

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Análisis del uso de relleno en pasta con aditivo en el
proceso de producción en el tajo 280 NV 1710 en la
Unidad Minera Cerro Lindo - 2022**

Jusbel Cortez Cornelio

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Ing. Felipe Néstor Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Ing. Javier Carlos Córdova Blancas
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 6 de Diciembre de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "ANÁLISIS DEL USO DE RELLENO EN PASTA CON ADITIVO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN EL TAJO 280 NV 1710 EN LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO – 2022", perteneciente al estudiante JUSBEL CORTEZ CORNELIO, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 10) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,




Ing. Javier Carlos Córdova Blancas
Asesor de tesis

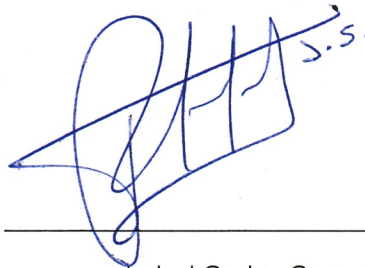
Cc.
Facultad
Oficina de Grados y Títulos
Interesado(a)

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Jusbel Cortez Cornelio, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 45344785, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "ANÁLISIS DEL USO DE RELLENO EN PASTA CON ADITIVO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN EL TAJO 280 NV 1710 EN LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO - 2002", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.



06 de Diciembre de 2023.

Jusbel Cortez Cornelio

DNI. No. 45344785

Cc.
Facultad
Oficina de Grados y Títulos
Interesado(a)

ANÁLISIS DEL USO DE RELLENO EN PASTA CON ADITIVO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN EL TAJO 280 NV 1710 EN LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO - 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	11%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	www.aduanet.gob.pe Fuente de Internet	<1%
7	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9	www.tdx.cat Fuente de Internet	<1 %
10	ciat-library.ciat.cgiar.org Fuente de Internet	<1 %
11	SNC LAVALIN PERU S.A.. "Primer ITS de la Unidad Minera Cerro Lindo-IGA0002171", R.D. N° 001-2019-SENACE-PE/DEAR, 2020 Publicación	<1 %
12	Submitted to Universidad Nacional de Educacion Enrique Guzman y Valle Trabajo del estudiante	<1 %
13	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
14	www.imss.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
17	www.tecnologiaempresarial.info Fuente de Internet	<1 %
18	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
19	pesquisa.bvsalud.org Fuente de Internet	<1 %

20	www.gacicuba.org Fuente de Internet	<1 %
21	"Efecto de la temperatura de operación en biorreactores de biogás con lactosa y celulosa", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2020 Publicación	<1 %
22	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
24	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
25	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 6 (1990)", Brill, 1995 Publicación	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

ASESOR

Ing. Javier Córdova Blancas

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos a cada uno de los catedráticos de esta casa de estudios de la Universidad Continental, quienes contribuyeron en mi formación académico profesional.

Del mismo modo, mis agradecimientos profundos a la unidad minera Cerro Lindo, por brindar su apoyo en la materialización del proyecto.

DEDICATORIA

El desarrollo de esta investigación está dedicado a mi madre, Vilma y a mis hijos: Piero y Vilma que son la fuente de inspiración para mis anhelos profesionales.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	17
1.1. Planteamiento y formulación del problema	17
1.1.1. Planteamiento del problema	17
1.1.2. Formulación del problema	18
1.2. Objetivos	18
1.2.1. Objetivo general	18
1.2.2. Objetivos específicos	18
1.3. Justificación e importancia	19
1.3.1. Justificación social - práctica	19
1.3.2. Justificación académica	19
1.4. Hipótesis de la investigación	20
1.4.1. Hipótesis general	20
1.4.2. Hipótesis específicas	20
1.5. Identificación de las variables	20
1.5.1. Variable independiente	20
1.5.2. Variables dependiente	20
1.5.3. Matriz de operacionalización de variables	21
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	22
2.1 Antecedentes del problema	22
2.1.1 Antecedentes internacionales	22

2.1.2 Antecedentes nacionales -----	23
2.2 Generalidades de la unidad minera -----	24
2.2.1 Ubicación de la UM Cerro Lindo -----	24
2.2.2 Accesibilidad a la UM Cerro Lindo -----	24
2.3 Geología general -----	25
2.3.1 Clasificación geomecánica -----	27
2.3.2 Relleno de mina -----	27
2.3.3 Ciclo de minado -----	29
2.3.4 Consideraciones de producción de relleno -----	30
2.4 Bases teóricas -----	31
2.4.1 Parámetros de diseño en relleno en pasta -----	31
2.4.2 Proceso de relleno en pasta -----	32
2.4.3 Consideraciones de producción histórica de relleno en pasta -----	35
2.4.4 Relleno en pasta con aditivo Immocem -----	37
2.4.5 Procedimientos para la operación de relleno en la UM Cerro Lindo -----	42
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN -----	45
3.1 Método y alcances de la investigación -----	45
3.1.1 Método de la investigación -----	45
3.1.2 Alcances de la investigación -----	46
3.2 Diseño de la investigación -----	46
3.3 Población y muestra -----	46
3.3.1 Población -----	46
3.3.2 Muestra -----	46
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos -----	46
3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos -----	46
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos -----	47
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	48
4.1 Parámetros iniciales de operación -----	48
4.2 Análisis de la relación cemento, aditivo y tiempo de fraguado -----	52
4.3 Análisis del consumo de cemento -----	61
4.4 Análisis económico -----	63
4.5 Análisis de validación de la hipótesis -----	65

CONCLUSIONES-----	70
RECOMENDACIONES-----	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	73
ANEXOS -----	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de matriz de operacionalización de variables	21
Tabla 2. Accesibilidad a la UM Cerro Lindo	25
Tabla 3. Parámetros geomecánicos y geodinámicos de la roca, UM Cerro Lindo.....	27
Tabla 4. Comportamiento del cemento en relleno en pasta, UM Cerro Lindo	30
Tabla 5. Parámetros de diseño en relleno en pasta, UM Cerro Lindo.....	31
Tabla 6. Producción de relleno en pasta, periodo 2022, UM Cerro Lindo	36
Tabla 7. Parámetros de relleno en pasta, sin aditivo UM Cerro Lindo	49
Tabla 8. Parámetros de relleno en pasta, con aditivo Immocem,.....	49
Tabla 9. Parámetros de diseño de relleno en pasta, UM Cerro Lindo.....	49
Tabla 10. Tiempo de fraguado, resistencia, slump y % de sólidos de relleno en pasta con cemento	53
Tabla 11. Resumen de tiempo de fraguado, resistencia, slump y % sólidos con cemento.....	54
Tabla 12. Tiempo de fraguado, resistencia, slump y % de sólidos de relleno con aditivo Immocem.....	56
Tabla 13. Resumen de tiempo de fraguado, resistencia, slump y % sólidos con Immocem.....	57
Tabla 14. Tiempo de fraguado, resistencia, slump y % de sólidos de relleno con cemento + aditivo Immocem	59
Tabla 15. Resumen de tiempo de fraguado, resistencia y % sólidos con cemento + Immocem	60
Tabla 16. Consumo total de insumos en el área mina	62
Tabla 17. Consumo total de cemento proyectado en el relleno en pasta	62
Tabla 18. Costo optimizado de consumo de cemento de relleno en pasta	64
Tabla 19. Análisis comparativo del análisis de la resistencia con el tiempo de fraguado, en los 3 escenarios.....	66
Tabla 20. Resumen comparativo del análisis de la resistencia con el tiempo de fraguado.....	66
Tabla 21. Costo optimizado de consumo de cemento de relleno en pasta	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la UM Cerro Lindo	24
Figura 2. Tomada del Departamento de Geología	26
Figura 3. Ore body en la UM Cerro Lindo	26
Figura 4. Diagrama unifamiliar de relleno en pasta, UM Cerro Lindo	28
Figura 5. Retro análisis en el tajeo TJ 16 SE, nivel Nv 1770. UM Cerro Lindo.....	28
Figura 6. Ciclo de minado en la UM Cerro Lindo.....	29
Figura 7. Proceso de relleno en pasta, UM Cerro Lindo	32
Figura 8. Flow sheet de relleno en pasta, UM Cerro Lindo	33
Figura 9. Planta de relleno en pasta, UM Cerro Lindo	34
Figura 10. Curva de desarrollo de resistencia de relleno en pasta, UM Cerro Lindo.....	34
Figura 11. Producción de relleno en pasta, periodo 2019 al 2021, UM Cerro Lindo.....	35
Figura 12. Relación de relleno en pasta programada y ejecutada, año 2022	36
Figura 13. Relación de % cemento programado y ejecutado, año 2022	37
Figura 14. Análisis de densidad de relave.....	39
Figura 15. Análisis de peso del relave.....	40
Figura 16. Análisis del peso del aditivo Immocem.....	40
Figura 17. Mezcla del aditivo Immocem y cemento.....	41
Figura 18. Prueba del slump antes de la toma de la muestra	41
Figura 19. Muestras tomadas para el ensayo de resistencia	42
Figura 20. Plano en planta, esquema de tajeos en el Nv 1710 en la UM Cerro Lindo.....	50
Figura 21. Sección de los tajeos en el Nv 1710 en la UM Cerro Lindo	51
Figura 22. Relación tiempo de fraguado, resistencia y % sólidos con cemento ...	54
Figura 23. Curva de desarrollo de resistencia con el tiempo de fraguado con cemento.....	55
Figura 24. Relación tiempo de fraguado, resistencia y % sólidos con Immocem.....	57

Figura 25. Curva de desarrollo de resistencia con el tiempo de fraguado con Immocem.....	58
Figura 26. Relación tiempo de fraguado, resistencia y % sólidos con cemento + Immocem	60
Figura 27. Curva de desarrollo de resistencia con el tiempo de fraguado con cemento + Immocem	61
Figura 28. Consumo de cemento proyectado en relleno en pasta	63
Figura 29. Costo optimizado de proyectado en relleno en pasta.....	64
Figura 30. Comparativo de curva de resistencia en tajo secundario	67
Figura 31. Optimización de costos, reducción de cemento	68

RESUMEN

El desarrollo de la tesis titulada: “Análisis del uso de relleno en pasta con aditivo en el proceso de producción en el tajo 280 NV 1710 en la unidad minera Cerro Lindo – 2022”, planteó como objetivo principal, analizar e interpretar las variables operacionales asociadas al uso del aditivo Immocem y su implicancia en mantener la resistencia adecuada para continuar minando los tajos secundarios del método de minado sublevel stoping en la unidad minera.

El trabajo desarrollado aplica el método inductivo y deductivo, en la que se consideró como variables analizadas el uso del aditivo Immocem, lo que permitió dar respuesta al comportamiento del tiempo de fraguado asociado a la resistencia generada y su costo asociado, de acuerdo al escenario propuesto.

Para el desarrollo del presente trabajo, se consideró 3 escenarios asociados al relleno en pasta en el tajo TJ 280, nivel NV 1710, siendo estos: escenario solo utilizando cemento, escenario solo utilizando aditivo Immocem y el escenario cemento + aditivo Immocem. Los resultados obtenidos para el análisis del tiempo de fraguado y resistencia han sido considerados en diferentes tiempos: 7 días, 14 días, 28 días, 60 días, 90 días y 120 días.

Al considerar solo el uso de cemento se considera valores promedio de 3.17 % de cemento, con una resistencia promedio de 0.46 Mpa, densidad de salida con 2370 kg/m³, con un slump de 9 ½ pulgadas, un porcentaje de sólidos del 79 % y un porcentaje de humedad del 21 %. Para el tiempo de 14 días de fraguado la resistencia generada es de 0.54 Mpa.

Al tomar en cuenta solo el uso del aditivo Immocem, se considera valores promedio de 2.65 % de aditivo Immocem, con una resistencia promedio de 0.32 Mpa, densidad de salida con 2353 kg/m³, con un slump de 9 ½ pulgadas, un porcentaje de sólidos del 78 % y un porcentaje de humedad del 22 %. Para el tiempo de 14 días de fraguado la resistencia generada es de 0.40 Mpa.

Al tomar en cuenta el uso del cemento (1.5%) + el aditivo Immocem (2.3%), se considera una resistencia promedio de 0.68 Mpa, densidad de salida con 2400 kg/m³, con un slump de 9 ½ pulgadas, un porcentaje de sólidos del 76 % y un porcentaje de humedad del 24 %. Para el tiempo de 14 días de fraguado la resistencia generada es de 0.74 Mpa.

De acuerdo a los resultados obtenidos, considerando el tiempo de fraguado en 14 días y los escenarios propuestos, tomando en cuenta el mejor de ellos con cemento (1.5%) + el aditivo Immocem (2.3%) con un máximo de resistencia de 0.74 Mpa siendo el mínimo de 0.64 Mpa. Este mejor resultado, demuestra que el uso del cemento + el aditivo Immocem, permite sobrepasar la resistencia mínima para continuar con la apertura de los tajos secundarios.

El consumo de cemento proyectado (escenario propuesto) considera una reducción de cemento de 4 % a 1.5 %, teniendo en cuenta la aplicación del aditivo Immocem, con valores promedio mensual de reducción de 175,865 kilogramos, para el uso proyectado en relleno en pasta.

De acuerdo al consumo de cemento optimizado en el presente estudio es de 175,865 kilogramos promedio mensual, considerando un precio unitario de 0.12 US \$/kg, se optimizará un promedio de 21,104 \$/mes.

Finalmente, el consumo de cemento (1.5%) + el aditivo Immocem (2.3%) en un tiempo de fraguado de 14 días considera una resistencia de 0.74 Mpa (con una resistencia mínima de 0.64 Mpa) para la apertura de tajos secundarios, considera una reducción de consumo de cemento en 2.5 % y una disminución de costos unitarios en 21,104 \$/mes.

Palabras clave: relleno en pasta, aditivo Immocem, tiempo de fraguado, resistencia, cemento, costos unitarios, tajo, sección, slump, densidad de relave, porcentaje de sólidos, etc.

ABSTRACT

The development of the thesis entitled “Analysis of the use of paste filler with additive in the production process of tajo 280 NV 1710 in the Cerro Lindo mining unit – 2022”, whose main objective is to analyze and interpret the operational variables associated with the use of the Immocen additive and its implication in maintaining adequate resistance to continue mining the secondary pits of the sublevel stopping mining method in the mining unit.

The work developed applies the inductive and deductive method, for which the variables analyzed, considering the use of the Immocen additive, which allowed responding to the behavior of the setting time associated with the resistance generated and its associated cost, according to the proposed scenario.

For the development of this work, 3 scenarios associated with the paste fill were considered, in the TJ 280 pit, level NV 1710, these being: scenario only using cement, scenario only using Immocem additive and the cement + immocem additive scenario.

The results obtained for the analysis of setting time and resistance have been considered in different times such as: 7 days, 14 days, 28 days, 60 days, 90 days and 120 days.

When considering only the use of cement, average values of 3.17% cement are considered, with an average resistance of 0.46 Mpa, output density with 2370 kg/m³, with a slump of 9 ½ inches, a percentage of solids of 79% and a humidity percentage of 21%. For the 14-day setting time, the resistance generated is 0.54 Mpa.

When considering only the use of the Immocen additive, average values of 2.65% of the Immocen additive are considered, with an average resistance of 0.32 Mpa, output density with 2353 kg/m³, with a slump of 9 ½ inches, a solids percentage of

78 % and a humidity percentage of 22%. For the 14-day setting time, the resistance generated is 0.40 Mpa.

When considering the use of cement (1.5%) + the Immocem additive (2.3%) it is considered, an average resistance of 0.68 Mpa, output density with 2400 kg/m³, with a slump of 9 ½ inches, a percentage of solids of 76% and a humidity percentage of 24%. For the 14-day setting time, the resistance generated is 0.74 Mpa.

According to the results obtained, considering the setting time in 14 days and the proposed scenarios, considering the best of them with cement (1.5%) + the Immocem additive (2.3%) with a maximum resistance of 0.74 Mpa being the minimum. of 0.64 MPa. This better result demonstrates that the use of cement + the Immocem additive allows the minimum resistance to be exceeded to continue with the opening of the secondary pits.

The projected cement consumption (proposed scenario) considers a reduction of cement from 4% to 1.5%, considering the application of the Immocem additive, with average monthly reduction values of 175,865 kilograms, for the projected use in paste fill.

According to the optimized cement consumption in this study, it is 175,865 kilograms monthly average, considering a unit price of 0.12 US\$/kg, an average of 21,104 US\$/month will be optimized.

Finally, the consumption of cement (1.5%) + the Immocem additive (2.3%) in a setting time of 14 days considers a resistance of 0.74 Mpa (with a minimum resistance of 0.64 Mpa) for the opening of secondary pits, considers a reduction in cement consumption by 2.5% and a decrease in unit costs by 21,104 US \$/month.

Keywords: paste filler, additive, immocem, setting time, resistance, cement, unit costs, pit, section, slump, tailings density, percentage of solids, etc.

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos en operaciones mineras subterráneas es cumplir con el ciclo de minado en el tiempo planificado, esto se debe muchas veces al método de minado seleccionado, así como a la disponibilidad de los equipos. Hablar de los procesos unitarios que involucra el ciclo de minado, considerando métodos de minado con relleno, involucra todo un proceso de selección del tipo de relleno a ser utilizado. Los rellenos usados de acuerdo a las condiciones de resistencia que deben cumplir en cada sector de la unidad minera varían desde relleno detrítico, relleno hidráulico y relleno en pasta, cada uno de ellos con sus propias particularidades de diseño, dosificación, resistencia mínima y máxima, tiempo mínimo de fraguado, entre otros, lo que afectará directamente el cumplimiento de los planes mineros.

El presente trabajo realizará un análisis del relleno en pasta aplicado en la unidad minera Cerro Lindo, el que viene utilizando el método de *minado sub level stoping* con taladros largos de 12 y 18 metros de perforación con dimensiones de los tajos primarios y secundarios de 30 x 20 o de 30 x 30 metros y potencias desde 20 a 35 metros. Por tal motivo, se realiza el presente estudio de relleno en pasta utilizando un aditivo llamado Innocem, el cual ayudará en el tiempo de fraguado, mejorar la resistencia mínima y disminuyendo la cantidad de cemento a ser utilizado.

La aplicación del método de minado masivo genera altas áreas disturbadas, lo que, de acuerdo a estudios de geomecánica, obliga el relleno en pasta en forma inmediata, dosificación, tiempo de fraguado y resistencia mínima, entre otros, son parámetros a considerar para el cumplimiento del ciclo de minado y poder continuar con la explotación de los tajos secundarios.

El desarrollo del presente trabajo se divide en los siguientes capítulos: en el Capítulo I se describe el tema de forma, considerando el planteamiento del problema, objetivo e hipótesis general y específicos, así mismo se define las

variables independientes e independientes, como la matriz de operacionalización de variables. En el Capítulo II se plantea las bases teóricas, antecedentes y generalidades de la unidad minera. En el Capítulo III se plantea el tema de fondo considerando la metodología de investigación, población y muestra del estudio. Finalmente, en el Capítulo IV se analiza e interpreta los resultados del estudio, considerando la validación de la hipótesis planteada.

El autor

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La aplicación de relleno en pasta en la unidad minera Cerro Lindo es de vital importancia para el cumplimiento del ciclo de minado, así como maximizar la rentabilidad operacional planificada.

El relleno en pasta es un fluido no newtoniano con concentración de sólidos entre 80 % y 82 %, compuesto principalmente por relave, cemento y agua, cuyos efectos de mezcla generan resistencias a la compresión uniaxial en un determinado tiempo de fraguado.

En la unidad minera, la resistencia de los tajos rellenados debe llegar a los 0.64 Mpa, para aperturar los tajos continuos (secundarios). Los objetivos de mantener la resistencia adecuada en tajos rellenados, está asociada a mantener la estabilidad de la mina durante el ciclo de minado, evitando hundimientos, realces y desprendimientos, etc.

El presente estudio aplicará el uso del aditivo Immocem en relleno en pasta para controlar la resistencia óptima en los tajos rellenados, el que dependerá en principio del tiempo de fraguado con la mejora y cumplimiento de la resistencia mínima y la

disminución en la cantidad de cemento. El estudio, se realizará como una prueba piloto en el tajo TJ 280, nivel NV 1710, del ore body OB 2B.

1.1.2. Formulación del problema

- **Problema general**

¿Cuál es el efecto del análisis del uso de relleno en pasta con aditivo en el cumplimiento de la producción del tajo TJ 280 - Nv 1710 - OB 2B en la unidad minera Cerro Lindo - 2022?

- **Problemas específicos**

a) ¿Cómo influye la relación del cemento y el aditivo Immocem con el tiempo de fraguado en el relleno en pasta del tajo TJ 280 - Nv 1710 - OB 2B en la unidad minera Cerro Lindo - 2022?

b) ¿Cómo influye la relación entre el uso del aditivo Immocem con la resistencia a la compresión Uniaxial en el relleno en pasta del tajo TJ 280 - Nv 1710 - OB 2B en la unidad minera Cerro Lindo - 2022?

c) ¿Cómo influye la relación entre el uso del aditivo Immocem con los costos operacionales en el relleno en pasta del tajo TJ 280 - Nv 1710 - OB 2B en la unidad minera Cerro Lindo - 2022?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto mediante el análisis del uso de relleno en pasta con aditivo para el cumplimiento de la producción del tajo TJ 280 - Nv 1710 - OB 2B en la unidad minera Cerro Lindo – 2022.

1.2.2. Objetivos específicos

a) Determinar la influencia de la relación del cemento y el aditivo Immocem con el tiempo de fraguado en el relleno en pasta del tajo TJ 280 - Nv 1710 - OB 2B en la unidad minera Cerro Lindo - 2022.

- b) Determinar la influencia de la relación entre el uso del aditivo Immocem con la resistencia a la compresión Uniaxial en el relleno en pasta del tajo TJ 280 - Nv 1710 - OB 2B en la unidad minera Cerro Lindo - 2022.
- c) Determinar la influencia de la relación entre el uso del aditivo Immocem con los costos operacionales en el relleno en pasta del tajo TJ 280 - Nv 1710 - OB 2B en la unidad minera Cerro Lindo – 2022.

1.3. Justificación e importancia

El desarrollo del presente trabajo de investigación realiza el uso de nuevos aditivos en el uso de relleno en pasta para el cumplimiento en el tiempo adecuado del ciclo de minado. Una de las consideraciones aplicativas del uso de relleno en pasta es poder llegar a la resistencia mínima en los tajos primarios minados y poder continuar con la explotación de los tajos secundarios. El menor tiempo de fraguado y la obtención de la resistencia mínima ayudarán a generar el cumplimiento de los planes de producción y reducir costos de minado.

1.3.1. Justificación social - práctica

Los resultados obtenidos en el presente estudio mediante el uso del reactivo Immocem en relleno en pasta ayudará a realizar un análisis del tiempo de fraguado, la resistencia mínima asociada al relleno en pasta en tajos primarias y determinar el tiempo a minar los tajos secundarios, así mismo el costo asociado entre los escenarios con la adición del aditivo y el escenario actual. El escenario mejorado permitirá la disminución de costos operacionales y el incremento de la rentabilidad de la empresa, manteniendo márgenes de mejora en la gestión social, incrementando inversiones en la generación de proyectos productivos.

1.3.2. Justificación académica

El uso de los reactivos Immocem como mejora en el relleno en pasta en la unidad minera, realizada en el tajo TJ 280, nivel NV 1710 a escala experimental, ayudará a entender estudios desarrollados en laboratorio aplicados en muestras o probetas obtenidas en los tajos primarios rellenos para determinar sus valores de resistencia a la compresión uniaxial en un determinado de tiempo de fraguado. El

estudio permitirá ser una herramienta de comparación en estudios similares en universidades, institutos, investigadores, etc. y así poder ser una herramienta comparativa en la mejora del tiempo de fraguado en relleno en pasta considerando en su resistencia mínima, para minar los tajos subsiguientes (secundarios y terciarios) en la unidad minera.

1.4. Hipótesis de la investigación

1.4.1. Hipótesis general

Al determinar el análisis del uso de relleno en pasta con aditivo influye en el cumplimiento de la producción del tajo TJ 280 - Nv 1710 - OB 2B, en la unidad minera Cerro Lindo – 2022.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) Al determinar la relación del cemento y el aditivo Immocem con el tiempo de fraguado influye en el relleno en pasta del tajo TJ 280 - Nv 1710 - OB 2B en la unidad minera Cerro Lindo - 2022.

- b) Al determinar la relación entre el uso del aditivo Immocem con la resistencia a la compresión Uniaxial influye en el relleno en pasta del tajo TJ 280 - Nv 1710 - OB 2B en la unidad minera Cerro Lindo - 2022.

- a) Al determinar la influencia de la relación entre el uso del aditivo Immocem con los costos operacionales influye en el relleno en pasta del tajo TJ 280 - Nv 1710 - OB 2B, en la unidad minera Cerro Lindo – 2022.

1.5. Identificación de las variables

1.5.1. Variable independiente

Relleno en pasta con aditivo Immocem y cemento en el Tj 280, Nv 1710

1.5.2. Variables dependiente

Análisis de las variables operacionales asociadas con el tiempo de fraguado, resistencia a la compresión Uniaxial y los costos de relleno en pasta.

1.5.3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. Tabla de matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición		Definición operacional	
	Conceptual	Dimensiones	Sub-Dimensiones	Indicadores
VI: Relleno en pasta con aditivo Immozem y cemento en el Tj 280, Nv 1710.	El uso de aditivos en el relleno en pasta, considerando la disminución del consumo de cemento y manteniendo la resistencia mínima para la apertura de tajos secundarios, en el método de minado sublevel stoping.	<ul style="list-style-type: none"> • Geológicos • Geomecánicos • Operacionales 	Propiedades geológicas Propiedades geomecánicas Propiedades operacionales	Tipo de yacimiento, litología, mineralogía, alteración asociada, etc. Propiedades físicas de la roca y mineral, dureza, densidad, etc. M3 de relleno en pasta, dosificación asociada, resistencia mínima, etc.
VD: Análisis de las variables operacionales considerando el uso del aditivo Immozem.	Analizar variables relacionadas al uso del aditivo immoquem, considerando el tiempo de fraguado, resistencia y costo asociado, ayudarán a enter la aplicación del aditivo.	<ul style="list-style-type: none"> • Variables de relleno en pasta. • Variables económicas. 	Uso del aditivo Immoquem en el Tj 280, Nv 1710. Costos asociados al uso del aditivo Immoquem.	Tiempo de fraguado, consumo de cemento, resistencia, etc. Costos asociados al consumo de cemento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

- Investigación titulada: "*Estudio de las distribuciones tensionales y de las resistencias de los rellenos de pasta de la mina subterránea de aguas teñidas, Madrid-España*". El objetivo de la investigación fue definir las dimensiones tensionales y la resistencia asociada al relleno en pasta en la mina Aguas Teñidas, el que realiza un informe técnico donde describe los parámetros de diseño de mezcla, bombeo y transporte de relleno en pasta a interior mina hacia los diferentes tajos minados, considerando la resistencia adecuada para la estabilidad de áreas disturbadas. Los resultados obtenidos están relacionados a la aplicabilidad de relleno en pasta en operaciones mineras subterráneas a nivel mundial, como tecnología de punta y su uso efectivo (1).

- Artículo científico titulado: "*Estudio experimental de la respuesta geomecánica de relaves en pasta cementados utilizados para el relleno de caserones*". El artículo hace referencia al uso de la tecnología de relleno en pasta, considerando los diferentes soportes en el diseño de dique tapón, el cual afectó directamente en algunas operaciones mineras por efecto de su estabilidad. Los parámetros a considerar están asociados tiempo de fraguado, considerando minar los tajos subsiguientes teniendo en consideración la estabilidad generada por el relleno

en áreas minadas, analizando los esfuerzos generados en cada sector relleno (2).

2.1.2 Antecedentes nacionales

- Tesis titulada: “*Transportabilidad del relleno en pasta a largas distancias en la empresa Nexa Resources, Huancayo - Perú*”. Uno de los grandes inconvenientes en el uso de relleno en pasta y relleno hidráulico considera como parámetro principal la velocidad de transporte del relleno sea menor a la velocidad crítica en la cual se asienta los sólidos afectando la transportabilidad del relleno. Así mismo, el efecto generado en la transportabilidad, afectará directamente al cumplimiento de los planes de minado programados, generando el no cumplimiento del minado de los tajos secundarios o terciarios. Por tal motivo, se realiza un análisis de la dosificación química y granulométrica del relleno en pasta a utilizar (3).
- Tesis titulada: “*Aplicación del relleno en pasta para reducir los costos operativos en la unidad minera Cerro Lindo*”. La investigación considera como objetivo principal, a un adecuado uso del relleno en pasta aplicados en diferentes cuerpos mineralizados presentes en la unidad minera (OB1 al OB7), optimizando los diferentes procesos unitarios con la finalidad de reducir los costos operacionales. El objetivo a cumplir, fue el incrementar el ritmo de producción y una adecuada utilización del relleno en pasta, definiendo en detalle la dosificación asociada, el cumplimiento de requerimiento por parte de planta de relleno, así como un dimensionamiento adecuado de los tajos a rellenar, manteniendo las condiciones de seguridad óptimas en la unidad minera (4).
- Tesis titulada: “*Diseño de dique tapón de desmonte para los tajeos sublevel stoping con relleno en pasta en la unidad minera Cerro Lindo de Nexa Resources Perú S.A.A.– 2020*”. El objetivo de la investigación fue realizar un análisis de la aplicación de diferentes tipos de diques tapón (madera, concreto, material detrítico, etc) aplicados en el uso de relleno en pasta en el método de minado *sublevel stoping*, considerando la estabilidad de los tajos rellenos y su

consecuente explotación de los tajos secundarios. El análisis realizado, define la aplicabilidad de los diques tapón de desmonte, considerando su uso inmediato y sus menores costos en el proceso unitario de relleno (5).

2.2 Generalidades de la unidad minera

2.2.1 Ubicación de la UM Cerro Lindo

Políticamente, la UM Cerro Lindo, ubicada en la quebrada de Topara, pertenece al distrito de Chavín, provincia de Chincha y departamento de Ica, en las coordenadas UTM: 8'554,400 N y 993,100 E.

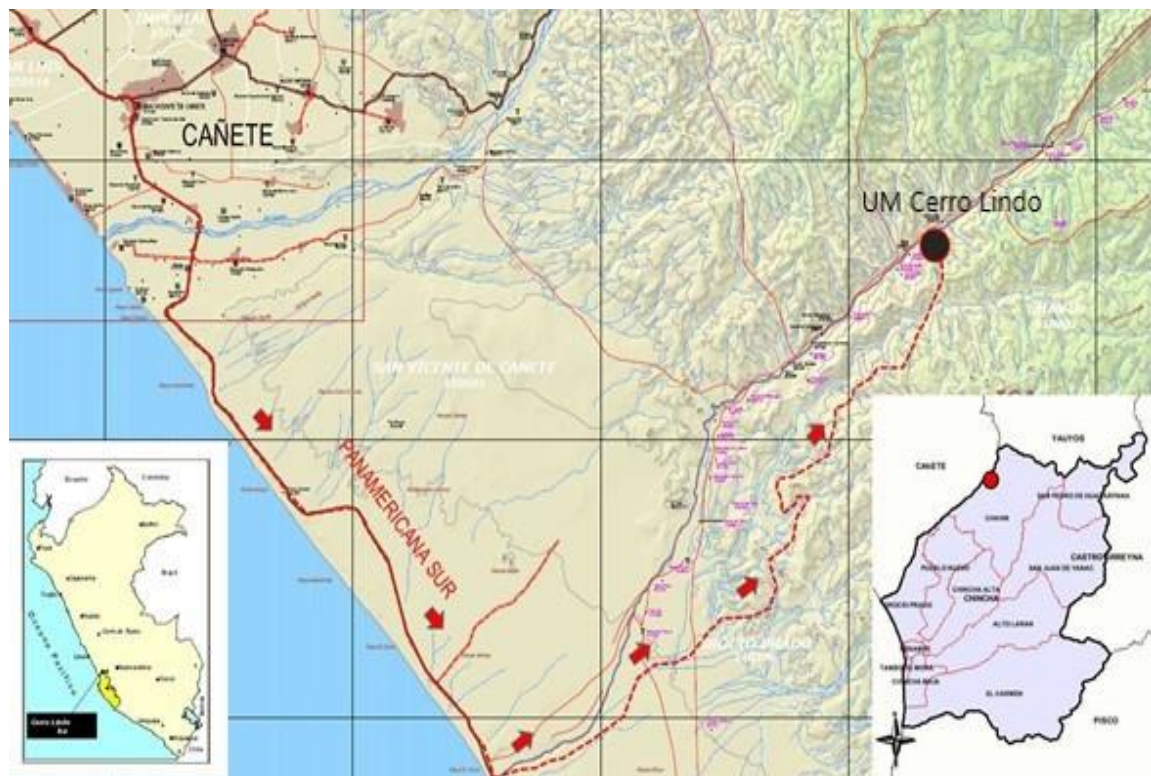


Figura 1. Ubicación de la UM Cerro Lindo
Tomada del Departamento de Geología

2.2.2 Accesibilidad a la UM Cerro Lindo

La mina Cerro Lindo, ubicada a 175 kilómetros al SE de la ciudad de Lima, y el acceso a la unidad minera es:

- a) Tramo Lima a UM Cerro Lindo (175 kilómetros): Lima – Jahuay (Chincha), carretera asfaltada con 280 kilómetros y Chincha – UM Cerro Lindo, trocha carrozable con 60 kilómetros.

Tabla 2. Accesibilidad a la UM Cerro Lindo

Tramo	Distancia	Tipo de vía	Tiempo
De Lima – Jahuay (Chincha)	175 kilómetros	Carretera asfaltada	3.0 horas
De Chincha a UM Cerro Lindo	60 kilómetros	Trocha carrozable	1.5 horas

Tomada del Departamento de Geología

2.3 Geología general

Regionalmente, está compuesta por rocas volcánicas y sedimentarias de la familia Huaranguillo del Cretáceo Inferior, siendo las areniscas, andesitas y calizas silicificadas la litología presente. Así mismo se observa la presencia de rocas intrusivas asociadas al batolito de la costa, compuesta por granodiorita, tonalita y diorita (familia Incahuasi) los que intruyeron gran parte de las rocas volcánicas y sedimentarias.

Localmente, el yacimiento Cerro Lindo está compuesto por rocas volcánicas de composición félsica (caja techo y caja piso) riolitas a riodacitas.

Asimismo, la presencia de rocas intrusivas (batolito de la costa – Cretáceo) principalmente granodioritas, están alrededor de los ambientes volcánicos sedimentarios como un *roof pendant*.

Durante la última etapa magmática, se observa diques tipo pórfido andesítico, los cuales cortan los diferentes ambientes litológicos, inclusive la granodiorita del batolito de la costa.

El yacimiento considerado como un VMS (volcanogenic massive sulphide), asociados principalmente a yacimientos tipo sulfuros masivos de Zn (Pb, Cu, Ag), está compuesta por cuerpos de diferentes dimensiones de rumbo NW y un buzamiento de 65° SW. Estructuralmente se observa diferentes lineamientos desde

NS, otros con rumbo NE y NW, y los últimos considerados tensionales de rumbo EW.

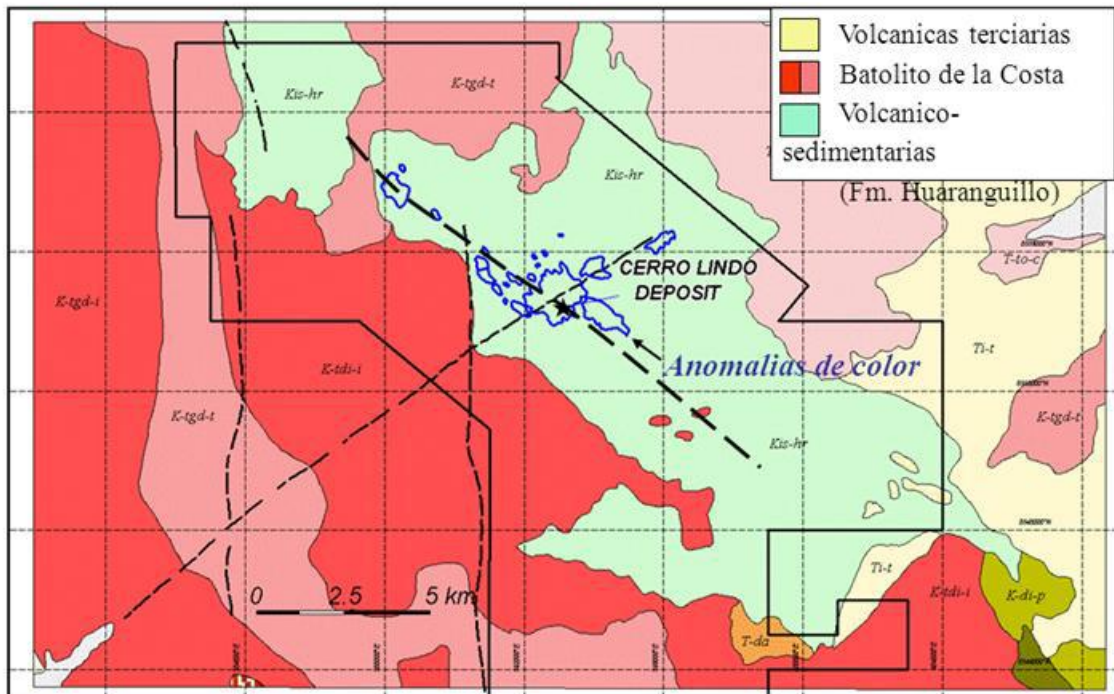


Figura 2. Tomada del Departamento de Geología
Tomada del Departamento de Geología

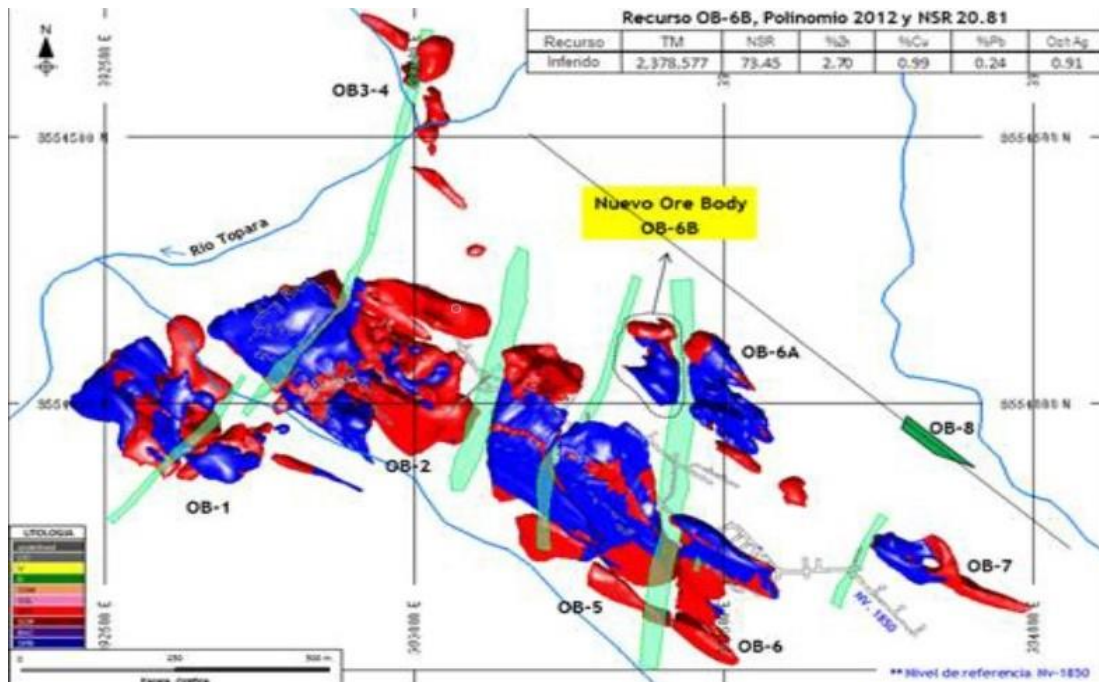


Figura 3. Ore body en la UM Cerro Lindo
Tomada del Departamento de Geología

2.3.1 Clasificación geomecánica

Para la clasificación geomecánica se utilizó los sistemas de clasificación RMR76 de Bieniawski (1976), Q de Barton (1973) y como complemento el Índice de Resistencia Geológica GSI (1994).

Tras la evaluación geomecánica en mineral, se estimó que el índice RMR varía entre 32 a 60, con un promedio de 50. El mineral está surcado por tres familias de discontinuidades predominantes.

En el cuadro siguiente, se muestran los parámetros geotécnicos para la evaluación de la voladura.

Tabla 3. Parámetros geomecánicos y geodinámicos de la roca, UM Cerro Lindo

Parámetro	Mineral SPP	Mineral SPB	Volcánico Cercano	Volcánico Lejano
RMR PROMEDIO	50	50	46	53
RQD	46	58	60	65
GSI	50	50	46	53
Resistencia a la compresión (MPa)	55	55	80	120
Densidad (t/m ³)	4.5	4.5	2.6	2.6
Módulo de elasticidad (GPa)	33	33	25	41
Velocidad de Onda P (m/s)	4102	4199	3593	3933
VELOCIDAD CRÍTICA SUECO (mm/s)	238	233	685	939
VELOCIDAD CRÍTICA CANMET (mm/s)	63	61	180	246

Tomada del Departamento de Geología

2.3.2 Relleno de mina

Para completar el ciclo de minado, los tajos son rellenados con pasta (mezcla de relave y cemento), el transporte del relleno a interior mina se hace mediante el uso de tuberías de fierro de 8" de diámetro con un espesor de 10mm (ASTM 56 SH-80), instalados en los pilotos perforados por el equipo Raise borer, el relleno precipita en la tubería, luego de un determinado número de horas de trabajo (18 hrs) poco a poco la tubería se va sedimentando, lo que obliga a realizar un lavado con agua y aire comprimido luego de un periodo continuo de 19/20 horas de utilización. Actualmente UMCL ha optado por rellenar los tajos con un contenido de cemento de 5 % hasta los primeros 6/7 metros de altura, luego el porcentaje de cemento

disminuye a 3 %. Para los tajeros terciarios (todos los tajeros contiguos están minados), se utiliza relleno detrítico obtenido de los frentes de avance. El porcentaje de relleno en pasta es de aproximadamente 83 % y detrítico 17 %.

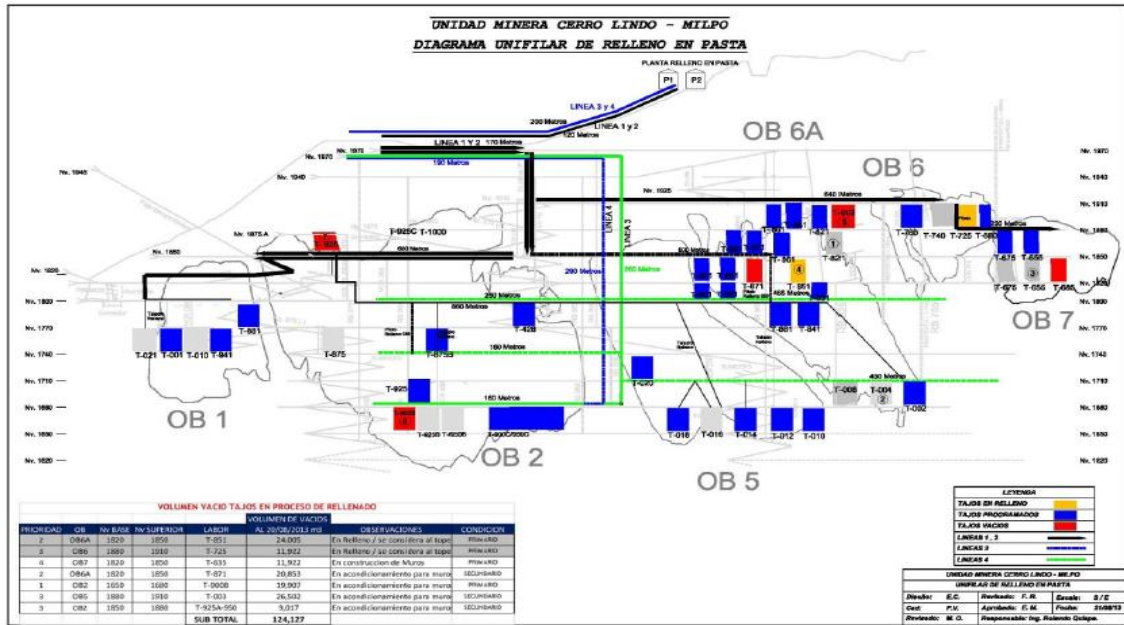


Figura 4. Diagrama unifilar de relleno en pasta, UM Cerro Lindo Tomada del Departamento de Planeamiento

En las siguientes figuras, se muestran los análisis de estabilidad de los taludes del relleno, posterior a la excavación del tajero secundario, donde se consideró que la densidad del relleno es 2.8 kg/cm³.

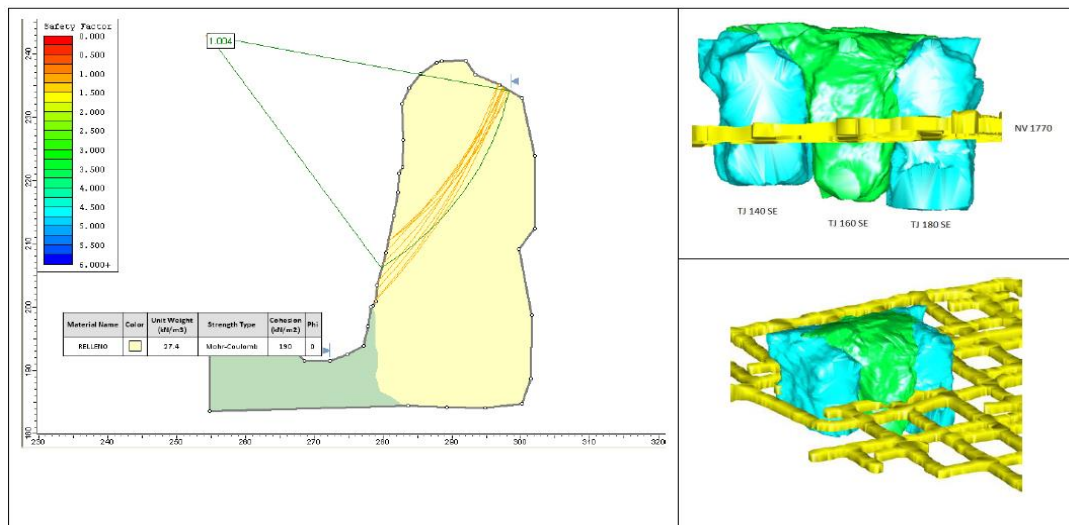


Figura 5. Retro análisis en el tajero TJ 16 SE, nivel Nv 1770. UM Cerro Lindo. Tomada del Departamento de Geomecánica

2.3.3 Ciclo de minado

El ciclo de minado, considerando el método de minado *sublevel stopping*, genera los procesos unitarios desde la perforación, voladura, ventilación, desate y limpieza, carguío y acarreo, sostenimiento y relleno.



**Figura 6. Ciclo de minado en la UM Cerro Lindo.
Tomada del Departamento de Planeamiento**

Para el cumplimiento del ciclo de minado en los diferentes frentes de producción en la unidad minera, aplicando el método de minado *sublevel stopping*, se considera de vital importancia el proceso unitario de relleno.

Cumplir con el proceso unitario de relleno en pasta aplicado a los diferentes tajos primarios minados, asume el tiempo de fraguado, la resistencia mínima (0.64 MPa), la dosificación asociada, etc., para poder continuar minando los tajos secundarios y terciarios, cumpliendo con los parámetros mínimos de seguridad.

El presente trabajo, utilizando el aditivo Immocem en el relleno en pasta, busca mejorar el tiempo de fraguado, disminución de uso de cemento y reducción de costos unitarios de relleno.

2.3.4 Consideraciones de producción de relleno

Durante los últimos años, se viene aplicando el uso de relleno en pasta en la unidad minera aplicando el método de minado *sublevel stoping*. Durante el periodo del 2014 al 2023, se considera un slump mínimo de 9.41 pulgadas y un máximo de 10.18 pulgadas. Asimismo, el rango de porcentaje de sólidos en los mismos años esta entre los rangos de 72.59 y 81.27 %, con un promedio del 77.66 % de sólidos. Asimismo, los m³ de relleno en pasta considerado durante los periodos 2014 al 2023, varían en promedio de 1,116,209 m³.

Tabla 4. Comportamiento del cemento en relleno en pasta, UM Cerro Lindo

COMPORTAMIENTO DEL CEMENTO EN RELLENO EN PASTA					
PERIODO 2014 - 2023					
AÑO	SLUMP (Pulg)	Sólidos (%)	M3	Relave (ton)	% CEMENTO
2,014	9.92	81	119,360	2,594	3.00
2,015	9.77	78	1,429,410	2,588	2.96
2,016	9.41	80	1,598,961	2,377	3.30
2,017	9.46	79	1,467,322	1,987	3.82
2,018	9.67	78	1,390,305	1,203	3.92
2,019	9.53	79	1,381,031	1,182	3.88
2,020	9.71	76	1,161,155	982	4.53
2,021	9.90	76	1,470,939	1,175	4.25
2,022	9.88	74	27,394	595	4.09
2,023	10.18	73	22,066	1,136	4.00
Promedio	9.67	77.66	1,116,209	1,631	3.94

Tomada del Departamento de Planeamiento

El porcentaje de cemento consumido durante el periodo 2014 al 2023, estuvo en el rango de 2.96 a 4.25 %, considerando un promedio de 3.94%. De acuerdo a los parámetros actuales se considera un *slump* entre 9 ½ a 9 ¾ pulgadas, y un porcentaje de cemento del 4 %, para mantener la estabilidad de los tajos primarios minados, así como asegurar la explotación de los tajos secundarios considerando una resistencia mínima de 0.64 MPa.

2.4 Bases teóricas

El trabajo de investigación a escala experimental permite el uso del aditivo Immocem en el relleno en pasta aplicado en los diferentes tajos minados por el método de minado *sublevel stoping*.


El presente estudio aplicará el uso del aditivo Immocem en relleno en pasta para controlar la resistencia óptima en los tajos rellenos, el cual dependerá en principio del tiempo de fraguado, con la mejora y cumplimiento de la resistencia mínima y la disminución en la cantidad de cemento. El estudio, se realizará como una prueba piloto en el tajo TJ 280, nivel NV 1710, del ore body OB 2B

En la unidad minera, la resistencia de los tajos rellenos debe llegar a los 0.64 Mpa, para abrir los tajos continuos (secundarios). Los objetivos de mantener la resistencia adecuada en tajos rellenos, está asociada a mantener la estabilidad de la mina durante el ciclo de minado, evitando hundimientos, realces, desprendimientos, etc.

2.4.1 Parámetros de diseño en relleno en pasta

Los parámetros de diseño en relleno en pasta consideran diferentes variables asociadas a mantener la estabilidad del macizo, luego de haber sido minado (tajos primarios), siendo estos: densidad de relave, porcentaje de sólidos en relave, densidad en pasta, cemento, granulometría de relave y slump.

Tabla 5. *Parámetros de diseño en relleno en pasta, UM Cerro Lindo*

RELLENO EN PASTA PROGRAMADO		
		
PARÁMETROS		
PARÁMETROS	VALORES	UNIDAD
Densidad relave	> 2350	Kg/m ³
Porcentaje de sólidos en relave	> 74	%
Densidad de pasta	> 2450	Kg/m ³
Porcentaje de sólidos de pasta	> 80	%
Cemento	4.0	%
Granulometría de relave	45 - 48	% Malla - 200
Slump	9 1/2 - 9 3/4	Pulgadas

Tomada del Departamento de Geomecánica

Los resultados conseguidos mediante la aplicación del reactivo Immocem en relleno en pasta considera el análisis del uso de cemento presente en 4.0% (de acuerdo a diseño) y será comparado con el escenario con aditivo.

2.4.2 Proceso de relleno en pasta

El proceso de relleno en pasta se inicia en la planta considerando que la pulpa espesada fluye por gravedad desde el Espesador (22 metros) en el nivel 2112 msnm hacia el tanque agitador que disminuye mediante válvulas automáticas con sensor de nivel a los tanques Holding Tank de cada planta (N° 1 y 2) y esta alimenta al distribuidor de filtro banda en la planta de pasta, ubicada en el nivel 1973 m s. n. m., la planta de relleno filtra el relave y adiciona el cemento de 3 a 5 % y es bombeada a interior mina.



**Figura 7. Proceso de relleno en pasta, UM Cerro Lindo
Tomada del Departamento de Planeamiento**

El relleno en pasta es un fluido no newtoniano, con alta concentración de sólidos (80% - 82%) producto de la mezcla de relave + cemento + agua para obtener una muestra con valores de resistencia a la compresión uniaxial a un determinado tiempo de fraguado.

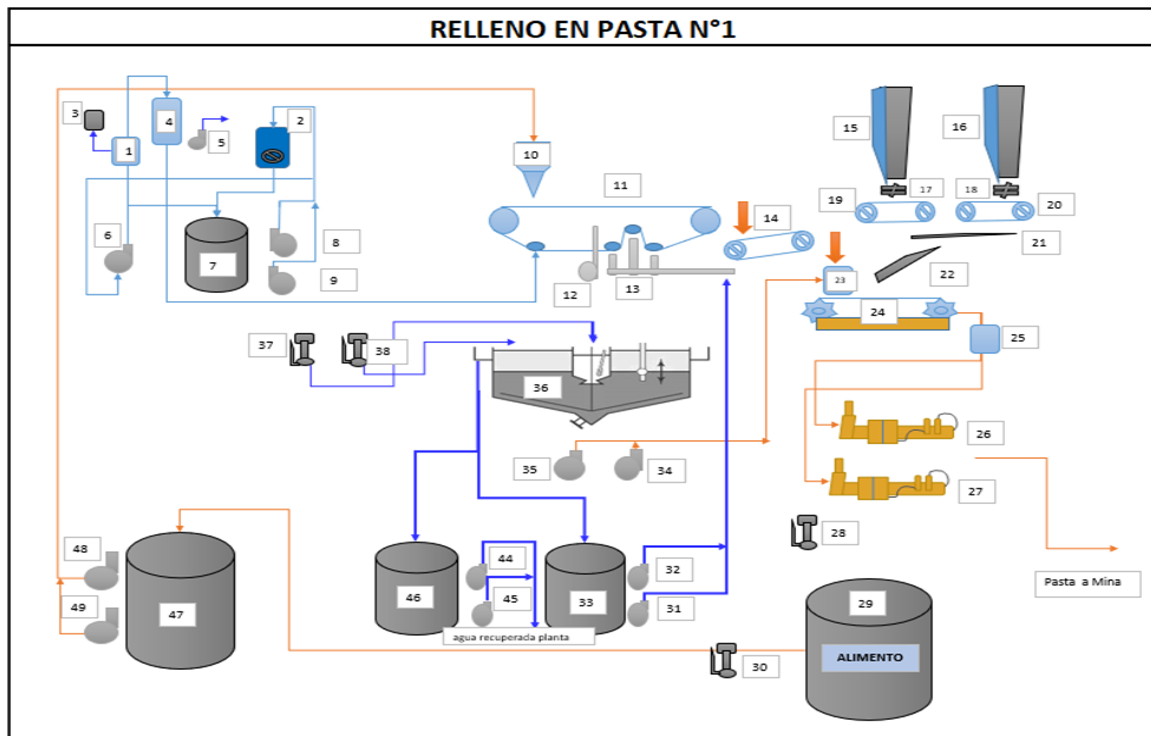
En Cerro Lindo, la resistencia del relleno debe alcanzar los 0.64 Mpa de resistencia para la apertura de tajos secundarios con dimensiones entre los 30 x 30 m de cara expuesta al relleno.

El mantener la resistencia de los tajos minados permitirá el cumplimiento del tiempo de fraguado con las resistencias adecuadas para continuar con el ciclo de minado en la unidad minera.

a) Proceso de relleno en pasta

El proceso de relleno en pasta considera las siguientes etapas:

- ✓ Ingreso de relave al tanque de recepción.
- ✓ Ingreso de relave al Holding tank.
- ✓ Ingreso de relave al filtro de banda.
- ✓ Transporte del keke en faja cake.
- ✓ Mezclado de pasta en mixer.
- ✓ Envío de pasta a mina.



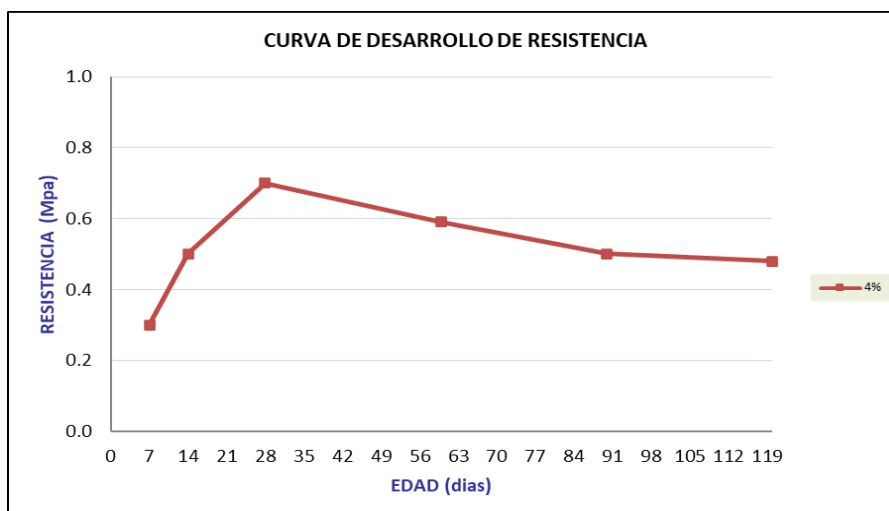
**Figura 8. Flow sheet de relleno en pasta, UM Cerro Lindo
Tomada del Departamento de Planeamiento**



**Figura 9. Planta de relleno en pasta, UM Cerro Lindo
Tomada del Departamento de Planeamiento**

b) Resistencia del relleno en pasta

Para el secuenciamiento dentro del *sublevel stopping*, la resistencia de la pasta debe alcanzar 0.64 Mpa a los 28 días de fraguado, con un diseño de 4 % de cemento, tanto para tajos primarios, secundarios. Para tajos terciarios, estos pueden tener una resistencia de 0 Mpa.



**Figura 10. Curva de desarrollo de resistencia de relleno en pasta, UM Cerro Lindo
Tomada del Departamento de Planeamiento**

2.4.3 Consideraciones de producción histórica de relleno en pasta

Durante los últimos años del 2019 al 2021, hubo un consumo de relleno en pasta de 1,438 kilo metros cúbicos (km^3) durante el periodo del 2018, siendo para los otros periodos el consumo de 1,451; 1,235 y 1,534 km^3 de relleno en pasta para los periodos 2019, 2020 y 2021.

Este mayor incremento del consumo de relleno en pasta, se relaciona directamente al incremento de producción, producto de mayores tajos (primarios) minados y su subsecuente relleno.

Los valores promedio considera llegar a parámetros operacionales que inciden directamente en los diferentes procesos unitarios de mina, siendo estos durante el periodo del 2019 al 2021: densidad promedio de 2.35 kg/m^3 , resistencia promedio de 0.51 MPa y un consumo de cemento de 87 kg/m^3 .



Figura 11. Producción de relleno en pasta, periodo 2019 al 2021, UM Cerro Lindo Tomada del Departamento de Planeamiento

Durante el periodo 2022, el consumo de relleno en pasta se programó un total de 1,620,000 m^3 (135,000 m^3 por mes) y considerando un porcentaje programado de cemento de 3.59 %.

El total de relleno en pasta ejecutado fue de 1,621,521 m³ y un promedio de porcentaje de cemento de 4.09 %.

La variabilidad de m³ y porcentaje de cemento está relacionado a las diferentes condiciones de estabilidad del macizo rocoso en tajos primarios minados y su análisis de resistencia adecuada para la apertura de los tajos secundarios.

Tabla 6. Producción de relleno en pasta, periodo 2022, UM Cerro Lindo

PRODUCCIÓN DE RELLENO EN PASTA								
AÑO 2022								
Mes	Densidad (gr/lt)	Porc Solidos(%)	% Cemento Ejecutado	Slump (pulg) Ejecutado	M3 Relleno Ejecutado	M3 Relleno Programado	% Cemento Programado	Consumo Cemento Programado (Ton)
Enero	2,350	74.3	3.65	10.12	132,225	135,000	3.59	12,420
Febrero	2,291	73.0	4.19	9.96	124,741	135,000	3.59	12,420
Marzo	2,292	72.0	3.94	9.92	125,148	135,000	3.59	12,420
Abril	2,422	76.2	3.93	9.95	138,149	135,000	3.59	12,420
Mayo	2,388	74.5	4.22	9.88	126,837	135,000	3.59	12,420
Junio	2,373	75.1	3.93	9.60	132,757	135,000	3.59	12,420
Julio	2,359	73.7	4.23	9.80	127,206	135,000	3.59	12,420
Agosto	2,342	74.4	4.37	9.71	134,660	135,000	3.59	12,420
Setiembre	2,281	72.9	4.31	9.98	139,904	135,000	3.59	12,420
Octubre	2,334	74.2	4.25	9.90	133,249	135,000	3.59	12,420
Noviembre	2,365	74.8	4.22	9.76	145,651	135,000	3.59	12,420
Diciembre	2,399	75.7	3.87	10.01	160,994	135,000	3.59	12,420
Prom.	2,350	74.2	4.09	9.88	135,127	135,000	3.59	12,420
Total					1,621,521.35	1,620,000.00	3.59	161,460

Tomada del Departamento de Planeamiento

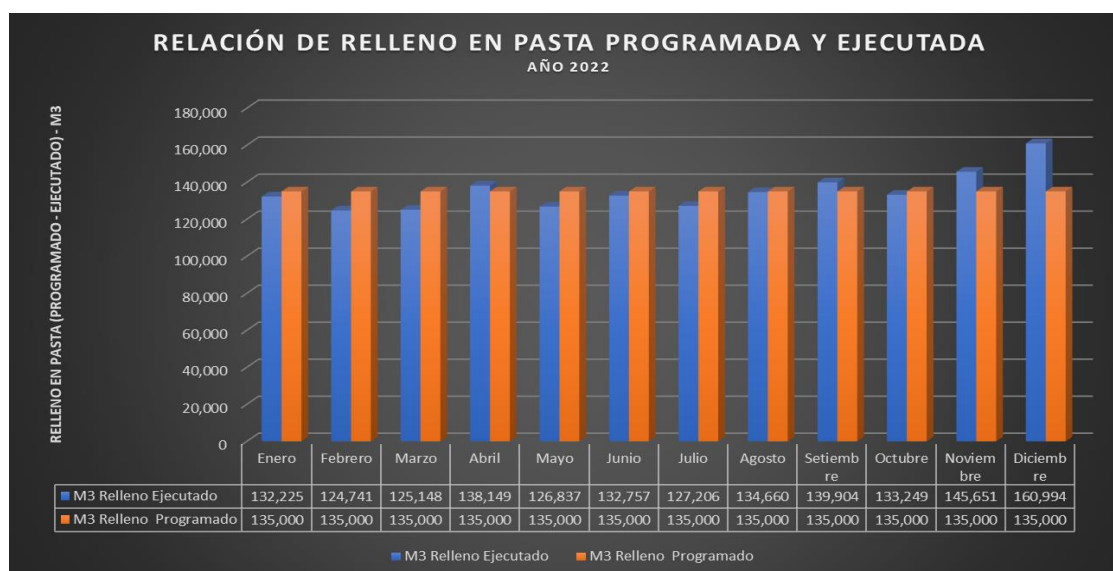


Figura 12. Relación de relleno en pasta programada y ejecutada, año 2022
Tomada del Departamento de Planeamiento

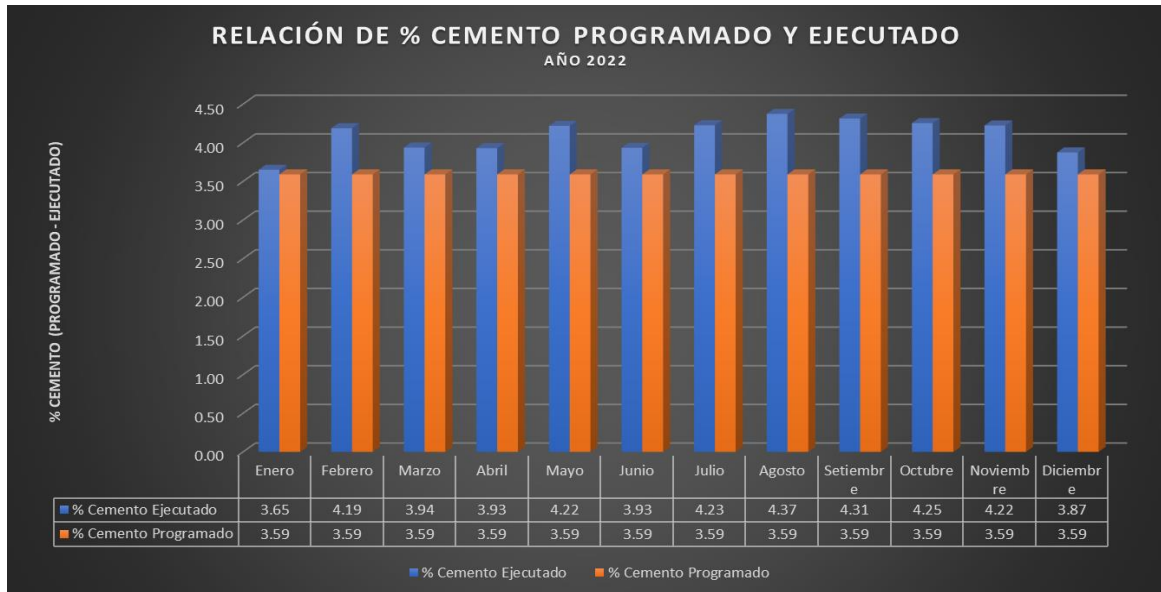


Figura 13. Relación de % cemento programado y ejecutado, año 2022
Tomada del Departamento de Planeamiento

De acuerdo a los resultados obtenidos durante el periodo 2022, se considera un incremento de relleno en pasta de 1,521.35 m³, considerando una densidad promedio de 2,350 kg/m³, con un porcentaje de sólidos de 74.2 % y un *slump* promedio de 9.88 pulgadas.

2.4.4 Relleno en pasta con aditivo ImmoCem

Las características del aditivo ImmoCem, considera las siguientes características:

➤ Nombre de la sustancia:
ImmoCem PowerCem.

➤ Descripción:

ImmoCem es un polvo compuesto por zeolitas naturales y artificiales, entre otros químicos, que brinda la posibilidad de inmovilizar desechos y sanear lugares contaminados, este polvo es reactivo y se activa para actuar como aglutinante, convirtiendo los tóxicos industriales y los residuos radiactivos en materiales inofensivos que pueden ser reutilizados como materiales de construcción seguros para el medio ambiente y para los seres vivos; ImmoCem también puede ser

mezclado por diversas sustancias sin ser alterado en sus estructuras y producir resultados positivos.

➤ Ventajas:

- ✓ Lograr que los suelos se estabilicen.
- ✓ Reduce el tiempo y la etapa de fraguado de los materiales.
- ✓ Puede ser colocado con lluvia y con suelos saturados de humedad.
- ✓ Mayor trabajabilidad en los materiales premezclados. (0.64 MPa)

La razón principal de su uso es mejorar las propiedades específicas de diferentes materiales de relleno, en particular en la minimización y optimización de los requisitos de aglutinante de agua y cemento para una trabajabilidad y resistencia definidas y consistentes. Durante las operaciones actuales de relleno, estas mezclas también pueden usarse para mejorar las características de caída y flujo material; reduciendo de este modo las presiones de la bomba y de la línea requeridas. También pueden mejorar en general la estabilidad del material de relleno, reduciendo el riesgo de segregación y bloqueos de línea. Los aditivos de relleno se utilizan para relleno de pasta cementada (PASTEFILL), relleno hidráulico cementado (CHF) y relleno de piedra cementada (CRF), todos los tipos principales de materiales de relleno de minas de hoy en día.

Durante el proceso de uso del aditivo Immocem en el relleno en pasta, uno de los parámetros a ser comparados es el tiempo de fraguado, considerando la resistencia mínima para seguir minando los tajos secundarios.

El fraguado del tajo consiste en el secado automático que tiene el material, el cual depende de las condiciones ambientales y del uso adecuado, el tiempo que puede tomar un fraguado para poder minar un tajo contiguo es de mínimo 28 días y si se pudiera reducir este tiempo sería un beneficio óptimo para el proceso de producción, considerando una resistencia de 0.64 MPa.

El estudio realizado en la presente tesis, permitirá realizar el comparativo de uso de relleno en pasta con aditivo Immocem y sin aditivo. Así mismo, la adición del

aditivo permitirá la reducción del porcentaje de cemento, menor tiempo de fraguado y manteniendo la resistencia adecuada del relleno en pasta.

Las diferentes pruebas realizadas con y sin aditivo Immocem considera, diferentes análisis a escala laboratorio como: densidad de relave, prueba de resistencia a la compresión, prueba del *slump*, etc.



Figura 14. Análisis de densidad de relave.



Figura 15. Análisis de peso del relave



Figura 16. Análisis del peso del aditivo Immocem



Figura 17. Mezcla del aditivo Immozem y cemento



Figura 18. Prueba del slump antes de la toma de la muestra



Figura 19. Muestras tomadas para el ensayo de resistencia

2.4.5 Procedimientos para la operación de relleno en la UM Cerro Lindo

Para poder explicar el proceso que se sigue en la operación del relleno en pasta se ha tomado como referencia los procedimientos escritos de trabajo de la unidad minera Cerro Lindo 2022.

- Preparación de equipos y material

El personal de la planta de relleno debe verificar que haya material suficiente para 12 horas de operación continua, que el equipo esté en buenas condiciones electromecánicas y que la tubería de superficie esté conectada a la salida de la bomba Putzmeister para bombear el relleno en pasta hacia la chimenea posteriormente se rellenan los tajos.

a) Inspeccionar y delimitar el área de trabajo

- ✓ Visualmente y utilizando los EPP completos evaluar las condiciones de peligro, usando y rellenando las herramientas de gestión de seguridad (IPERC, orden de trabajo, liberación de área de trabajo, etc.).

- ✓ Delimitar el área de trabajo en el nivel superior del tajo (punto de descarga) y sus accesos, y en el nivel inferior del tajo (muros y/o diques) usando banderolas de acuerdo con el protocolo de relleno de tajo.

b) Inspeccionar el punto de descarga y línea de tubería del tajo en relleno:

- ✓ Verificar que el nivel superior del tajo a llenar tenga iluminación y que se instale una barrera rígida para llenar el tajo vacío.
- ✓ Verificar que exista un muro de seguridad de al menos 1 metro de altura que cubra el ancho de la parte adyacente del tajo a rellenar.
- ✓ En el nivel superior del tajo, se verifica las tuberías y sus accesorios instalados colocados antes de la guía en la malla rígida para bloquear el llenado del tajo.
- ✓ Se verificará que no haya fugas de relleno en la instalación de tuberías, en caso haya alguna fuga de relleno, se coordinará con el supervisor para realizar las correcciones de los componentes donde se tuvo la fuga de relleno, o de ser el caso se realizará el cambio de línea.
- ✓ En caso no se cuente con iluminación para la punta de descarga el personal no realizará el control de relleno del tajo en la punta de descarga, y solo inspeccionará la línea de tubería hasta 3 metros antes de la malla rígida de bloqueo
- ✓ En caso se realice el control de relleno de TOPEO DE UN TAJO el maestro mina verificará el rellenado desde antes de la cresta del dique y tendrá una banderola delimitando el área de trabajo.

c) Tomar muestra y control de densidad en la punta de descarga:

De acuerdo con el PETS análisis granulométrico, el laboratorista sacará la muestra haciendo uso del cucharón metálico el cual luego se colocará en las probetas para obtener el resultado de la densidad de relleno se utiliza la balanza Marcy.

d) Inspeccionar los diques tapón:

- ✓ Visualmente manteniendo la distancia adecuada (no menor a 5 metros) sin exponerse a la línea de fuego se inspeccionará en los muros que no haya una posible fuga de relleno.

- ✓ Visualmente se inspeccionará el relleno en su primera etapa ingresando hasta la cresta del dique, posterior en la segunda etapa cuando el dique se haya enmallado se visualizará manteniendo la distancia adecuada de no menor a 5 metros del dique para no exponerse a la línea de fuego.

e) Lavar la línea de tuberías de relleno:

Previa coordinación con los operadores de planta y supervisión por radio, se realizará la coordinación para el inicio de secuencia de parada, luego se enviará agua y aire a presión para limpiar la tubería a lo que se llama “soplado de línea”, posteriormente el personal se ubicará en un lugar adecuado para verificar el lavado (soplado de línea), una vez que se haya soplado el personal comunicará por radio al operador de planta que podrá enviar el relleno al nuevo tajo que se rellenará. El puntero se dirigirá al nuevo tajo que se va a rellenar, indicará al operador de planta realice el soplado de línea para inicio de relleno de nuevo tajo, luego se repetirá el proceso.

f) Retirar los bloqueos de los muros o diques

Cuando se culmina y/o para por fraguado el relleno del tajo se recoge los bloqueos de los muros o diques y punto de descarga.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Método y alcances de la investigación

3.1.1 Método de la investigación

El desarrollo de la presente tesis es aplicada, de un nivel explicativo, el que analiza el uso del aditivo Immocem en el relleno en pasta para la mejora del tiempo de fraguado y resistencia asociada al TJ 280, Nv 1710.

a) Método general

El trabajo usa el método inductivo y deductivo, donde las variables analizadas ayudaron a entender el uso del aditivo Immocem y su influencia en el relleno en pasta.

b) Métodos específicos

Los parámetros operacionales a ser analizados en el uso de relleno en pasta con aditivo Immocem es el tiempo de fraguado, la resistencia *slump* y la influencia económica, para lo cual se determinó:

- ✓ Recopilación de informes previos. Se utilizó data asociada a las áreas de geología, geomecánica, planeamiento y planta de la UM Cerro Lindo.

- ✓ Trabajo de campo. Para el desarrollo del trabajo de investigación, se considera las diferentes pruebas de resistencia de relleno en pasta, producto de las probetas obtenidas en el tajo analizado.
- ✓ Trabajo de gabinete. De acuerdo a los resultados obtenidos, mediante el uso del aditivo Immocem en relleno en pasta, se realizará los comparativos asociados al tiempo de fraguado, resistencia asociada, *slump* y costo asociado.
- ✓ Resultados. Con los resultados obtenidos en los escenarios con y sin aditivo Immocem en relleno en pasta se realizará el análisis comparativo del tiempo de fraguado, resistencia y consumo de cemento.

3.1.2 Alcances de la investigación

La investigación es del tipo aplicada, donde se compara las variables operacionales considerando el uso del aditivo Immocem en relleno en pasta, y relacionar el tiempo de fraguado, la resistencia asociada y el consumo de cemento en ambos escenarios.

3.2 Diseño de la investigación

La investigación es descriptiva, por lo que se analiza, se interpreta y se valida la hipótesis planteada, considerando el uso del aditivo Immocem en el relleno en pasta.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

Relacionado directamente a los diferentes frentes de producción de la UM Cerro Lindo.

3.3.2 Muestra

Se considera el estudio del tajo TJ 280 en el nivel NV 1710, del OB 2B.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

- ✓ Observación in situ en el TJ 280
- ✓ Observación de parámetros operacionales a escala de laboratorio

- ✓ Observación del tiempo de fraguado
- ✓ Observación de la dosificación de relleno en pasta con aditivo Immocem.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- ✓ Tablas de registro de tiempo de fraguado.
- ✓ Ficha de información de resistencia.
- ✓ Aplicación de plantilla Excel.
- ✓ Información bibliográfica asociada al aditivo Immocem.
- ✓ Información de internet y otros

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue analizar la incidencia del aditivo Immocem en el relleno en pasta en el tajo TJ 280, nivel Nv 1710, realizando el análisis del tiempo de fraguado, así como la resistencia asociada, considerando un menor consumo de cemento, para continuar minando los tajos secundarios, en la UM Cerro Lindo.

Las variables operacionales analizadas, producto del uso del aditivo Immocem serán comparadas en los tajos TJ 280 (con aditivo) y el tajo TJ 260 (sin aditivo).

4.1 Parámetros iniciales de operación

Los parámetros iniciales de operación en los tajos estudiados fueron: densidad de relave, *slump*, volumen de relleno, % cemento y % de aditivo Immocem en el tajo TJ 280, Nv 1710.

Los parámetros iniciales de diseño del relleno en pasta en la UM Cerro Lindo, consideran:

- ✓ Densidad en pasta: $> 2,450 \text{ kg/m}^3$
- ✓ Cemento: 4 %
- ✓ Slump: $9 \frac{1}{2}$ a $9 \frac{3}{4}$

Las variables operacionales de diseño TJ 280 sin aditivo consideran los siguientes parámetros:

Tabla 7. Parámetros de relleno en pasta, sin aditivo UM Cerro Lindo

Densidad	2400 kg/m ³
Slump	9 ¼ - 9 ½
Volumen	5300 m ³
Cemento	5% para pasar los primeros 6 metros 5% hasta culminar el tajo.

Las variables operacionales del tajo TJ 280, con aditivo Immocem consideran los siguientes parámetros:

Tabla 8. Parámetros de relleno en pasta, con aditivo Immocem, UM Cerro Lindo

Densidad	2400 kg/m ³
Slump	9 ¼ - 9 ½
Volumen	5000 m ³
Cemento	1.5 % para pasar los primeros 6 metros 1.5 % hasta culminar el tajo.
Aditivo innocem	2.3%

Así mismo, las variables operacionales de diseño de relleno en pasta, en el área de estudio considera los siguientes parámetros:

Tabla 9. Parámetros de diseño de relleno en pasta, UM Cerro Lindo

RELLENO EN PASTA PROGRAMADO		
nexa		
PARÁMETROS		
PARÁMETROS	VALORES	UNIDAD
Densidad relave	> 2350	Kg/m ³
Porcentaje de solidos en relave	> 74	%
Densidad de pasta	> 2450	Kg/m ³
Porcentaje de sólidos de pasta	> 80	%
Cemento	4.0	%
Granulometría de relave	45 - 48	% Malla - 200
Slump	9 1/2 - 9 3/4	Pulgadas



Figura 20. Plano en planta, esquema de tajeos en el Nv 1710 en la UM Cerro Lindo Tomada del Departamento de Planeamiento

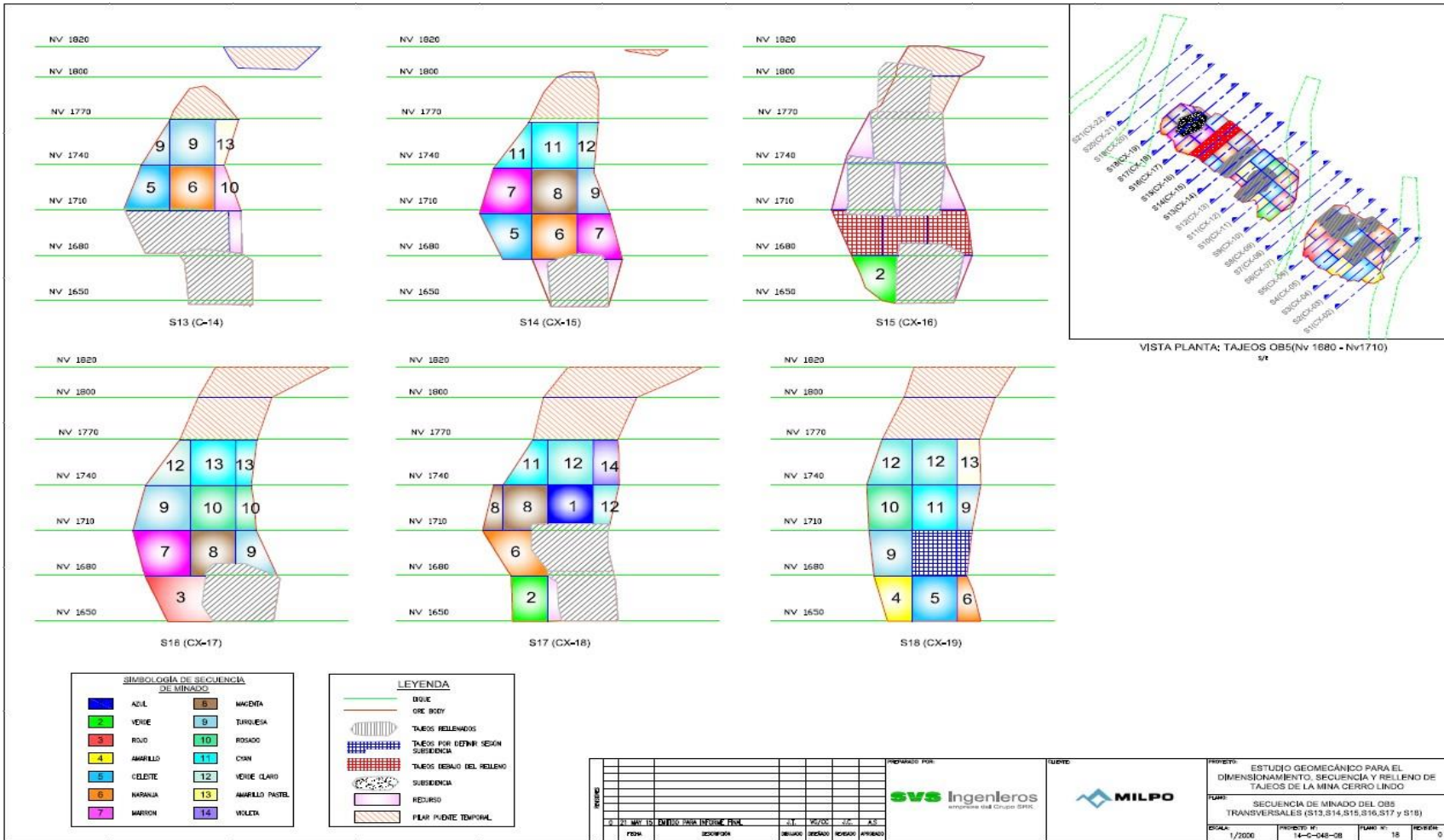


Figura 21. Sección de los tajeos en el Nv 1710 en la UM Cerro Lindo Tomada del Departamento de Planeamiento

4.2 Análisis de la relación cemento, aditivo y tiempo de fraguado

En la unidad minera, la resistencia de los tajos rellenos debe llegar a los 0.64 Mpa, para abrir los tajos continuos (secundarios). Los objetivos de mantener la resistencia adecuada en tajos rellenos, está asociada a mantener la estabilidad de la mina durante el ciclo de minado, evitando hundimientos, realces y desprendimientos, etc.

El presente estudio, aplicará el uso del aditivo Immocem en relleno en pasta para controlar la resistencia óptima en los tajos rellenos, el cual dependerá en principio del tiempo de fraguado, con la mejora y cumplimiento de la resistencia mínima y la disminución en la cantidad de cemento.

Para entender el comportamiento del relleno en pasta con el aditivo Immocem, se considera el análisis en 3 escenarios, considerando solo cemento, solo aditivo y aditivo más cemento en el tajo TJ 280, nivel NV 1710 del cuerpo mineralizado OB2, siendo los parámetros analizados: el tiempo de fraguado, resistencia asociada al tiempo de fraguado y los costos asociados con un menor consumo de cemento, considerando la continuidad del ciclo de minado en los tajos secundarios.

Los parámetros técnicos considerados durante el estudio a ser comparados con los resultados, serán:

- ✓ Porcentaje de cemento: 4 %
- ✓ Tiempo de fraguado a comparar: 14 días
- ✓ Resistencia mínima: 0.64 Mpa

a) Tiempo de fraguado considerando solo el cemento

El tiempo de fraguado teniendo en cuenta solo el cemento durante el mes de julio a noviembre, se consideró en la etapa de relleno, durante el inicio del tajo. Las variables analizadas fueron el tiempo de fraguado, slump y % de sólidos.

El análisis del tiempo de fraguado, considera el análisis en diferentes tiempos como: 7 días, 14 días, 28 días, 60 días, 90 días y 120 días.

Tabla 10. Tiempo de fraguado, resistencia, slump y % de sólidos de relleno en pasta con cemento

TIEMPO DE FRAGUADO, RESISTENCIA, SLUMP y % SÓLIDOS

TAJO 280 - CON CEMENTO

Mes	Muestra	Fecha de Muestra	Fecha de rotura	labor	Nivel	OB	Edad (días)	Mpa	% cemento	Densidad salida	Slump	%sólidos salida	%humedad de salida
Julio	1	23/07/2022	30/07/2022	TJ -260	1710	2B	7	0.48	3	2350	9 1/2	78	22
Julio	2	23/07/2022	30/07/2022	TJ -260	1710	2B	7	0.48	3	2350	9 1/2	78	22
Julio	1	23/07/2022	30/07/2022	TJ -260	1710	2B	7	0.62	5	2390	9 1/2	80	20
Julio	2	23/07/2022	30/07/2022	TJ -260	1710	2B	7	0.62	5	2390	9 1/2	80	20
Julio	1	23/07/2022	30/07/2022	TJ -260	1710	2B	7	0.27	1.5				
Julio	2	23/07/2022	30/07/2022	TJ -260	1710	2B	7	0.29	1.5				
Agosto	1	23/07/2022	06/08/2022	TJ -260	1710	2B	14	0.59	3	2350	9 1/2	78	22
Agosto	2	23/07/2022	06/08/2022	TJ -260	1710	2B	14	0.59	3	2350	9 1/2	78	22
Agosto	1	23/07/2022	06/08/2022	TJ -260	1710	2B	14	0.71	5	2390	9 1/2	80	20
Agosto	2	23/07/2022	06/08/2022	TJ -260	1710	2B	14	0.71	5				
Agosto	1	23/07/2022	06/08/2022	TJ -260	1710	2B	14	0.30	1.5				
Agosto	2	23/07/2022	06/08/2022	TJ -260	1710	2B	14	0.31	1.5	2390	9 1/2	80	20
Agosto	1	23/07/2022	20/08/2022	TJ -260	1710	2B	28	0.46	3	2350	9 1/2	78	22
Agosto	2	23/07/2022	20/08/2022	TJ -260	1710	2B	28	0.46	3	2350	9 1/2	78	22
Agosto	1	23/07/2022	20/08/2022	TJ -260	1710	2B	28	0.68	5	2390	9 1/2	80	20
Agosto	2	23/07/2022	20/08/2022	TJ -260	1710	2B	28	0.68	5	2390	9 1/2	80	20
Agosto	1	23/07/2022	20/08/2022	TJ -260	1710	2B	28	0.28	1.5				
Agosto	2	23/07/2022	20/08/2022	TJ -260	1710	2B	28	0.29	1.5				
Setiembre	1	23/07/2022	22/09/2022	TJ -260	1710	2B	60	0.44	3	2350	9 1/2	78	22
Setiembre	2	23/07/2022	22/09/2022	TJ -260	1710	2B	60	0.44	3	2350	9 1/2	78	22
Setiembre	1	23/07/2022	22/09/2022	TJ -260	1710	2B	60	0.6	5	2390	9 1/2	80	20
Setiembre	2	23/07/2022	22/09/2022	TJ -260	1710	2B	60	0.6	5	2390	9 1/2	80	20
Setiembre	1	23/07/2022	22/09/2022	TJ -260	1710	2B	60	0.26	1.5				
Setiembre	2	23/07/2022	22/09/2022	TJ -260	1710	2B	60	0.27	1.5				
Octubre	1	23/07/2022	22/10/2022	TJ -260	1710	2B	90	0.43	3	2350	9 1/2	78	22
Octubre	2	23/07/2022	22/10/2022	TJ -260	1710	2B	90	0.43	3	2350	9 1/2	78	22
Octubre	1	23/07/2022	22/10/2022	TJ -260	1710	2B	90	0.6	5	2390	9 1/2	80	20
Octubre	2	23/07/2022	22/10/2022	TJ -260	1710	2B	90	0.6	5	2390	9 1/2	80	20
Octubre	1	23/07/2022	22/10/2022	TJ -260	1710	2B	90	0.25	1.5				
Octubre	2	23/07/2022	22/10/2022	TJ -260	1710	2B	90	0.23	1.5				
Noviembre	1	23/07/2022	22/11/2022	TJ -260	1710	2B	120	0.42	3	2350	9 1/2	78	22
Noviembre	2	23/07/2022	22/11/2022	TJ -260	1710	2B	120	0.42	3	2350	9 1/2	78	22
Noviembre	1	23/07/2022	22/11/2022	TJ -260	1710	2B	120	0.58	5	2390	9 1/2	80	20
Noviembre	2	23/07/2022	22/11/2022	TJ -260	1710	2B	120	0.58	5	2390	9 1/2	80	20

Tabla 11. Resumen de tiempo de fraguado, resistencia, slump y % sólidos con cemento

RESUMEN DEL TIEMPO DE FRAGUADO, RESISTENCIA Y % SÓLIDOS - RELLENO EN PASTA

TAJO 280 - CON CEMENTO

labor	Nivel	OB	Edad (días)	Resistencia (Mpa)	% cemento	Densidad salida	Slump	% Sólidos salida	%humedad de salida
TJ -260	1710	2B	7	0.46	3.17	2370	9 1/2	79	21
TJ -260	1710	2B	14	0.54	3.17	2370	9 1/2	79	21
TJ -260	1710	2B	28	0.48	3.17	2370	9 1/2	79	21
TJ -260	1710	2B	60	0.44	3.17	2370	9 1/2	79	21
TJ -260	1710	2B	90	0.42	3.17	2370	9 1/2	79	21
TJ -260	1710	2B	120	0.41	3.17	2370	9 1/2	79	21
PROMEDIO - TOTAL				0.46	3.17	2370	9 1/2	79	21

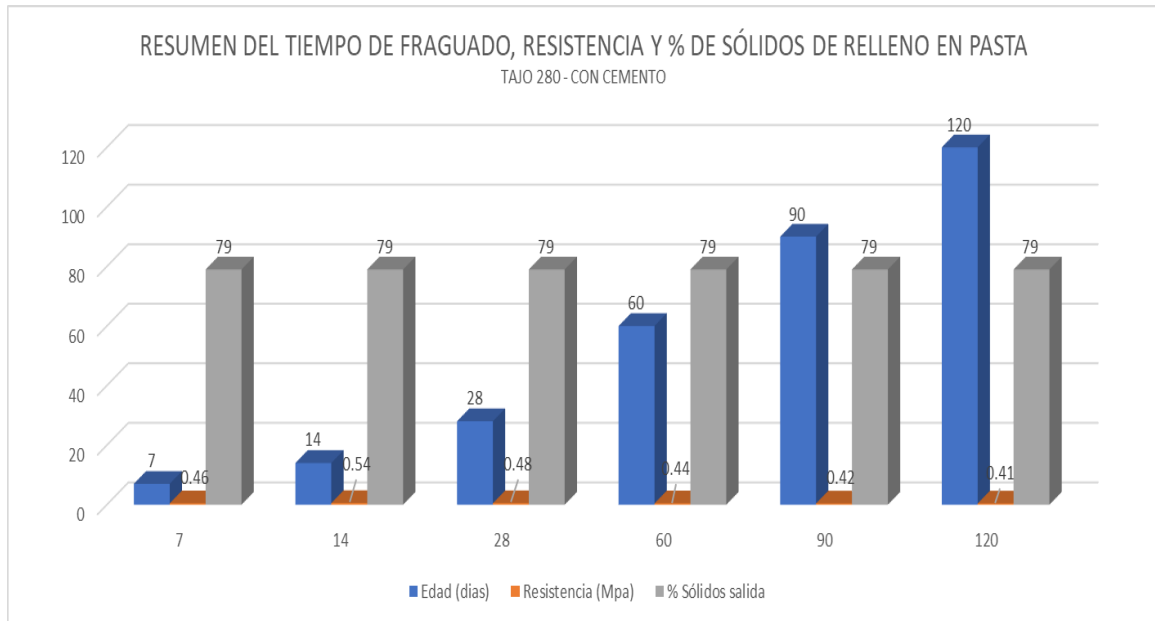


Figura 22. Relación tiempo de fraguado, resistencia y % sólidos con cemento

El resultado obtenido teniendo en cuenta el relleno en pasta con un porcentaje de cemento de 3.17 %, considera valores de acuerdo al tiempo de fraguado siendo estos: para 7 días una resistencia de 0.46 Mpa, para 14 días una resistencia de 0.54 Mpa, para 28 días una resistencia de 0.48 Mpa, para 60 días una resistencia de 0.44 Mpa, para 90 días una resistencia de 0.42 Mpa y para 120 días una resistencia de 0.41 días.

Para estos resultados, se considera valores promedio de 3.17 % de cemento, con una resistencia promedio de 0.46 Mpa, densidad de salida con 2370 kg/m³, con un *slump* de 9 ½ pulgadas, un porcentaje de sólidos del 79 % y un porcentaje de humedad del 21 %.

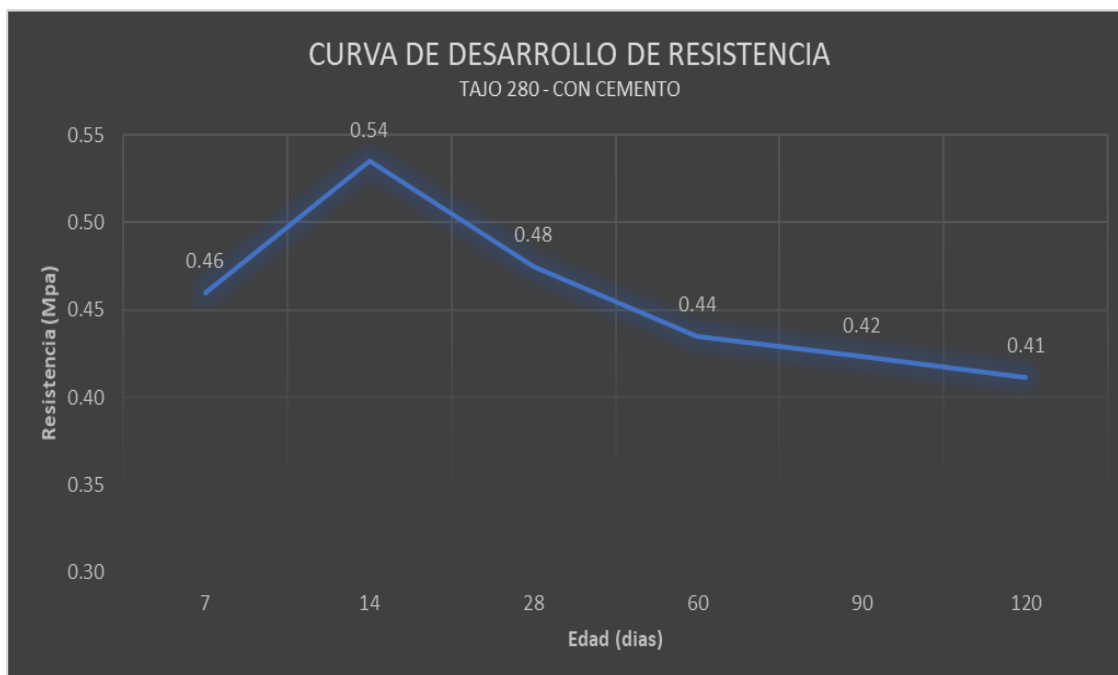


Figura 23. Curva de desarrollo de resistencia con el tiempo de fraguado con cemento

De acuerdo a los resultados obtenidos, teniendo en cuenta el tiempo de fraguado en 7 días, 14 días, 28 días, 60 días, 90 días y 120 días, considera un máximo de resistencia de 0.54 Mpa en 14 días, siendo el mínimo de 0.64 Mpa para la apertura de tajos secundarios, considerando un máximo de diseño 4% de cemento y siendo el 3.17 % de cemento en el estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos, considerando solo el uso de cemento en 3.17 %, con las condiciones iniciales del estudio no se llegaría a la resistencia mínima considerada en 0.64 Mpa, producto de un menor consumo de cemento en el diseño de 4 %, en un tiempo máximo de fraguado de 14 días.

b) Tiempo de fraguado considerando solo el aditivo Immocem

El tiempo de fraguado teniendo en cuenta o solo el aditivo Immocem realizada durante el mes de julio a noviembre, se consideró en la etapa de relleno, durante el inicio del tajo, desarrollado en laboratorio. Las variables a analizar fueron el tiempo de fraguado, slump y % de sólidos.

El análisis del tiempo de fraguado, considera el análisis en diferentes tiempos como: 7 días, 14 días, 28 días, 60 días, 90 días y 120 días.

Tabla 12. Tiempo de fraguado, resistencia, slump y % de sólidos de relleno con aditivo Immozem

TIEMPO DE FRAGUADO, RESISTENCIA, SLUMP y % SÓLIDOS

TAJO 280 - CON ADITIVO IMMOCEM

Mes	Muestra	Fecha de Muestra	Fecha de rotura	labor	Nivel	OB	Edad (días)	Mpa	% aditivo	Densidad salida	Slump	%sólidos salida	%humedad de salida
Julio	1	23/07/2022	30/07/2022	Laboratorio	1710	ob2	7	0.44	3	2350	9 1/2	78	22
Julio	2	23/07/2022	30/07/2022	Laboratorio	1710	ob2	7	0.44	3	2350	9 1/2	78	22
Julio	1	23/07/2022	30/07/2022	Laboratorio	1710	ob2	7	0.27	2.3	2390	9 1/2	80	20
Julio	2	23/07/2022	30/07/2022	Laboratorio	1710	ob2	7	0.27	2.3	2390	9 1/2	80	20
Agosto	1	23/07/2022	06/08/2022	Laboratorio	1710	ob2	14	0.48	3	2350	9 1/2	78	22
Agosto	2	23/07/2022	06/08/2022	Laboratorio	1710	ob2	14	0.47	3	2350	9 1/2	78	22
Agosto	1	23/07/2022	06/08/2022	Laboratorio	1710	ob2	14	0.33	2.3	2350	9 1/2	78	22
Agosto	2	23/07/2022	06/08/2022	Laboratorio	1710	ob2	14	0.33	2.3	2350	9 1/2	78	22
Agosto	1	23/07/2022	20/08/2022	Laboratorio	1710	ob2	28	0.35	3	2350	9 1/2	78	22
Agosto	2	23/07/2022	20/08/2022	Laboratorio	1710	ob2	28	0.35	3	2350	9 1/2	78	22
Agosto	1	23/07/2022	20/08/2022	Laboratorio	1710	ob2	28	0.28	2.3	2350	9 1/2	78	22
Agosto	2	23/07/2022	20/08/2022	Laboratorio	1710	ob2	28	0.27	2.3	2350	9 1/2	78	22
Setiembre	1	23/07/2022	22/09/2022	Laboratorio	1710	ob2	60	0.35	3	2350	9 1/2	78	22
Setiembre	2	23/07/2022	22/09/2022	Laboratorio	1710	ob2	60	0.35	3	2350	9 1/2	78	22
Setiembre	1	23/07/2022	22/09/2022	Laboratorio	1710	ob2	60	0.27	2.3	2350	9 1/2	78	22
Setiembre	2	23/07/2022	22/09/2022	Laboratorio	1710	ob2	60	0.27	2.3	2350	9 1/2	78	22
Octubre	1	23/07/2022	22/10/2022	Laboratorio	1710	ob2	90	0.30	3	2350	9 1/2	78	22
Octubre	2	23/07/2022	22/10/2022	Laboratorio	1710	ob2	90	0.30	3	2350	9 1/2	78	22
Octubre	1	23/07/2022	22/10/2022	Laboratorio	1710	ob2	90	0.26	2.3	2350	9 1/2	78	22
Octubre	2	23/07/2022	22/10/2022	Laboratorio	1710	ob2	90	0.25	2.3	2350	9 1/2	78	22
Noviembre	1	23/07/2022	22/11/2022	Laboratorio	1710	ob2	120	0.30	3	2350	9 1/2	78	22
Noviembre	2	23/07/2022	22/11/2022	Laboratorio	1710	ob2	120	0.30	3	2350	9 1/2	78	22
Noviembre	1	23/07/2022	22/11/2022	Laboratorio	1710	ob2	120	0.25	2.3	2350	9 1/2	78	22
Noviembre	2	23/07/2022	22/11/2022	Laboratorio	1710	ob2	120	0.25	2.3	2350	9 1/2	78	22

Tabla 13. Resumen de tiempo de fraguado, resistencia, slump y % sólidos con Immocem

RESUMEN DEL TIEMPO DE FRAGUADO, RESISTENCIA, SLUMP Y % SÓLIDOS - RELLENO EN PASTA

TAJO 280 - CON ADITIVO IMMOCEM

labor	Nivel	OB	Edad (días)	Resistencia (Mpa)	% Aditivo	Densidad salida	Slump	% Sólidos salida	%humedad de salida
Laboratorio	1710	OB2	7	0.36	2.65	2370	9 1/2	79	21
Laboratorio	1710	OB2	14	0.40	2.65	2350	9 1/2	78	22
Laboratorio	1710	OB2	28	0.31	2.65	2350	9 1/2	78	22
Laboratorio	1710	OB2	60	0.31	2.65	2350	9 1/2	78	22
Laboratorio	1710	OB2	90	0.28	2.65	2350	9 1/2	78	22
Laboratorio	1710	OB2	120	0.28	2.65	2350	9 1/2	78	22
PROMEDIO - TOTAL				0.32	2.65	2353	9 1/2	78	22

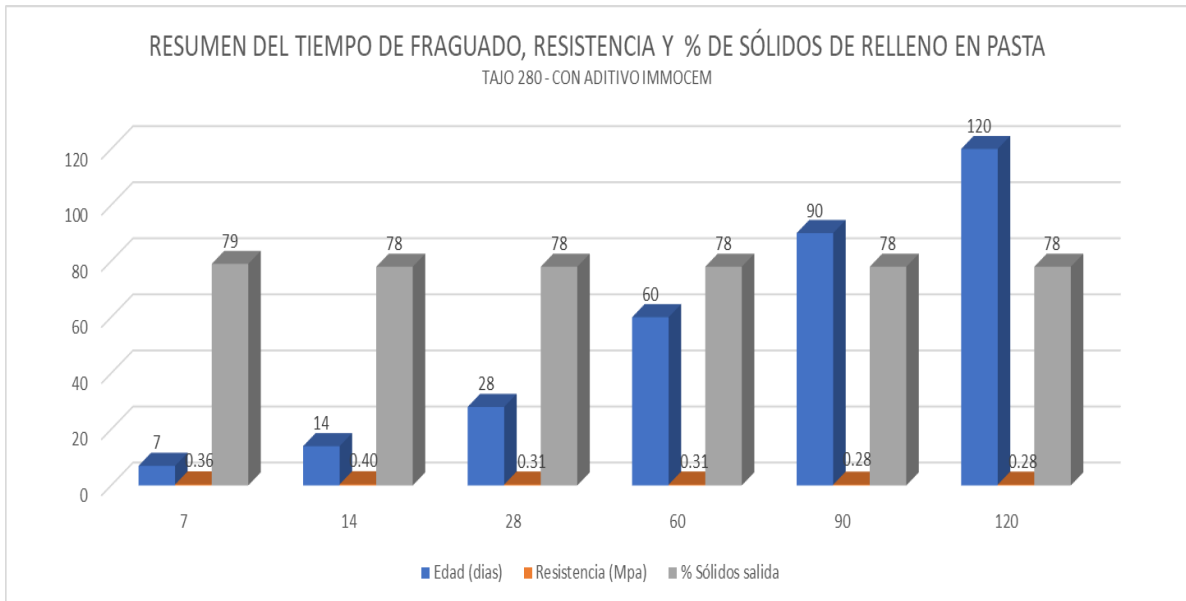


Figura 24. Relación tiempo de fraguado, resistencia y % sólidos con Immocem

El resultado obtenido teniendo en cuenta el relleno en pasta con un porcentaje de aditivo Immocem con 2.65 %, considera valores de acuerdo al tiempo de fraguado siendo estos: para 7 días una resistencia de 0.36 Mpa, para 14 días una resistencia de 0.40 Mpa, para 28 días una resistencia de 0.31 Mpa, para 60 días una resistencia de 0.31 Mpa, para 90 días una resistencia de 0.28 Mpa y para 120 días una resistencia de 0.28 días.

Para estos resultados se considera valores promedio de 2.65 % de aditivo Immocem, con una resistencia promedio de 0.32 Mpa, densidad de salida con 2353 kg/m³, con un *slump* de 9 ½ pulgadas, un porcentaje de sólidos del 78% y un porcentaje de humedad del 22 %.

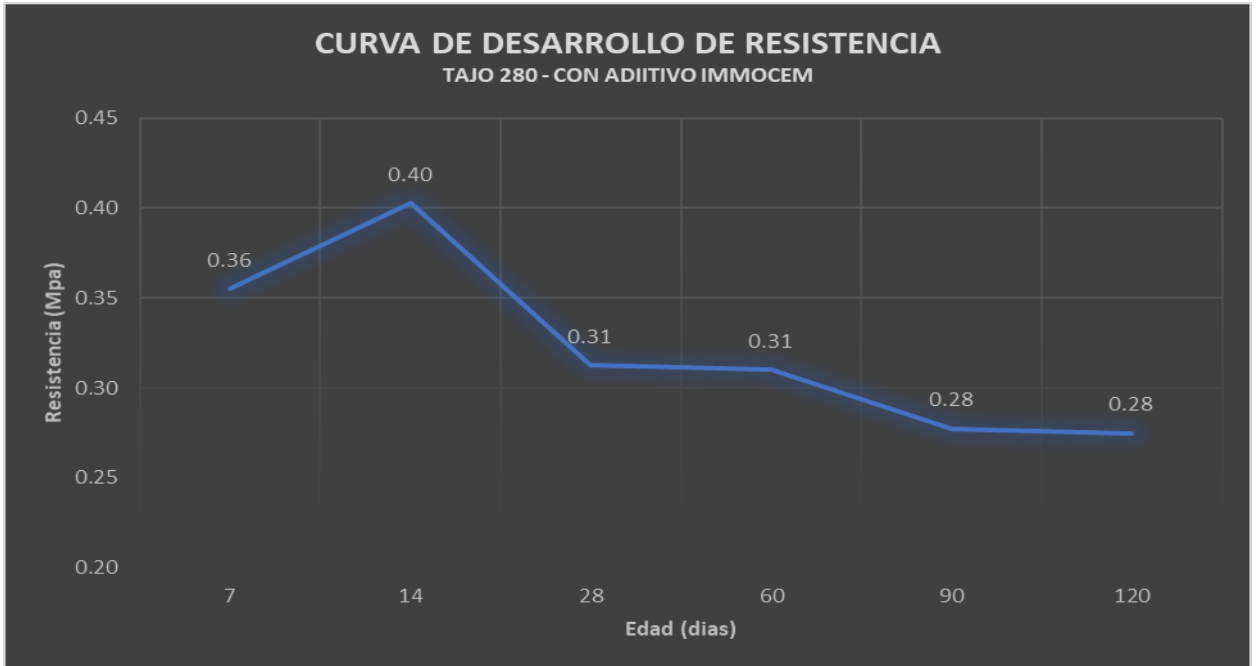


Figura 25. Curva de desarrollo de resistencia con el tiempo de fraguado con Immocem

De acuerdo a los resultados obtenidos, teniendo en cuenta el tiempo de fraguado en 7 días, 14 días, 28 días, 60 días, 90 días y 120 días, considera un máximo de resistencia de 0.40 Mpa en 14 días, siendo el mínimo de 0.28 Mpa para la apertura de tajos secundarios.

De acuerdo a los resultados obtenidos, considerando solo el uso de aditivo Immocem en 2.65 %, con las condiciones iniciales del estudio no se llegaría a la resistencia mínima considerada en 0.64 Mpa, producto del uso solo del aditivo Immocem en un tiempo máximo de fraguado de 14 días.

c) Tiempo de fraguado considerando cemento + el aditivo Immocem

El tiempo de fraguado teniendo en cuenta el cemento + el aditivo Immocem realizada durante el mes de julio a noviembre, se consideró en la etapa de relleno, durante el inicio del tajo, considerando muestra en planta. Las variables a analizar fueron el tiempo de fraguado, *slump* y % de sólidos.

El análisis del tiempo de fraguado, considera el análisis en diferentes tiempos como: 7 días, 14 días y 28 días.

Tabla 14. Tiempo de fraguado, resistencia, slump y % de sólidos de relleno con cemento + aditivo Immozem

TIEMPO DE FRAGUADO, RESISTENCIA, SLUMP y % SÓLIDOS

TAJO 280 - CON CEMENTO + ADITIVO IMMOCEM

Mes	Muestra	Fecha de Muestra	Fecha de rotura	labor	Nivel	OB	Edad (días)	Mpa	% Cemento + Aditivo	Densidad sali	Slump	%sólidos salida	%humedad de salida
Agosto	1	20/08/2022	27/08/2022	TJ -280	1710	2B	7	0.66	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24
Agosto	2	20/08/2022	27/08/2022	TJ -280	1710	2B	7	0.66	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24
PROMEDIO - TOTAL							7	0.66	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24

Mes	Muestra	Fecha de Muestra	Fecha de rotura	labor	Nivel	OB	Edad (días)	Mpa	% Cemento + Aditivo	Densidad sali	Slump	%sólidos salida	%humedad de salida
Setiembre	1	20/08/2022	03/09/2022	TJ -280	1710	2B	14	0.74	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24
Setiembre	2	20/08/2022	03/09/2022	TJ -280	1710	2B	14	0.73	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24
PROMEDIO - TOTAL							14	0.74	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24

Mes	Muestra	Fecha de Muestra	Fecha de rotura	labor	Nivel	OB	Edad (días)	Mpa	% Cemento + Aditivo	Densidad sali	Slump	%sólidos salida	%humedad de salida
Setiembre	1	20/08/2022	17/09/2022	TJ -280	1710	2B	28	0.63	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24
Setiembre	2	20/08/2022	17/09/2022	TJ -280	1710	2B	28	0.63	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24
PROMEDIO - TOTAL							28	0.63	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24

Tabla 15. Resumen de tiempo de fraguado, resistencia y % sólidos con cemento + Immozem

RESUMEN DEL TIEMPO DE FRAGUADO, RESISTENCIA, SLUMP Y % SÓLIDOS - RELLENO EN PASTA

TAJO 280 - CON CEMENTO + ADITIVO IMMOCEM

labor	Nivel	OB	Edad (días)	Resistencia (Mpa)	% Cemento + Aditivo	Densidad salida	Slump	% Solidos salida	% Humedad de salida
TJ -280	1710	2B	7	0.66	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24
TJ -280	1710	2B	14	0.74	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24
TJ -280	1710	2B	28	0.63	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24
PROMEDIO - TOTAL				0.68	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24

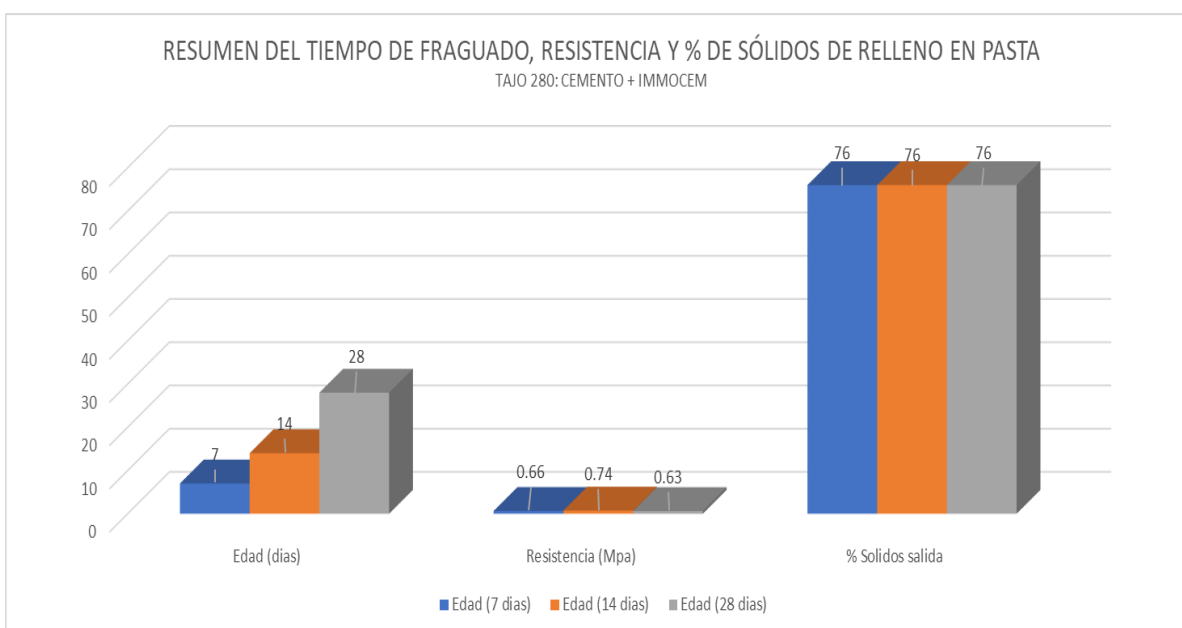


Figura 26. Relación tiempo de fraguado, resistencia y % sólidos con cemento + Immozem

El resultado obtenido en el relleno en pasta teniendo en cuenta un porcentaje de cemento de 1.5 % y de aditivo Immozem con 2.3 %, considera valores de acuerdo al tiempo de fraguado siendo estos: para 7 días una resistencia de 0.66 Mpa, para 14 días una resistencia de 0.74 Mpa y para 28 días una resistencia de 0.63 Mpa.

Para estos resultados se considera valores promedio de 1.5 % de cemento y de 2.3 % de aditivo Immozem, con una resistencia promedio de 0.68 Mpa, densidad de salida con 2400 kg/m³, con un slump de 9 ½ pulgadas, un porcentaje de sólidos del 76 % y un porcentaje de humedad del 24 %.

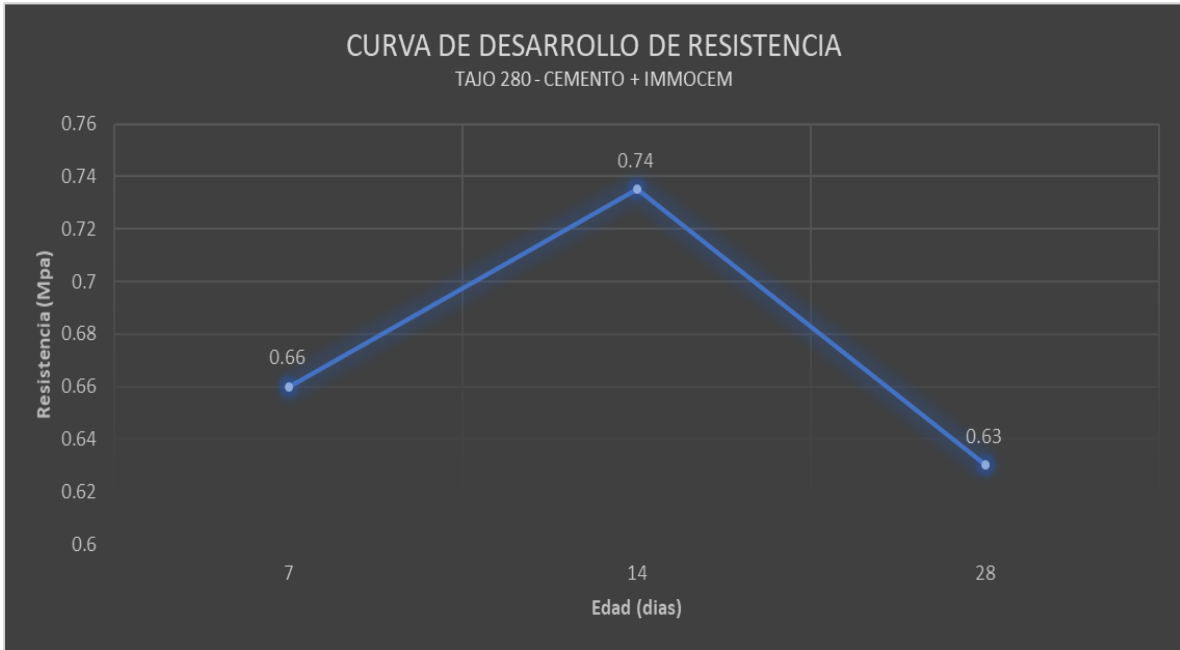


Figura 27. Curva de desarrollo de resistencia con el tiempo de fraguado con cemento + Immocem

De acuerdo a los resultados obtenidos, teniendo en cuenta el tiempo de fraguado en 7 días, 14 días y 28 días, considera un máximo de resistencia de 0.74 Mpa en 14 días, siendo el mínimo de 0.64 Mpa para la apertura de tajos secundarios.

De acuerdo a los resultados obtenidos, teniendo en cuenta el uso de cemento en 1.5 % + el aditivo Immocem en 2.3 %, mejora la resistencia mínima programada en 0.64%, con un máximo de 0.74 Mpa en un tiempo máximo de fraguado de 14 días. Este mejor resultado, demuestra que el uso del cemento + el aditivo Immocem, permite sobrepasar la resistencia mínima para continuar con la apertura de los tajos secundarios.

4.3 Análisis del consumo de cemento

Durante los últimos años, con la aplicación del método de minado *sublevel stoping* con taladros largos, teniendo en cuenta dimensiones de tajos primarios y secundarios de 30 x 20 metros y de 30 x 30 metros, y potencias entre 20 a 35 metros, considera un alto consumo de cemento por la aplicación en diferentes procesos unitarios mina, siendo uno de los principales el uso de relleno en pasta.

Tabla 16. Consumo total de insumos en el área mina

TOTAL CONSUMO DE CEMENTO																							
AREA MINA																							
ITEM	U.M.	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE	
		CANT	US \$	CANT	US \$	CANT	US \$	CANT	US \$	CANT	US \$	CANT	US \$	CANT	US \$	CANT	US \$	CANT	US \$	CANT	US \$	CANT	US \$
ACEITES		2,970	17,659.00	4,455	25,784.99	1,650	9,244.00	275	1,622.00	1,485	8,730.98	3,630	21,107.98	2,970	17,077.99	3,465	20,287.98	2,695	15,622.99	2,915	16,932.98	2,970	17,523.99
ARENA	M3	8,237	243,577.67	8,595	248,421.03	5,537	155,706.20	1,391	38,331.35	3,100	89,049.68	6,198	175,246.41	7,017	195,385.61	7,577	208,138.97	9,028	248,773.26	8,838	240,773.46	6,840	185,710.57
CABLE ELÉCTRICO	M	1,991	101,945.93	3,043	156,012.41	2,801	144,191.79			1,003	51,384.09	1,530	78,382.50	2,227	114,092.94	1,477	75,661.29	1,504	78,022.25	1,983	104,922.72	1,510	80,536.47
PERNO HELICOIDAL	UN	4,042	12,068.25	3,208	9,515.13	2,386	7,024.88	173	508.72	1,336	3,928.55	3,742	11,760.54	2,925	9,015.31	2,533	7,729.99	2,521	7,454.09	2,899	8,524.73	2,217	6,452.77
ANFO SUPERFAM	KG	216,660	103,996.85	190,550	91,464.00	153,850	73,848.00	23,050	11,064.00	88,950	42,696.00	177,150	85,032.00	190,800	91,584.00	174,025	83,532.00	193,075	92,676.00	192,800	92,544.00	154,900	74,065.59
CEMENTO A GRANUL TIPO T-I	KG	5,433,610	659,245.19	589,740	71,179.33			450,000	54,243.56	980,000	118,128.62			487,000	58,307.67	0	0.00	278,000	32,959.20	115,000	6,522.68		
BARRA 8p	UN	7	919.59	3	394.11	4	525.48					1	131.37	4	525.48	4	525.48	5	656.85	6	788.22	4	525.48
CABLE SOSTENIMIENTO	M	18,085	32,876.98	20,651	37,499.90	9,770	17,741.40			4,540	8,242.16	12,100	21,967.02	10,690	19,403.42	12,136	22,027.15	14,352	26,206.17	13,996	25,684.67	13,570	25,038.17
BROCA R25	UN	99	5,742.00	71	4,118.00	43	2,494.00	10	580.00	68	3,944.00	22	1,276.00	59	3,422.00	36	2,088.00	60	3,480.00	60	3,480.00	64	3,712.00
CEMENTO PORTLAND TIPO V	BOL	2,980	24,384.61	3,018	24,358.44	2,665	21,183.59			175	1,377.89												
CEMENTO	KG	2,413,020	284,974.17	7,151,590	841,888.27	5,407,850	632,735.79	1,719,360	195,928.95	5,427,849	625,424.20	11,983,276	1,396,898.53	11,466,405	1,353,044.95	11,534,500	1,345,664.36	11,747,060	1,340,298.13	12,229,490	1,401,332.25	11,385,160	1,296,096.34
TOTAL AREA DE MINA		8,151,470	1,625,333.25	8,021,594	1,698,951.89	5,624,717	1,210,660.81	2,228,430	336,853.44	6,532,987	1,002,811.23	12,231,550	1,969,062.55	12,209,686	1,995,860.40	11,773,394	1,950,451.68	12,289,756	2,000,895.49	12,620,706	2,041,326.70	11,606,964	1,815,584.15

Tabla 17. Consumo total de cemento proyectado en el relleno en pasta

CONSUMO DE CEMENTO PROYECTADO - RELLENO EN PASTA

AREA DE MINA	ITEM	UNIDAD	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	TOTAL
	TOTAL CEMENTO	KG	2,413,020	7,151,590	5,407,850	1,719,360	5,427,849	11,983,276	11,466,405	11,534,500	11,747,060	12,229,490	11,385,160	8,405,960
	REDUCCIÓN CEMENTO	KG	36,195	107,274	81,118	25,790	81,418	179,749	171,996	173,018	176,206	183,442	170,777	126,089
	DIFERENCIA		2,376,825	7,044,316	5,326,732	1,693,570	5,346,431	11,803,527	11,294,409	11,361,483	11,570,854	12,046,048	11,214,382	8,279,871

El consumo de cemento proyectado (escenario propuesto) considera una reducción de 4 % a 1.5 %, teniendo en cuenta la aplicación del aditivo Immochem, con valores promedio mensual de reducción de 126,089 kilogramos, para el uso proyectado en relleno en pasta.

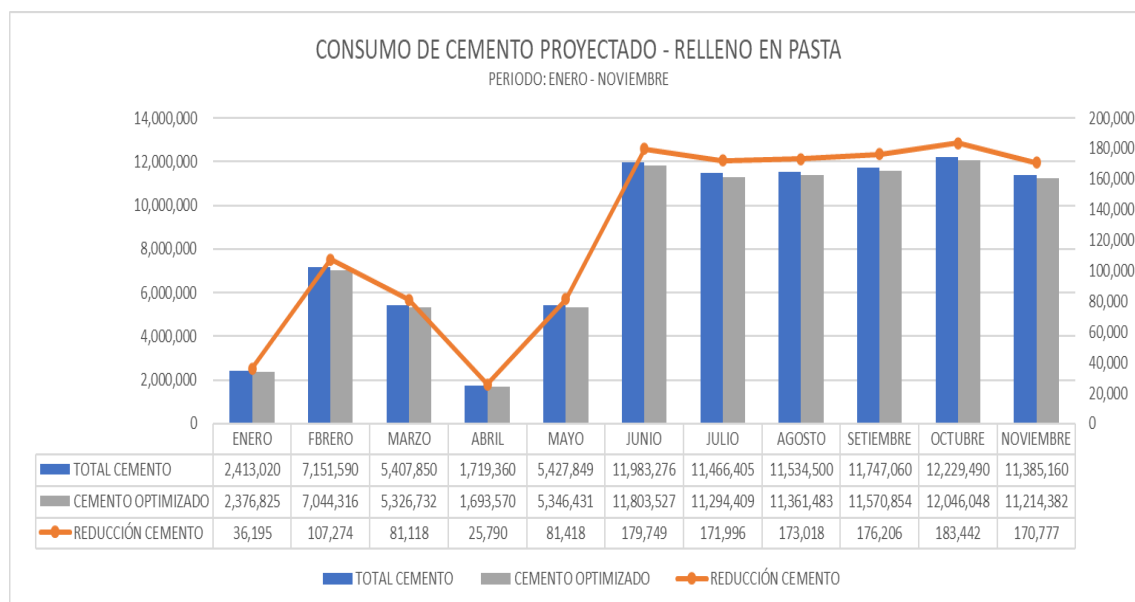


Figura 28. Consumo de cemento proyectado en relleno en pasta

Uno de los objetivos del presente estudio es ver el consumo de cemento utilizando el aditivo Immochem, si bien es cierto que la disminución permite una reducción importante, es necesario realizar mayor cantidad de estudios a escala industrial para ver el comportamiento real de la resistencia asociada a la continuidad del minado de tajos secundarios.

4.4 Análisis económico

De acuerdo a la cantidad de cemento reducido mediante el uso del aditivo Immochem, se proyectará la incidencia económica del uso de cemento en el relleno en pasta, asumiendo en forma personal algunas consideraciones de consumo de cemento durante el periodo analizado por la confiabilidad de información en el presente estudio. Por lo que se asumirá en supuestos asociados a la disminución de cemento en 1.5 %, considerando el proyectado en 4 %, durante el periodo de junio a noviembre por ser un consumo más homogéneo.

Tabla 18. Costo optimizado de consumo de cemento de relleno en pasta

COSTO OPTIMIZADO DE CEMENTO DE RELLENO EN PASTA

ESCENARIO PROPUESTO

AREA DE MINA	ITEM	UNIDAD	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	PROMEDIO/TOTAL
	TOTAL CEMENTO	KG	11,983,276	11,466,405	11,534,500	11,747,060	12,229,490	11,385,160	11,724,315
REDUCCIÓN CEMENTO	KG	179,749	171,996	173,018	176,206	183,442	170,777	175,865	
PU	US \$	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	
COSTO OPTIMIZADO (US\$)			21,570	20,640	20,762	21,145	22,013	20,493	21,104

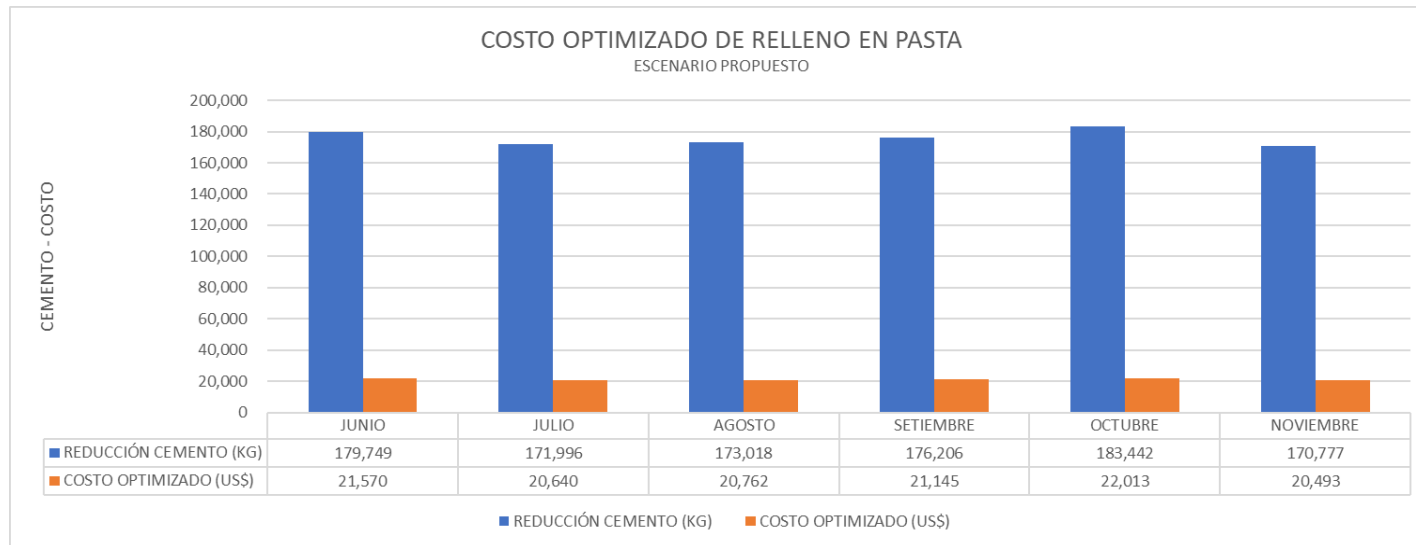


Figura 29. Costo optimizado de proyectado en relleno en pasta

El consumo de cemento optimizado en el presente estudio es de 175,865 kilogramos promedio mensual, considerando un precio unitario de 0.12 \$/kg, se optimizará un promedio de 21,104 \$/mes.

Como se describe en párrafos anteriores, solo se asume dichos valores de consumo de cemento optimizado para efectos de plasmar la implicancia de la reducción de costos.

4.5 Análisis de validación de la hipótesis

La aplicación del método de minado masivo, mediante taladros largos, genera altas áreas disturbadas, el que, de acuerdo a estudios de geomecánica obliga el relleno en pasta en forma inmediata, la dosificación, tiempo de fraguado y resistencia mínima, entre otros, son parámetros a considerar para el cumplimiento del ciclo de minado y poder continuar con la explotación de los tajos secundarios.

El presente estudio, dará una primera aproximación del uso del aditivo Immocem + cemento y su implicancia en el tiempo de fraguado para conseguir la resistencia mínima de 0.64 Mpa y poder continuar el inicio del minado de los tajos secundarios. De acuerdo a los resultados obtenidos, analizaremos la validación de acuerdo a las hipótesis planteadas considerando: la influencia de la relación cemento + aditivo Immocem con el tiempo de fraguado, así como la resistencia asociada y los costos asociadas al relleno en pasta.

a) Validación del tiempo de fraguado y resistencia asociada

Para realizar y entender la validación del tiempo de fraguado se considera el análisis en 3 escenarios: considerando solo el uso de cemento, solo el uso de aditivo y el uso de aditivo más cemento en el tajo TJ 280, nivel NV 1710 del cuerpo mineralizado OB2. El análisis del tiempo de fraguado, considera el análisis en diferentes tiempos como: 7 días, 14 días, 28 días, 60 días, 90 días y 120 días.

Los resultados obtenidos, tienen en cuenta la resistencia mínima de diseño considerada en 0.64 Mpa, el cual será comparada con los 3 escenarios propuestos.

Tabla 19. Análisis comparativo del análisis de la resistencia con el tiempo de fraguado, en los 3 escenarios

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL TIEMPO DE FRAGUADO - RESISTENCIA

TAJO 280

labor	Nivel	Escenario	Edad (días)	Resistencia (Mpa)	% Cemento + Aditivo	Densidad salida	Slump	% Solidos salida	% Humedad de salida
TJ -280	1710	Cemento	14	0.54	3.17	2370	9 1/2	79	21
TJ -280	1710	Cemento + Immozem	14	0.74	1.5 + 2.3	2400	9 1/2	76	24
TJ -280	1710	Immozem	14	0.40	2.65	2350	9 1/2	78	22

Tabla 20. Resumen comparativo del análisis de la resistencia con el tiempo de fraguado

RESUMEN COMPARATIVO DEL ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA

TAJO 280

labor	Nivel	Escenario	Edad (días)	Resistencia (Mpa)	% Cemento + Aditivo	Densidad salida	Slump	% Solidos salida	% Humedad de salida
Diseño	1710	Tajo secundario	14	0.64	4.00	2350	9.80	74	23
TJ -280	1710	Cemento + Immozem	14	0.74	1.5 + 2.3	2400	9.50	76	24
Año 22	1710	Cemento 2022	14	1.04	4.09	2350	9.88	74	23

Los resultados obtenidos en los 3 escenarios analizados, teniendo en cuenta el tiempo de fraguado en 14 días, las resistencias obtenidas fueron: escenario solo con cemento considera una resistencia de 0.54 Mpa; el escenario solo con el aditivo Immozem considera una resistencia de 0.40 Mpa y el escenario combinando cemento + aditivo immozem con una resistencia de 0.74 Mpa.

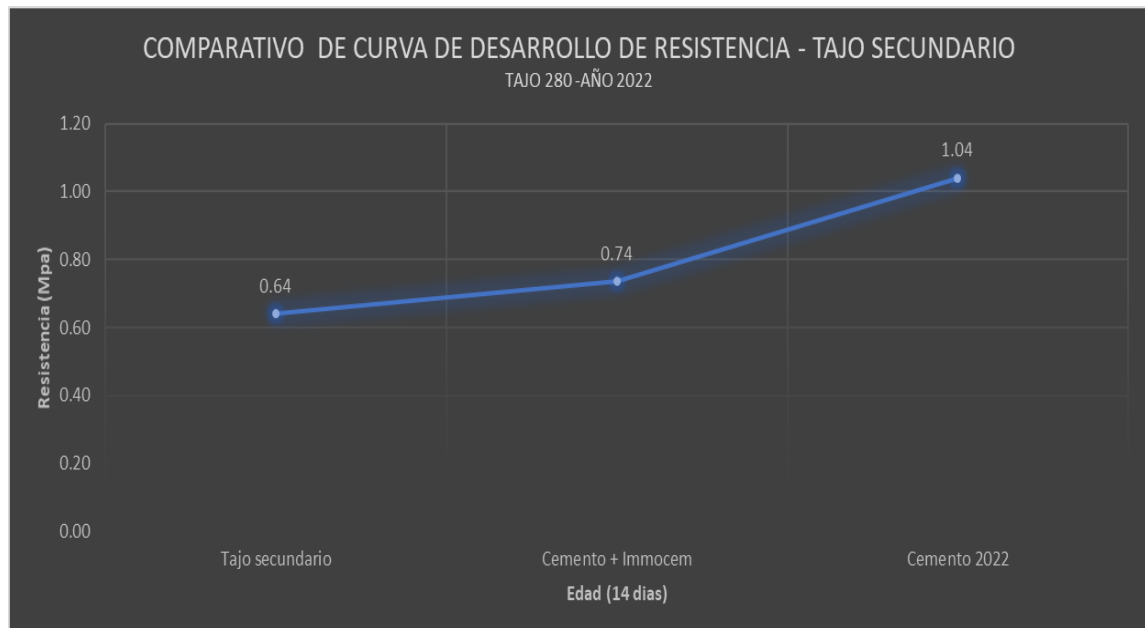


Figura 30. Comparativo de curva de resistencia en tajo secundario

Como se observa, el uso del aditivo + cemento Immozem es el escenario que tiene mejor resistencia en 0.74 Mpa, comparado con el escenario de resistencia de diseño en 0.64 Mpa, para lo cual favorece el minado de los tajos secundarios en un tiempo de fraguado de 14 días. La mayor resistencia observada, está relacionada al periodo 2022 considerando consumo de cemento fue de 1.04 Mpa.

b) Validación del consumo de cemento y costo asociado

Durante los últimos años, con la aplicación del método de minado *sublevel stoping* con taladros largos, teniendo en cuenta dimensiones de tajos primarios y secundarios de 30 x 20 metros y de 30 x 30 metros, y potencias entre 20 a 35 metros, considera un alto consumo de cemento por la aplicación en diferentes procesos unitarios mina, siendo uno de los principales el uso de relleno en pasta.

Tabla 21. Costo optimizado de consumo de cemento de relleno en pasta

COSTO OPTIMIZADO DE CEMENTO DE RELLENO EN PASTA

ESCENARIO PROPUESTO

AREA DE MINA	ITEM	UNIDAD	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	PROMEDIO/TOTAL
	TOTAL CEMENTO	KG	11,983,276	11,466,405	11,534,500	11,747,060	12,229,490	11,385,160	11,724,315
	REDUCCIÓN CEMENTO	KG	179,749	171,996	173,018	176,206	183,442	170,777	175,865
	PU	US \$	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
	COSTO OPTIMIZADO (US\$)		21,570	20,640	20,762	21,145	22,013	20,493	21,104

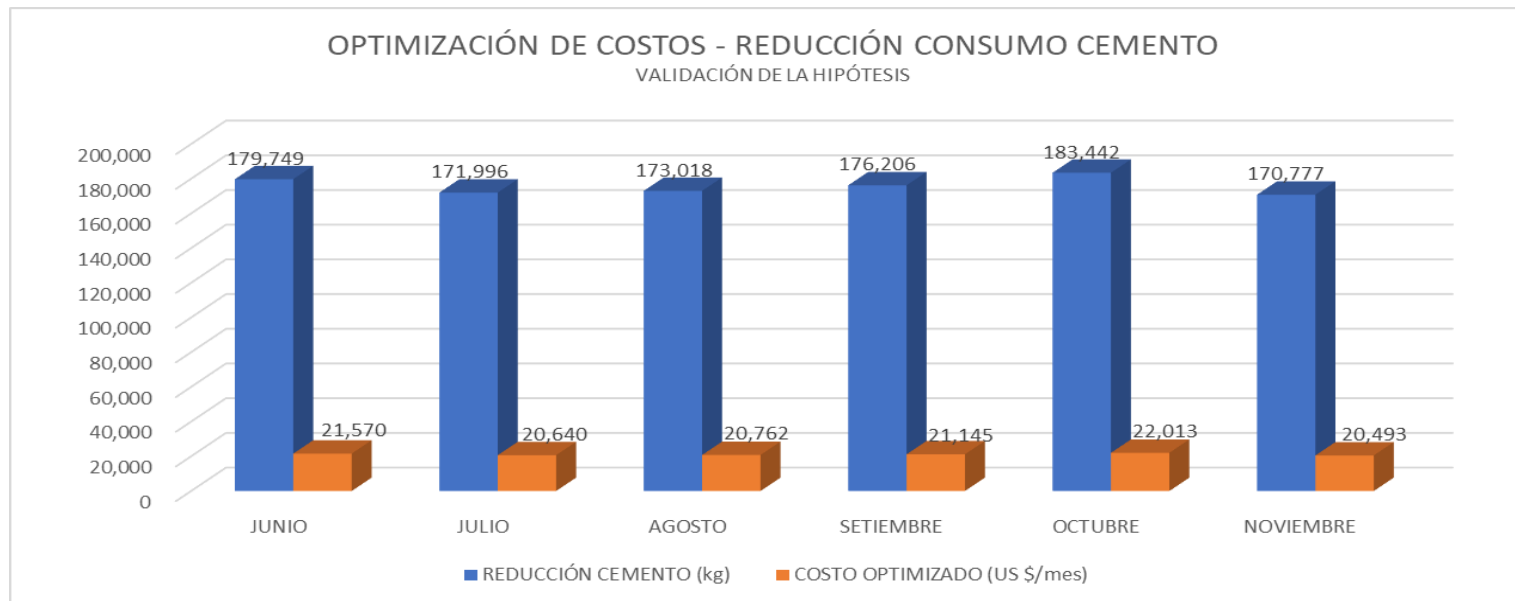


Figura 31. Optimización de costos, reducción de cemento

El consumo de cemento proyectado (escenario propuesto), considera una reducción de cemento de 4% a 2.5%, teniendo en cuenta la aplicación del aditivo Immocem con valores promedio mensual de reducción de 175,865 kilogramos, para el uso proyectado en relleno en pasta.

Este menor consumo de cemento, considerando el uso del aditivo Immocem, reducirá los costos promedio mensual en 21,104 \$/mes.

CONCLUSIONES

1. El presente estudio dará una primera aproximación del uso del aditivo Immocem + cemento y su implicancia en el tiempo de fraguado para conseguir la resistencia mínima de 0.64 Mpa y poder continuar el inicio del minado de los tajos secundarios.
2. El análisis del tiempo de fraguado y resistencia han sido considerados en diferentes tiempos como: 7 días, 14 días, 28 días, 60 días, 90 días y 120 días.
3. Al considerar solo el uso de cemento se considera valores promedio de 3.17 % de cemento, con una resistencia promedio de 0.46 Mpa, densidad de salida con 2370 kg/m³, con un *slump* de 9 ½ pulgadas, un porcentaje de sólidos del 79 % y un porcentaje de humedad del 21 %. Para el tiempo de 14 días de fraguado la resistencia generada es de 0.54 Mpa.
4. Al considerar el uso del aditivo Immocem se considera valores promedio de 2.65 % de aditivo Immocem, con una resistencia promedio de 0.32 Mpa, densidad de salida con 2353 kg/m³, con un *slump* de 9 ½ pulgadas, un porcentaje de sólidos del 78 % y un porcentaje de humedad del 22 %. Para el tiempo de 14 días de fraguado la resistencia generada es de 0.40 Mpa.
5. Al considerar el uso del cemento (1.5%) + el aditivo Immocem (2.3%) se considera una resistencia promedio de 0.68 Mpa, densidad de salida con 2400 kg/m³, con un *slump* de 9 ½ pulgadas, un porcentaje de sólidos del 76 % y un porcentaje de humedad del 24 %. Para el tiempo de 14 días de fraguado la resistencia generada es de 0.74 Mpa.
6. De acuerdo a los resultados obtenidos, teniendo en cuenta el tiempo de fraguado en 14 días y los escenarios propuestos, considerando el mejor de ellos con cemento (1.5%) + el aditivo Immocem (2.3%) con un máximo de resistencia de 0.74 Mpa siendo el mínimo de 0.64 Mpa. Este mejor resultado, demuestra que el uso del cemento + el aditivo Immocem, permite sobrepasar la resistencia mínima para continuar con la apertura de los tajos secundarios.

7. Con la aplicación del método de minado *sublevel stoping* con taladros largos, teniendo en cuenta dimensiones de tajos primarios y secundarios de 30 x 20 metros y de 30 x 30 metros, y potencias entre 20 a 35 metros, se considera un alto consumo de cemento por la aplicación en diferentes procesos unitarios mina, siendo uno de los principales el uso de relleno en pasta.
8. El consumo de cemento proyectado (escenario propuesto), considera una reducción de cemento de 4 % a 1.5%, considerando la aplicación del aditivo Immocem, con valores promedio mensual de reducción de 175,865 kilogramos, para el uso proyectado en relleno en pasta.
9. El consumo de cemento optimizado en el presente estudio es de 175,865 kilogramos promedio mensual, considerando un precio unitario de 0.12 \$/kg, se optimizará un promedio de 21,104 \$/mes.
10. Finalmente, el consumo de cemento (1.5%) + el aditivo Immocem (2.3%) en un tiempo de fraguado de 14 días considera una resistencia de 0.74 Mpa (con una resistencia mínima de 0.64 Mpa) para la apertura de tajos secundarias, considera una reducción de consumo de cemento en 2.5 % y una disminución de costos unitarios en 21,104 \$/mes.

RECOMENDACIONES

1. Uno de los objetivos del presente estudio es ver el consumo de cemento, utilizando el aditivo Immocen, si bien es cierto que la disminución permite una reducción importante, a escala de laboratorio, se recomienda seguir realizando mayor cantidad de estudios a escala industrial para ver el comportamiento real de la resistencia asociada a la continuidad del minado de tajos secundarios.
2. Se recomienda, continuar realizando estudios similares utilizando el aditivo Immocen considerando diferentes dominios geológicos y geomecánicos, así como diferentes dimensiones de tajeos.
3. Se recomienda realizar estudios considerando otros tipos de aditivos y diferentes proporciones de cemento, considerando la resistencia mínima de 0.64 Mpa en la apertura de tajos secundarios.
4. Asimismo, se recomienda analizar información similar mediante el *benchmarking* y poder realizar comparativos de las mejores prácticas y mejorar los diferentes indicadores operacionales en relleno en pasta como tiempo de fraguado, resistencia y costos unitarios asociados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LAIN, Carlos. Estudio de las distribuciones tensionales y de las resistencias de los rellenos de pasta de la mina subterránea de aguas teñidas (Huelva), Tesis Doctoral (Título de Doctor en Ingeniería de Minas). Madrid-España: Universidad Politécnica de Madrid, 358 pp.
2. GONZALO, Andy y ALSIDQI, Hasan. Estudio experimental de la respuesta geomecánica de relaves en pasta cementados utilizados para el relleno de caserones. *Obras y Proyectos*, 2015, 17, 6-12
3. VIDAL, Rubén. Transportabilidad del relleno en pasta a largas distancias en la empresa Nexa Resources, Huancayo – Perú. Trabajo de investigación (Bachiller de Ingeniero de Minas). Huancayo – Perú: Universidad Continental, 2019, 50 pp.
4. VENEGAS, Jherson. Aplicación del relleno en pasta para reducir los costos operativos en la unidad minera Cerro Lindo. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Ayacucho – Perú: Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga, 2017, 114 pp.
5. VIDAL, Rubén. Estudio experimental de la respuesta geomecánica de relaves en pasta cementados utilizados para el relleno de Caserones. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo – Perú: Universidad Continental, 2019, 135 pp.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. Tabla de matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición		Definición operacional	
	Conceptual	Dimensiones	Sub-Dimensiones	Indicadores
VI: Relleno en pasta con aditivo Immozem y cemento en el Tj 280, Nv 1710.	El uso de aditivos en el relleno en pasta, considerando la disminución del consumo de cemento y manteniendo la resistencia mínima para la apertura de tajos secundarios, en el método de minado sublevel stoping.	<ul style="list-style-type: none"> • Geológicos • Geomecánicos • Operacionales 	Propiedades geológicas Propiedades geomecánicas Propiedades operacionales	Tipo de yacimiento, litología, mineralogía, alteración asociada, etc. Propiedades físicas de la roca y mineral, dureza, densidad, etc. M3 de relleno en pasta, dosificación asociada, resistencia mínima, etc.
VD: Análisis de las variables operacionales considerando el uso del aditivo Immozem.	Analizar variables relacionadas al uso del aditivo immocem, considerando el tiempo de fraguado, resistencia y costo asociado, ayudarán a enter la aplicación del aditivo.	<ul style="list-style-type: none"> • Variables de relleno en pasta. • Variables económicas. 	Uso del aditivo Immozem en el TJ 280, Nv 1710. Costos asociados al uso del aditivo Immozem.	Tiempo de fraguado, consumo de cemento, resistencia, etc. Costos asociados al consumo de cemento.

Anexo 2

Planos en planta y perfil

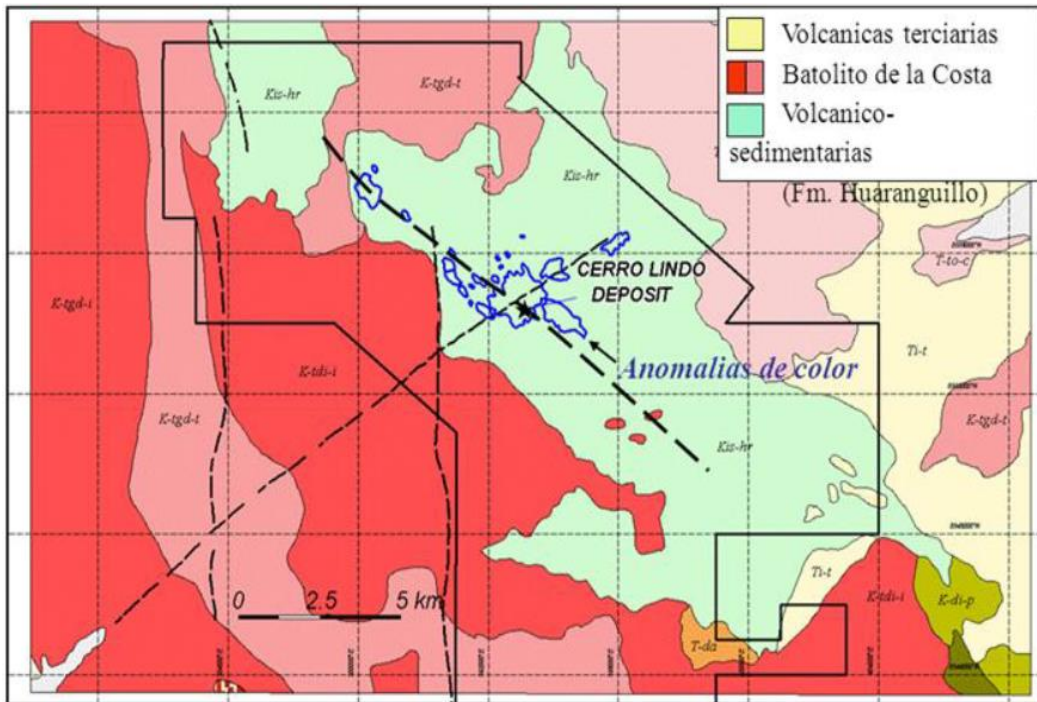


Figura 2. Geología regional de la UM Cerro Lindo
Tomada del Departamento de Geología

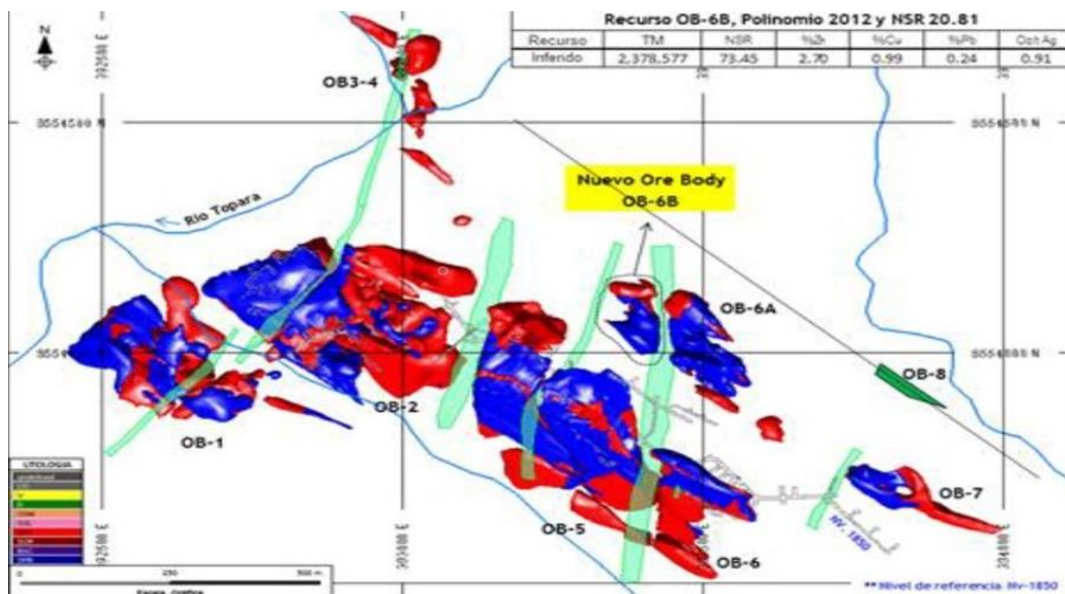


Figura 3. Ore body en la UM Cerro Lindo

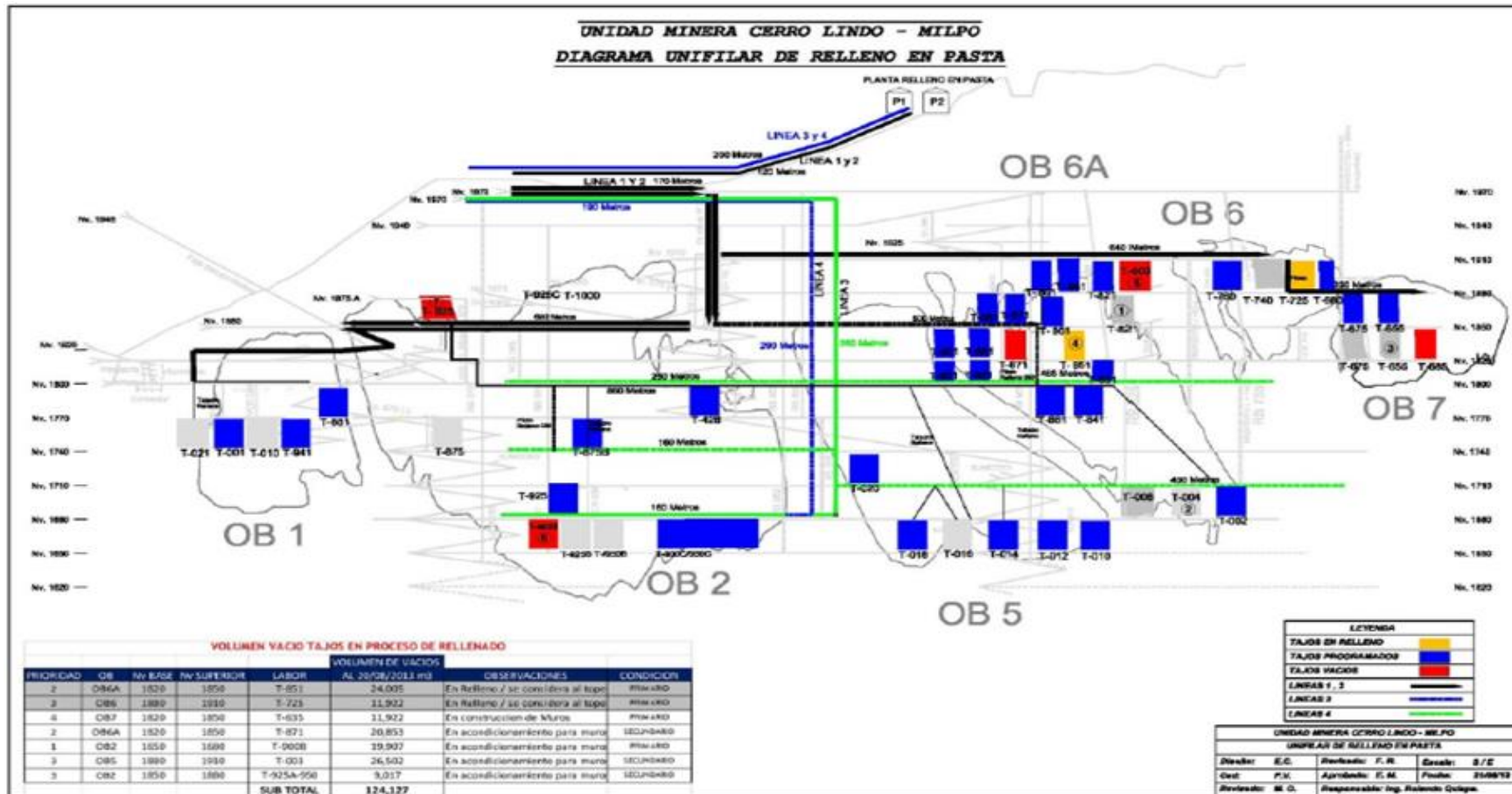
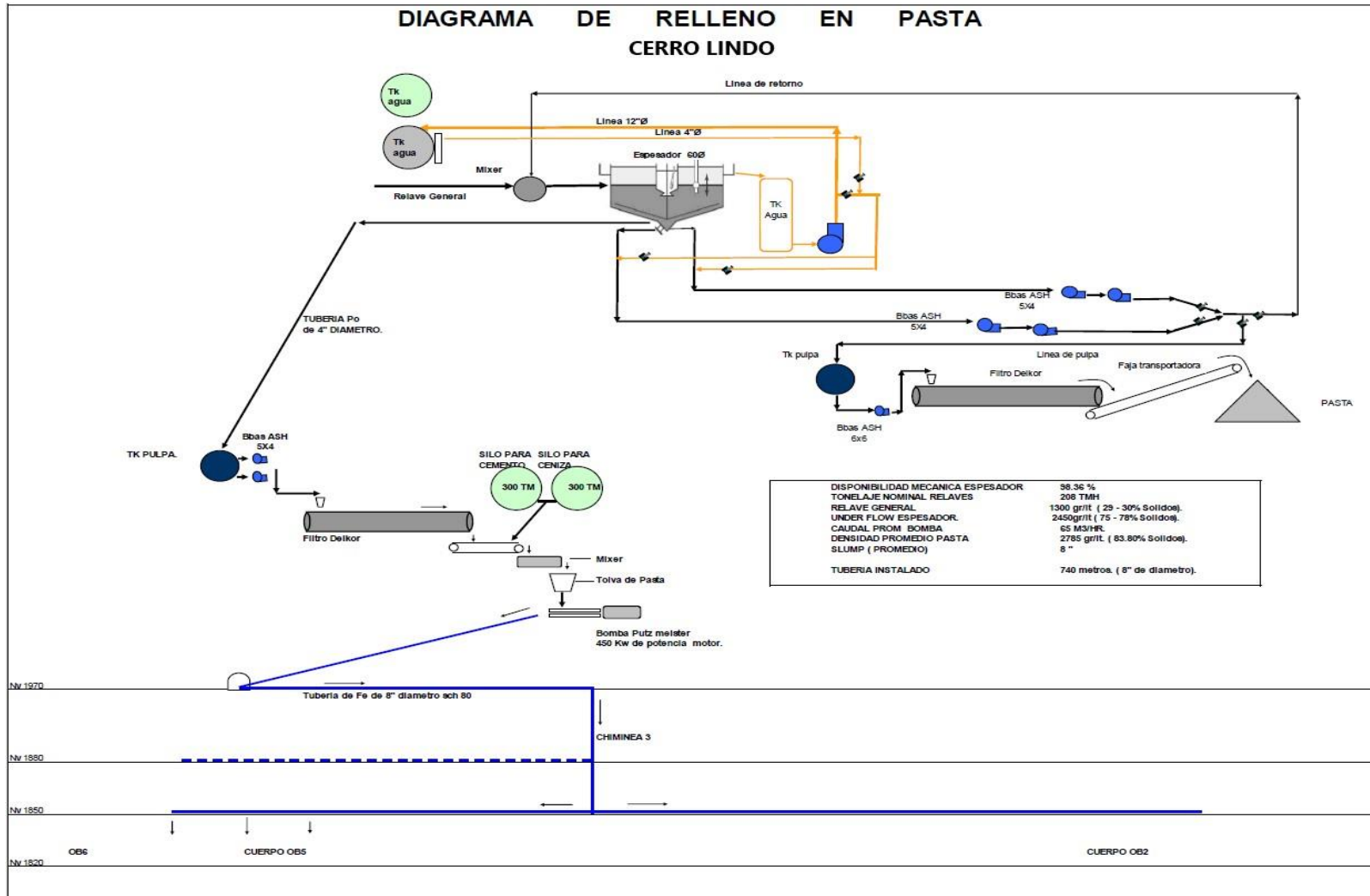


Figura 4. Diagrama unifamiliar de relleno en pasta, UM Cerro Lindo.
Tomada del Departamento de Geología



**Figura 32. Diagrama de relleno en pasta, UM Cerro Lindo.
Tomada del Departamento de Geología**



**Figura 33. Cuerpo mineralizado OB2 – nivel 1710, UM Cerro Lindo.
Tomada del Departamento de Geología**



Figura 20. Plano en planta, esquema de tajeos en el Nv 1710 en la UM Cerro Lindo

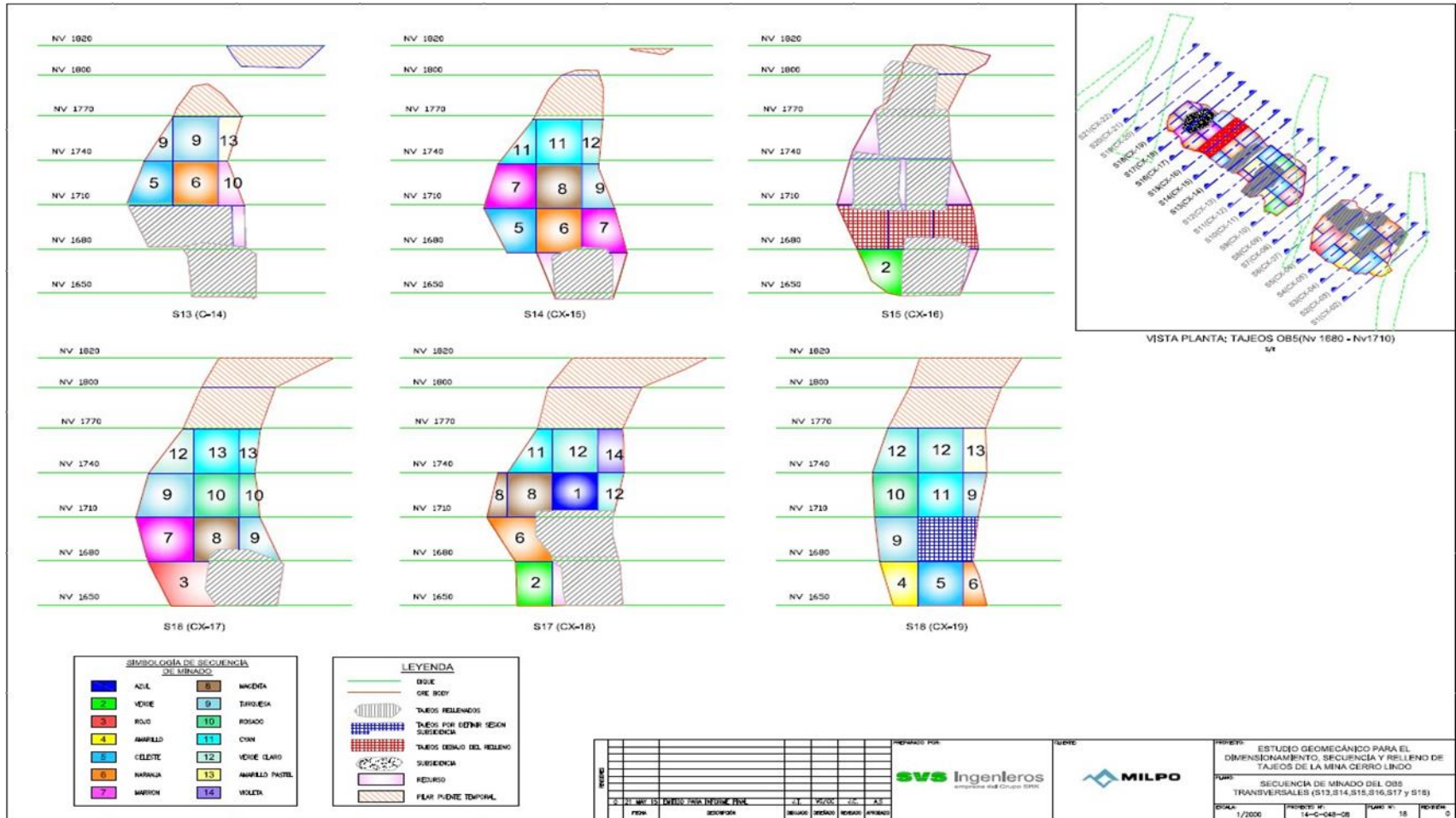


Figura 21. Sección de los tajeros en el Nv 1710 en la UM Cerro Lindo Tomada del Departamento de Geología

Anexo 3

Fotos e imágenes



Figura 14. Análisis de densidad de relave



Figura 15. Análisis de peso del relave.



Figura 16. Análisis del peso del aditivo Immozem



Figura 17. Mezcla del aditivo Immozem y cemento.



Figura 18. Prueba del slump antes de la toma de la muestra



Figura 19. Muestras tomadas para el ensayo de resistencia.