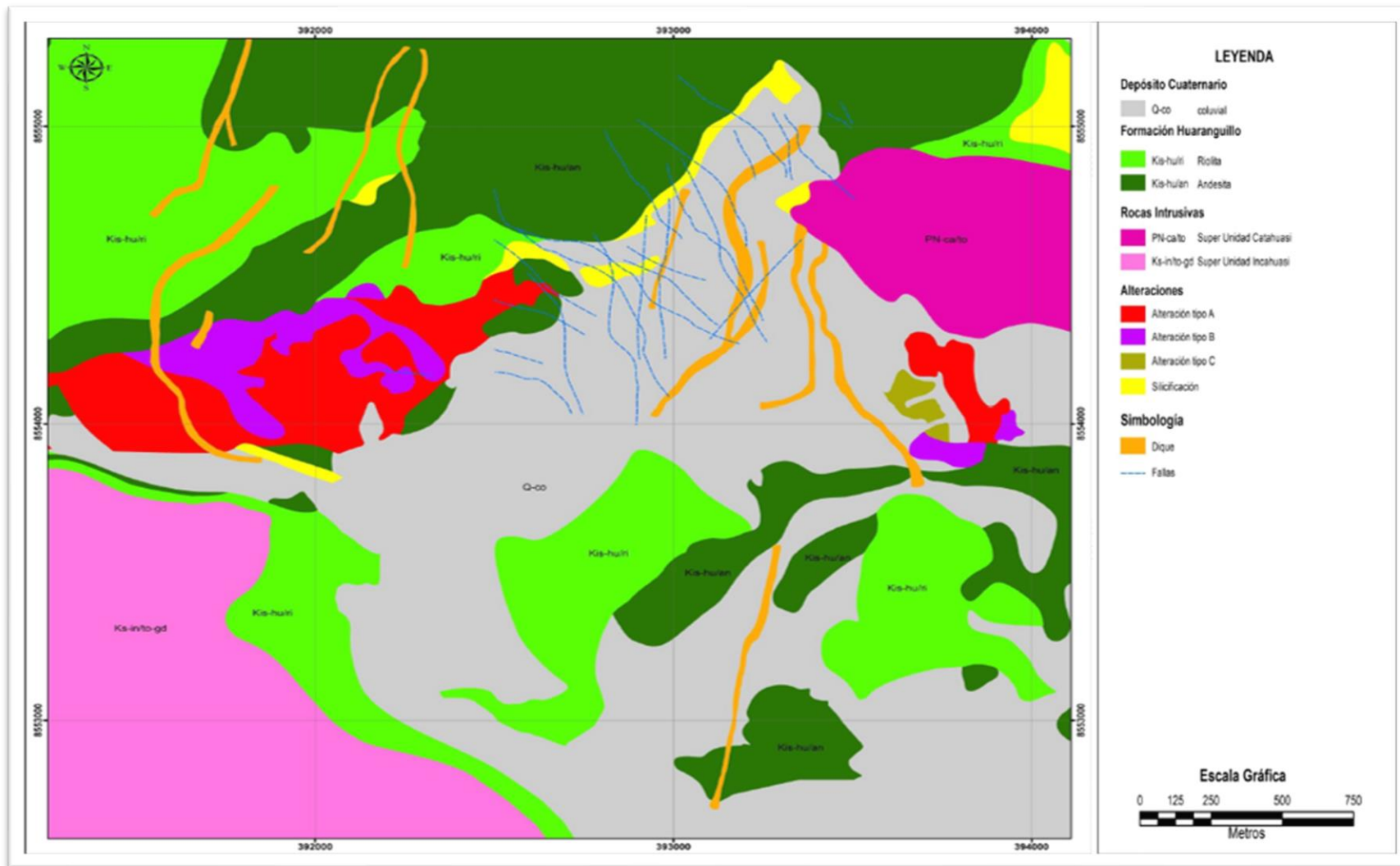
Anexo 1. Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
TÍTULO: Aplicación del Relleno Hidráulico en Pasta para Rellenar Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo – Nexa Resources. Tesista: Bach. Joy Kell LEON SOTO						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVESTIG.
<p>GENERAL: ¿Es posible la aplicación del Relleno Hidráulico en Pasta para Rellenar Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo – Nexa Resources?</p> <p>Problemas específicos A. ¿Se podrá transportar el Relleno Hidráulico en Pasta para rellenar Tajos a largas distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo? B. ¿Será factible efectuar el Relleno Hidráulico en Pasta para instaurar la estabilidad de los Tajos en la Compañía Minera Cerro Lindo?</p>	<p>GENERAL: Aplicar el Relleno Hidráulico en Pasta para Rellenar Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo – Nexa Resources.</p> <p>Objetivos específicos A. Transportar el Relleno Hidráulico en Pasta para rellenar Tajos a largas distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo. B. Efectuar el Relleno Hidráulico en Pasta para instaurar la estabilidad de los Tajos en la Compañía Minera Cerro Lindo.</p>	<p>GENERAL Con la aplicación del Relleno Hidráulico en Pasta se rellenará los Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo – Nexa Resources.</p> <p>Hipótesis específicas A. Se podrá transportar el Relleno Hidráulico en Pasta para rellenar Tajos a largas distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo. B. Efectuar el Relleno Hidráulico en Pasta para instaurar la estabilidad de los Tajos en la Compañía Minera Cerro Lindo.</p>	<p>INDEPENDIENTE X: Aplicación del Relleno Hidráulico en Pasta en la Compañía Minera Cerro Lindo.</p> <p>Variables Dependientes Y: Rellenar Tajos a Largas Distancias en la Compañía Minera Cerro Lindo.</p>	<p>Planeamiento Minero</p> <p>Operaciones Mineras</p> <p>Compañía Minera Cerro Lindo.</p>	<p>Parametros Geotecnicos</p> <p>Geomecanica</p> <p>Metodo de Explotacion</p> <p>Tajos</p> <p>Estabilidad</p> <p>Sostenimiento</p>	<p>TIPO: Aplicada.</p> <p>NIVEL: Evaluativa.</p>

Anexo 2. Planos



Plano Geológico Regional



Plano Geológico Local

Anexo 3. Panel Fotográfico.



Foto 001: Muestreo en Tolva de Gruesos



Foto 002: Toma de Muestras