

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Análisis de las variables operacionales de relleno  
en pasta en el método de minado sublevel stoping  
para el cumplimiento del plan de producción en la  
Unidad Minera Cerro Lindo-2022**

Cesar Vilca Palomino

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** : 31 de Julio 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 DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DE RELLENO EN PASTA EN EL MÉTODO DE MINADO SUBLEVEL STOPING PARA EL CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE PRODUCCIÓN EN LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO-2022", perteneciente al estudiante CESAR VILCA PALOMINO, 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 18 % 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,

  
 **JAVIER CARLOS CORDOVA BLANCAS**  
INGENIERO DE MINAS  
CIP Nº 138244

---

Ing. Javier Carlos Córdova Blancas  
Asesor de tesis

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Cesar Vilca Palomino, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 80607069, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "ANÁLISIS DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DE RELLENO EN PASTA EN EL MÉTODO DE MINADO SUBLEVEL STOPING PARA EL CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE PRODUCCIÓN EN LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO-2022", 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.



15 de Agosto de 2023.

---

Cesar Vilca Palomino

DNI. No. 80607069

# ANÁLISIS DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DE RELLENO EN PASTA EN EL MÉTODO DE MINADO SUBLEVEL STOPING PARA EL CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE PRODUCCIÓN EN LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO-2022

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>18%</b>	<b>17%</b>	<b>3%</b>	<b>11%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Continental</b>	<b>10%</b>
	Trabajo del estudiante	

<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b>	<b>6%</b>
	Fuente de Internet	

<b>3</b>	<b>www.geomin.com.mx</b>	<b>&lt;1%</b>
	Fuente de Internet	

<b>4</b>	<b>repositorio.usil.edu.pe</b>	<b>&lt;1%</b>
	Fuente de Internet	

<b>5</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga</b>	<b>&lt;1%</b>
	Trabajo del estudiante	

<b>6</b>	<b>dspace.esPOCH.edu.ec</b>	<b>&lt;1%</b>
	Fuente de Internet	

<b>7</b>	<b>repositorio.continental.edu.pe</b>	<b>&lt;1%</b>
	Fuente de Internet	

de.slideshare.net

8	Fuente de Internet	<1 %
9	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad Nacional de Educacion Enrique Guzman y Valle Trabajo del estudiante	<1 %
12	<a href="http://stroke.ahajournals.org">stroke.ahajournals.org</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://repositorio.utc.edu.ec">repositorio.utc.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://canadagazette.gc.ca">canadagazette.gc.ca</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas      Activo  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias < 10 words



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERÍA DE MINAS**

**TESIS**

**“ANÁLISIS DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DE RELLENO  
EN PASTA EN EL MÉTODO DE MINADO SUBLEVEL STOPING  
PARA EL CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE PRODUCCIÓN EN LA  
UNIDAD MINERA CERRO LINDO-2022”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:  
BACH. CESAR VILCA PALOMINO**

**HUANCAYO - PERÚ**

**2023**

**ASESOR**

Ing. Javier Córdova Blancas



## **AGRADECIMIENTO**

*Gracias dios mío por estar siempre presente en todo momento de mi vida; a mi esposa e hijos, por ser el soporte emocional día a día y por el apoyo incondicional en el desarrollo de la presente tesis.*

*Agradecer a toda la plana docente y autoridades de la Universidad Continental durante mi vida universitaria, quienes forjaron en mí un profesional competitivo.*

*Asimismo, un agradecimiento especial al Ing. Antonio Ramos y la empresa Nexa Resources por el apoyo brindado en la realización de la presente tesis.*

## **DEDICATORIA**

A las personas más importantes en mi vida como mis padres, mi esposa e hijos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ASESOR-----	VII
AGRADECIMIENTO-----	VIII
DEDICATORIA-----	IX
ÍNDICE DE CONTENIDO-----	X
ÍNDICE DE TABLAS-----	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS-----	XV
RESUMEN-----	XVII
ABSTRACT-----	XIX
INTRODUCCIÓN-----	XX
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO-----	22
1.1. Planteamiento y formulación del problema-----	22
1.1.1. Planteamiento del problema-----	22
1.1.2. Formulación del problema-----	23
1.2. Objetivos-----	23
1.2.1. Objetivo general-----	23
1.2.2. Objetivos específicos-----	23
1.3. Justificación e importancia-----	24
1.3.1. Justificación social - práctica-----	24
1.3.2. Justificación académica-----	24
1.4. Hipótesis de la investigación-----	25
1.4.1. Hipótesis general-----	25
1.4.2. Hipótesis específicas-----	25
1.5. identificación de las variables-----	25
1.5.1. Variable independiente-----	25
1.5.2. Variable dependiente-----	25
1.5.3. Matriz de operacionalización de variables-----	25
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO-----	28
2.1 Antecedentes del problema-----	28
2.1.1 Antecedentes internacionales-----	28
2.1.2 Antecedentes nacionales-----	29

2.2 Generalidades de la unidad minera Cerro Lindo-----	30
2.2.1 Ubicación de la mina cerro lindo -----	30
2.2.2 Accesibilidad de la mina Cerro Lindo -----	31
2.3 Geología general-----	31
2.3.1 Geología local -----	31
2.3.2 Tipo de yacimiento -----	32
2.3.3 Consideraciones geomecánicas-----	34
2.4 Método de explotación-----	36
2.4.1 Sublevel stoping -----	36
2.4.2 Ciclo de minado-----	36
2.5 Bases teóricas del estudio -----	40
2.5.1 Consideraciones operacionales -----	40
2.5.2 Relleno en pasta-----	43
2.5.3 Procesos principales de relleno en pasta -----	43
2.5.4 Diagrama unifamiliar de relleno en pasta en UMCL -----	45
2.5.5 Parámetros técnicos del relleno en pasta -----	47
2.5.6 Preparación de tajos para relleno -----	50
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN -----	52
3.1 Método y alcances de la investigación -----	52
3.1.1 Método de la investigación-----	52
3.1.2 Alcances de la investigación -----	53
3.2 Diseño de la investigación -----	53
3.3 Población y muestra-----	53
3.3.1 Población-----	53
3.3.2 Muestra -----	54
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos -----	54
3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos -----	54
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos-----	54
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	55
5.1 Consideraciones generales de producción -----	55
5.2 Análisis de las variables operacionales de relleno en pasta – periodo 2022 -----	59

5.3 Análisis del rendimiento de relleno en pasta – periodo de estudio -----	63
5.4 Análisis de los parámetros de relleno en pasta – periodo de estudio -----	70
5.5 Análisis de la pérdida de tiempo operacional de relleno en pasta – periodo de estudio -----	74
5.6 Validación de la hipótesis planteada -----	80
CONCLUSIONES -----	89
RECOMENDACIONES -----	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	92
ANEXOS -----	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de matriz de operacionalización de variables .....	26
Tabla 2. Accesibilidad a la mina Cerro Lindo.....	31
Tabla 3. Clasificación del macizo rocoso en la mina Cerro Lindo .....	36
Tabla 4. Parámetros operacionales, periodo 2022 en la mina Cerro Lindo .....	41
Tabla 5. Parámetros técnicos del relleno en pasta en la mina Cerro Lindo .....	47
Tabla 6. Parámetros operacionales, periodo 2022 en la mina Cerro Lindo .....	56
Tabla 7. Parámetros técnicos de relleno en pasta en la mina Cerro Lindo .....	57
Tabla 8. Resumen de diseño de relleno en pasta en la mina Cerro Lindo .....	57
Tabla 9. Parámetros de relleno en pasta, periodo 2022 en la mina Cerro Lindo .....	59
Tabla 10. Parámetros de relleno en pasta, periodo julio a setiembre en la mina Cerro Lindo .....	60
Tabla 11. Parámetros, relleno en pasta, periodo octubre a diciembre en la UM Cerro Lindo .....	61
Tabla 12. Resumen de parámetros, relleno en pasta, periodo julio a setiembre y de octubre a diciembre en la UM Cerro Lindo .....	62
Tabla 13. Rendimiento de relleno en pasta, periodo julio en el OB 13 .....	63
Tabla 14. Rendimiento de relleno en pasta, periodo agosto en el OB 13 .....	64
Tabla 15. Rendimiento de relleno en pasta, periodo setiembre en el OB 13 .....	65
Tabla 16. Rendimiento de relleno en pasta, periodo octubre en el OB 13 .....	66
Tabla 17. Rendimiento de relleno en pasta, periodo noviembre en el OB 13 .....	67
Tabla 18. Rendimiento de relleno en pasta, periodo diciembre en el OB 13 .....	68
Tabla 19. Resumen de rendimiento de relleno en pasta en el OB 13 .....	69
Tabla 20. Resumen de parámetros de relleno en pasta en el OB 13, periodo julio a setiembre .....	71
Tabla 21. Resumen de parámetros de relleno en pasta en el OB 13, periodo octubre a diciembre .....	72
Tabla 22. Resumen de parámetros de relleno en pasta en el OB 13, periodo julio a diciembre.....	73
Tabla 23. Pareto de relleno en pasta, OB 13, periodo julio a setiembre .....	74

Tabla 24. Pareto de relleno en pasta, OB 13, periodo octubre a diciembre .....	76
Tabla 25. Resumen de Pareto de relleno en pasta, OB 13, periodo de estudio .....	78
Tabla 26. Resumen de rendimiento de relleno en pasta, OB 13, periodo julio a setiembre .....	80
Tabla 27. Resumen de rendimiento de relleno en pasta, OB 13, periodo octubre a diciembre .....	81
Tabla 28. Comparativo del rendimiento de relleno en pasta, OB 13, periodo estudio .....	82
Tabla 29. Resumen de parámetro de relleno en pasta, OB 13, periodo estudio .....	83
Tabla 30. Análisis comparativo de parámetro de relleno en pasta, OB 13, periodo estudio .....	84
Tabla 31. Análisis de pérdida de tiempo operacional de relleno en pasta, OB 13, periodo estudio .....	86
Tabla 32. Análisis de cumplimiento de producción programada y ejecutada .....	87





Figura 32. Total de relleno por tajo – OB 13 de relleno en pasta, mes de setiembre .....	66
Figura 33. Total de relleno por tajo – OB 13 de relleno en pasta, mes de octubre .....	67
Figura 34. Total de relleno por tajo – OB 13 de relleno en pasta, mes de noviembre .....	68
Figura 35. Total de relleno por tajo – OB 13 de relleno en pasta, mes de diciembre .....	69
Figura 36. Resumen total de relleno por tajo – OB 13 de relleno en pasta.....	70
Figura 37. Relación slump, porcentaje de sólidos y % de cemento en el OB13, julio a setiembre.....	71
Figura 38. Relación slump, porcentaje de sólidos y % de cemento en el OB13, octubre a diciembre .....	72
Figura 39. Relación slump, porcentaje de sólidos y % de cemento en el OB13, julio a diciembre.....	73
Figura 40. Análisis de Pareto de las principales actividades de relleno en pasta, en el OB13, periodo julio a setiembre .....	75
Figura 41. Análisis de Pareto de las principales actividades de relleno en pasta, en el OB13, periodo octubre a diciembre .....	77
Figura 42. Análisis de Pareto de las principales actividades de relleno en pasta, en el OB13, periodo julio a diciembre .....	79
Figura 43. Resumen de relleno por tajo, OB 13, periodo julio a setiembre .....	81
Figura 44. Resumen de relleno por tajo, OB 13, periodo octubre a diciembre.....	82
Figura 45. Comparativo de rendimiento de relleno en pasta, OB 13, periodo estudio .....	83
Figura 46. Resumen de parámetros de relleno en pasta, OB 13, periodo estudio.....	84
Figura 47. Comparativo de variables operacionales de relleno en pasta, OB 13.....	85
Figura 48. Comparativo de variables operacionales de relleno en pasta, OB 13.....	87
Figura 49. Plano de labores subterráneas de la unidad minera Cerro Lindo .....	96
Figura 50. Sectores de operación de la unidad minera Cerro Lindo.....	97
Figura 51. Flow sheet de relleno en pasta de la unidad minera Cerro lindo.....	98
Figura 52. Diseño de relleno en pasta en tajos de la unidad minera Cerro Lindo.....	99
Figura 53. Diseño de relleno en pasta en el Ore body OB13 (Dron Elios 3) en la unidad minera Cerro Lindo .....	100
Figura 54. Diseño de relleno en pasta en el ore body OB13 (Dron Elios 3) en la unidad minera Cerro Lindo .....	101

## RESUMEN

El presente trabajo permite realizar el análisis de las variables operacionales de relleno en pasta aplicado en el método de minado *sublevel stoping* para el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo durante el periodo 2022.

El método empleado en el presente trabajo es el método inductivo - deductivo. Este método está orientado a observar e investigar a fondo las variables operacionales de relleno en pasta para el cumplimiento del plan de producción. Se realizó el análisis de las variables del rendimiento de relleno en pasta, así como identificar el comportamiento de las variables operacionales de relleno, también las horas de pérdida operacional identificando las principales actividades que inciden en el rendimiento mediante la herramienta de Pareto para el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo.

El análisis de los parámetros de relleno en pasta se realizó en el cuerpo mineralizado OB 13, considerando los diferentes tajos en los niveles Nv 1910, Nv 1880 y Nv 1850 durante los periodos de julio a setiembre y de octubre a diciembre.

El total de relleno en pasta en el periodo de julio a setiembre fue de 100,160.34 m<sup>3</sup>, considerando un porcentaje de cemento de 4.4 % con una densidad de 2,236 gr/l y un rendimiento promedio de 667.10 m<sup>3</sup>/día. Asimismo, el total de relleno en pasta en el periodo de octubre a diciembre fue de 95,996.75 m<sup>3</sup>, considerando un porcentaje de cemento de 4.2 %, con una densidad de 2,243 gr/l y un rendimiento promedio de 599.90 m<sup>3</sup>/día.

De acuerdo con el análisis de Pareto, se pudo identificar algunas actividades que pueden corregir y disminuir la pérdida de tiempo operacional en periodos posteriores de relleno en pasta, siendo estas: falta de relave con 102.80 horas, parada por seguridad con 29.90 horas, parada por tubería atorada - problemas mina

con 23 horas y parada por desgaste de tubería de piloto con 18.80 horas, pudiendo disminuir la pérdida de tiempo en relleno en pasta.

Finalmente, la producción de relleno en pasta programada durante el periodo 2022 fue de 1,620,000, obteniendo un resultado en la producción ejecutada de 1,621,521.35 considerando una mejora o incremento de la producción de 1,521.35 m<sup>3</sup>.

**Palabras clave:** relleno en pasta, relave, cemento, plan de producción, slump

## ABSTRACT

The present work allows the analysis of the operational variables of paste fill applied in the sublevel stoping mining method for compliance with the production plan in the Cerro Lindo Mining Unit, during the 2022 period.

The method used in this work is the inductive - deductive method. This method is oriented to observe and thoroughly investigate the operational variables of paste filling, for the fulfillment of the production plan. The analysis of the paste filling performance variables was carried out, as well as identifying the behavior of the filling operational variables, as well as the hours of operational loss, identifying the main activities that affect performance using the Pareto tool, for compliance. of the production plan at the Cerro Lindo Mining Unit.

The analysis of the paste fill parameters was carried out in the OB 13 ore body, considering the different pits at levels Nv 1910, Nv 1880 and Nv 1850, during the periods from July to September and from October to December.

The total paste fill in the period from July to September was 100,160.34 m<sup>3</sup>, considering a cement percentage of 4.4%, with a density of 2,236 gr/l and an average yield of 667.10 m<sup>3</sup>/day. Likewise, the total paste fill in the period from October to December was 95,996.75 m<sup>3</sup>, considering a cement percentage of 4.2%, with a density of 2,243 gr/l and an average yield of 599.90 m<sup>3</sup>/day.

According to the Pareto analysis, it was possible to identify some activities that can be corrected and reduce the loss of operational time in subsequent periods of paste filling, these being: Lack of tailings with 102.80 hours, Stop for safety with 29.90 hours, Stop for Stuck Pipe - Mine problems with 23 hours and Shutdown due to pilot pipe wear with 18.80 hours, being able to reduce the loss of time in paste filling.

Finally, the production of paste filling scheduled during the 2022 period was 1,620,000, obtaining a result in the executed production of 1,621,521.35 considering an improvement or increase in production of 1,521.35 m<sup>3</sup>.

**Keywords:** paste fill, tailings, cement, production plan, slump, etc.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo de investigación ayuda a entender el comportamiento de las diferentes variables asociadas al relleno en pasta. Cumplir con los programas planificados de relleno en los diferentes tajos que han sido minados por el método de minado *sublevel stoping* ayudará a cumplir con el ciclo de minado de corto plazo en la unidad minera Cerro Lindo.

Asimismo, el cumplimiento de los planes de minado de corto plazo ayudará a rentabilizar operacionalmente y validar los diferentes KPIs entre los horizontes de planificación de largo plazo y el de corto plazo.

Medir el rendimiento del relleno en pasta, así como el análisis de las variables operacionales que estas inciden y la influencia de las diferentes actividades mediante la herramienta de Pareto ayudará a identificar las pérdidas de tiempo operacional y así dar cumplimiento a los planes de producción, aplicado en el método de minado *sublevel stoping* en la unidad minera Cerro Lindo, los que se desarrollarán en los siguientes capítulos:

Para el Capítulo I: se desarrolla el tema de forma, considerando el planteamiento del problema general, objetivo e hipótesis general que validará en forma positiva o no, la solución planteada. Asimismo, se planteará los problemas, objetivos e hipótesis específicos que validarán el trabajo de investigación.

Para el Capítulo II: se describirá los antecedentes nacionales e internacionales relacionados al tema de investigación, así como las generalidades de la operación minera como geología, geomecánica, operación mina, etc., para luego describir las bases teóricas del relleno en pasta aplicado en el método de minado *sublevel stoping* para el cumplimiento del plan de producción en la Unidad Minera.

Para el Capítulo III: se planteará la metodología de investigación, describiendo la población y muestra del trabajo desarrollado, considerando las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Para el Capítulo IV: se describirá, analizará e interpretará las variables operacionales del relleno en pasta, determinando el rendimiento asociado, así como la pérdida de tiempo operacional, mediante el análisis de las diferentes actividades de relleno en pasta para el cumplimiento de los planes de producción de la unidad minera.

El Autor.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

Uno de los grandes inconvenientes en el cumplimiento del ciclo de minado, desde la perforación y voladura, carguío, acarreo y relleno en el método de minado *sublevel stoping* con taladros largos, es el cumplimiento del volumen de relleno programado para consolidar el plan de minado de corto plazo.

El cumplimiento de los planes de minado involucra el tiempo adecuado para el relleno de los diferentes tajos explotados de acuerdo con las propiedades del macizo rocoso. El proceso de relleno en pasta aplicado en la unidad minera asociado al método de explotación *sublevel stoping* involucra diferentes actividades como la preparación previa de los diques tapón, para luego ser relleno los tajos vacíos.

Durante periodos anteriores, se utilizó el dique tapón con desmonte y muro de piedra, luego con tapones con madera y en la actualidad con tapones de concreto y refuerzo de malla y barras de acero como anclaje. Asimismo, se utiliza diques de desmonte con la finalidad de reducir costos y tiempos de relleno.

Por tal motivo, el presente trabajo de investigación analizará las diferentes variables operacionales relacionadas a la dosificación del relleno en pasta para dar cumplimiento a los planes de producción como: densidad de relleno, toneladas de cemento por hora, rendimiento de relave y volumen total de relleno.

## **1.1.2. Formulación del problema**

### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el resultado del análisis de las variables operacionales de relleno en pasta en el método de minado *sublevel stoping* para el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo, 2022?

### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cómo influye el rendimiento de relleno en pasta en el método de minado *sublevel stoping* para el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo, 2022?
  
- b) ¿Cómo influye el análisis de las actividades operacionales de relleno en pasta en la pérdida de tiempo operacional para el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo, 2022?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Analizar las variables operacionales de relleno en pasta en el método de minado *sublevel stoping* para el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo, 2022.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Determinar la influencia del rendimiento de relleno en pasta en el método de minado *sublevel stoping* para el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo, 2022.



b) Determinar la influencia del análisis de las actividades operacionales de relleno en pasta en la pérdida de tiempo operacional para el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo, 2022.

### **1.3. Justificación e importancia**

Con el desarrollo del presente trabajo de investigación se pretende analizar la dosificación de relleno en pasta para el cumplimiento de los planes de producción en los tajeos minados por el método de explotación *sublevel stoping* en la unidad minera Cerro Lindo.

Con el desarrollo del presente trabajo de investigación se analizará las variables operacionales como la densidad de relleno, toneladas de cemento por hora, rendimiento de relave y volumen total de relleno.

#### **1.3.1. Justificación social - práctica**

La investigación brindará grandes aportes al sector minero, aportará en conocimiento acerca del uso del relleno en pasta utilizado en métodos de minado con taladros largos, en diferentes operaciones mineras.

Asimismo, reducir los costos operacionales dependerán directamente el cumplimiento en tiempo y espacio de los planes de minado, considerando principalmente la estabilidad del macizo rocoso en áreas minadas por el método de minado *sublevel stoping* en la unidad minera Cerro Lindo.

#### **1.3.2. Justificación académica**

La investigación permitirá el uso de diferentes herramientas académicas para explicar la dosificación asociada al relleno en pasta utilizada en el método de minado *sublevel stoping* en diferentes tajeos minados, definiendo parámetros operacionales asociados a la densidad de relleno, el porcentaje de cemento, el volumen total de relleno, el rendimiento de relleno, el slump, etc. Además, los resultados obtenidos permitirá ser una herramienta comparativa para estudios similares.

## **1.4. Hipótesis de la investigación**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Al analizar las variables operacionales de relleno en pasta en el método de minado *sublevel stoping* permite cumplir el plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo, 2022.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- a) Al determinar la influencia del rendimiento de relleno en pasta en el método de minado *sublevel stoping* influye en el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo, 2022.
  
- b) Al determinar la influencia del análisis de las actividades operacionales de relleno en pasta en la pérdida de tiempo operacional influye en el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo, 2022.

## **1.5. Identificación de las variables**

### **1.5.1. Variable independiente**

Cumplimiento del plan de producción

### **1.5.2. Variable dependiente**

Análisis de las variables operacionales del 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:  Cumplimiento del plan de producción.	El uso de relleno en pasta, como parte del ciclo de minado en el método de minado sublevel stoping, permitirá el cumplimiento del plan de producción de la unidad minera Cerro Lindo..	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dominio geológico</li> <li>• Dominio geomecánico</li> <li>• Variables operacionales</li> </ul>	Geología          Geomecánica	Tipos de roca, alteraciones, estructural, mineralización, etc.          Propiedades del macizo rocoso, RMR, densidad, etc.          Volumen de relleno en pasta, tonelaje de mineral, etc.
VD:  Análisis de variables operacionales	Al determinar el análisis de las variables operacionales de relleno en pasta, en el método de	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variables operacionales de relleno en pasta</li> </ul>	Análisis de la dosificación de relleno en pasta.	M3 de relleno en pasta, densidad de relleno en pasta, slump, porcentaje de cemento, etc

de relleno en pasta.

minado sublevel stoping, permitirá el cumplimiento del plan de minado de corto plazo.

- Factores de Rendimiento de relleno en pasta

M3 de relleno en pasta, tiempo de relleno, densidad de relleno en pasta, etc..

Análisis de rendimiento de relleno en pasta

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del problema

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

- ✓ Tesis titulada: «*Evaluación técnica y económica de una mina subterránea utilizando relleno cementado*» para optar el título de Ingeniero de Minas en la Universidad de Chile. El objetivo fue realizar un análisis comparativo del uso de relleno cementado en el diseño de una mina subterránea, con la finalidad de tener dominios geomecánicos adecuados, para evitar efectos de subsidencia y mejorar la recuperación (1).

El estudio asume como parámetros iniciales reservas de 3.05 Mt, Cu@1.59 % y una vida operacional de 7 años, y con el caso del uso de relleno, las reservas son de 6.68 Mt, Cu@1.61 % con una vida operacional de 11 años. Así mismo, hubo un control ambiental al utilizar relaves que fueron destinados a rellenar los tajos minados con un 50.2 % de la planta de relleno, definiendo evaluaciones económicas con un VAN positivo (1).

- ✓ Tesis doctoral titulada: «*Estudio de las distribuciones tensionales y de las resistencias de los rellenos de pasta de la mina subterránea de aguas teñidas (Huelva)*». En la investigación se sostiene que, para el uso de relleno en pasta, se debe tener en consideración los parámetros de diseño, dosificación de mezcla, características de bombeo y transporte de relleno a los diferentes tajos minados, considerado como un 20 % del costo de operación. El estudio realiza una descripción del diseño de relleno en pasta, considerando los diferentes trabajos previos como los diferentes muros (diques tapón) para generar la estabilidad de las áreas que han sido minadas en diferentes frentes operacionales (2).

### 2.1.2 Antecedentes nacionales

- ✓ Tesis titulada: «*Aplicación de relleno hidráulico para el sostenimiento de los tajeos de la veta Ánimas, de la mina Bateas, unidad San Cristobal*». El objetivo de la investigación fue definir los beneficios del uso de relleno hidráulico en los diferentes tajos minados de la veta Animas de la mina Bateas. Se analizó el *layout* del relleno hidráulico, considerando la clasificación del relave en diferentes hidrociclones, clasificando el *overflow* y el *underflow*, los cuales serán enviados a los diferentes frentes de producción. El producto clasificado para el relleno hidráulico consideró una recuperación de 70 % de relave original, considerando un relleno de buena permeabilidad garantizando el cumplimiento del ciclo de minado en 8 horas aproximadamente, incrementando la productividad operacional. (3)
- ✓ Tesis titulada: «*Relleno en pasta utilizado en la mina Iscaycruz*». La investigación considera las características de dosificación del relleno en pasta, considera el uso de relave, cemento y agua en diferentes proporciones aplicados en la planta de relleno. Así mismo, se describe el *layout* de relleno en pasta desde la planta hacia los diferentes frentes operacionales transportados en una línea de tuberías.

Los resultados obtenidos permiten observar una mejora en la recuperación de mineral, considerando un relleno en pasta de buenas calidades y un adecuado sostenimiento en los diferentes tajos minados y una reducción de los diferentes costos unitarios en el ciclo de minado.

Así mismo, el control del impacto ambiental fue de vital importancia en el análisis del uso de relleno en pasta disminuyendo el impacto generado del 10 % a un 3 %, mejorando la gestión operacional de 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*», cuyo objetivo fue explicar el diseño de los diques tapón utilizados en los diferentes tajos minados en la unidad minera. Se realizó un

comparativo de los diferentes diques tapón en características técnicas y económicas, aplicados en el método de minado *sublevel stoping* en la mina Cerro Lindo. Los resultados obtenidos, asumen que el diseño de dique tapón con desmonte tiene un diseño y ejecución más favorable, reduciendo los costos de sostenimiento en la unidad minera (5).

## 2.2 Generalidades de la unidad minera Cerro Lindo

### 2.2.1 Ubicación de la mina cerro lindo

La mina Cerro Lindo ubicado en el distrito de Chavín, provincia de Chincha y región de Ica, con una distancia de 175 kilómetros al SE de la ciudad de Lima y una altura de 1800 a 2200 m s. n. m., con las coordenadas UTM: 8'554400 N y 993100 E.



**Figura 1. Plano de ubicación de la mina Cerro Lindo  
Tomada del departamento de Geología**

### 2.2.2 Accesibilidad de la mina Cerro Lindo

La accesibilidad a la mina Cerro Lindo es por Lima al paraje Jahuay y de allí hacia la unidad minera, mediante la Panamericana sur en vía asfaltada hasta el kilómetro 180 y de allí en carretera afirmada hasta la mina con una distancia total de 240 kilómetros.

**Tabla 2. Accesibilidad a la mina Cerro Lindo**

RUTA	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE VÍA
De Lima – Paraje Jahuay	180 km	1.40 h	Vía asfaltada
De Paraje Jahuay – Cerro Lindo	60 km	0.30 h	Vía afirmada

*Tomada del departamento de Geología*

### 2.3 Geología general

La mina Cerro Lindo se encuentra emplazado en ambientes volcano sedimentarios, asociado a yacimientos tipo VMS (sulfuro masivo) de Zn (Pb, Ag), presentándose en cuerpos mineralizados, controlados principalmente por fallas, con intrusiones tardías por diques andesíticos.

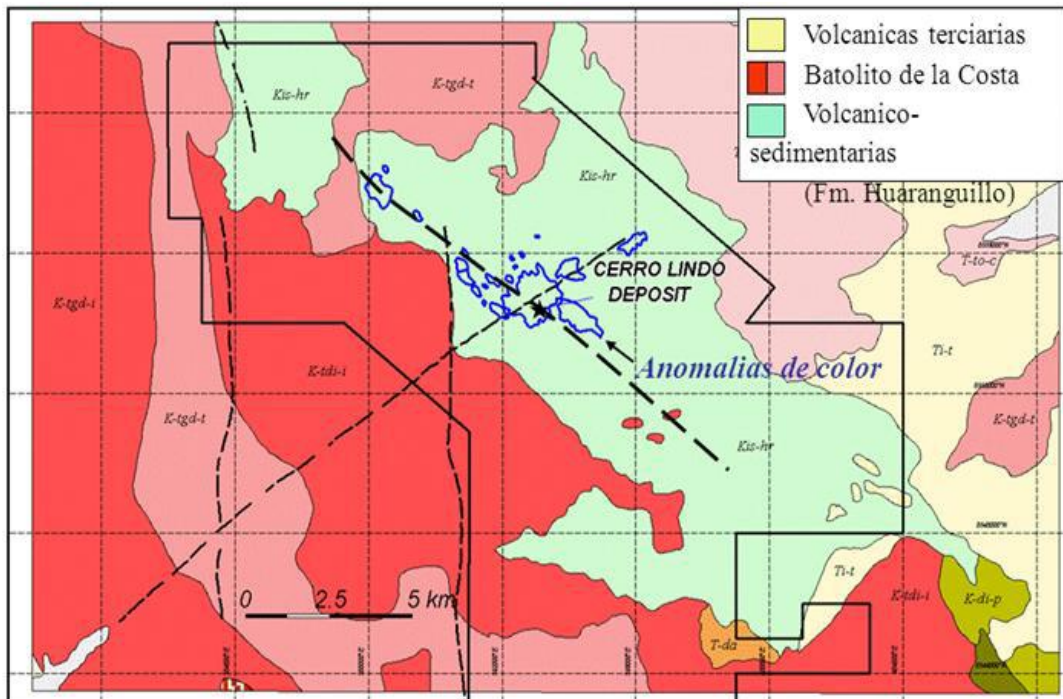
#### 2.3.1 Geología local

El yacimiento de Cerro Lindo se emplaza en rocas volcánicas del tipo riolitas a riolacitas, controladas tanto en el techo como en el piso de las estructuras mineralizadas. Asimismo, se observa un metamorfismo fuerte, con presencia unidades piroclásticas asociadas a tufos de ceniza volcánica y tufos lapilli en forma distal.

El yacimiento asociado a los sulfuros masivos (VMS) asociado a exhalitas en la base o el nivel superior de los cuerpos mineralizados.

Además, se observa lavas andesíticas tipo almohadillas que han sido intruídas por granodioritas del batolito de la costa. El ambiente volcano sedimentario y los intrusivos del batolito han sido cortados por diques andesíticos de textura porfirítica.





**Figura 2. Geología local de la mina Cerro Lindo  
Tomada del departamento de Geología**

### 2.3.2 Tipo de yacimiento

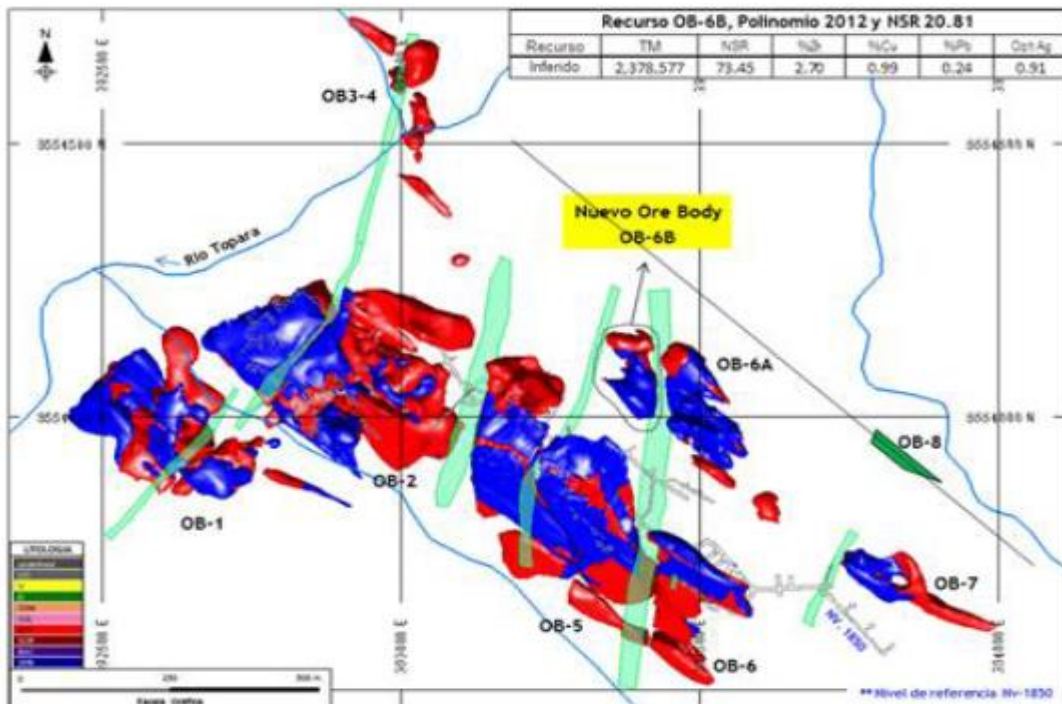
Está asociado a un yacimiento tipo VMS o sulfuro masivo, con una orientación al NO y con buzamiento  $65^\circ$  al SO, con dimensiones de 1350 metros de largo, 85 metros de ancho y 245 metros de profundidad, el cual consta de 7 cuerpos mineralizados (Ore Body 1 al 7), con pequeños cuerpos aislados (satélites). Se presentan diferentes tipos de sulfuros masivos de acuerdo con su morfología y mineralización asociada presente como:

- a) El VMS barítico (Pb, Zn), compuesta principalmente por sulfuros de Zn, Pb y Ag en forma bandeada con presencia de baritina y cantidades menores de Cu, con textura granular gruesa y bandeamiento.
- b) El VMS barítico rico en cobre (Cu, Pb), compuesta con minerales de mayor temperatura, asociado a minerales calcopirita, pirrotina, pirita, baritina y menor esfalerita., con textura homogénea y un difuso bandeamiento.
- c) El VMS de pirita masiva homogénea (SPP), compuesta principalmente por pirita, calcopirita intersticial y cantidades menores de baritina con una textura granular y homogénea.

d) El sulfuro semi masivo (SSM), compuesta principalmente de pirita rodeando a los cuerpos masivos, con textura diseminada, venillas y parches, presentes tanto en la caja techo y caja piso en mayor proporción en el piso de la estructura masiva.



**Figura 3. Contacto dique con cuerpo mineralizado en la mina Cerro Lindo Tomada del departamento de Geología**

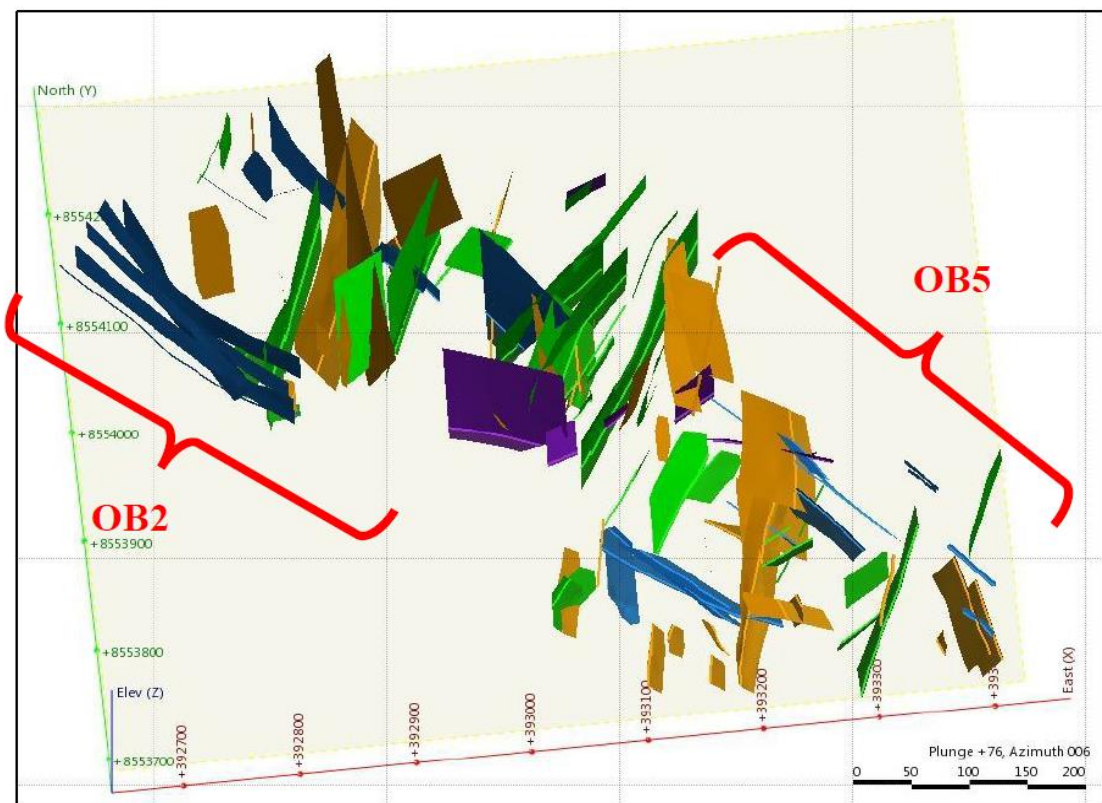


**Figura 4. Cuerpos mineralizados (VMS) de la mina Cerro Lindo Tomada del departamento de Geología**

### 2.3.3 Consideraciones geomecánicas

Tras la ejecución de un programa de investigación geotécnica de campo que consistió en la ejecución de 60 estaciones geomecánicas en las labores subterráneas, 3 líneas de detalle, el logueo de 410 m de testigos de perforación, ensayos de laboratorio y recopilación de toda la información técnica, se determina lo siguiente.

La mayoría de las fallas identificadas en los cuerpos OB5 y OB2 son localizadas y no se prolongan en su persistencia, con zonas de daño aproximado de 1 cm y con relleno de fluido silíceo que ha soldado las fallas en algunos sectores. A continuación, se muestra una vista isométrica del modelo de fallas.

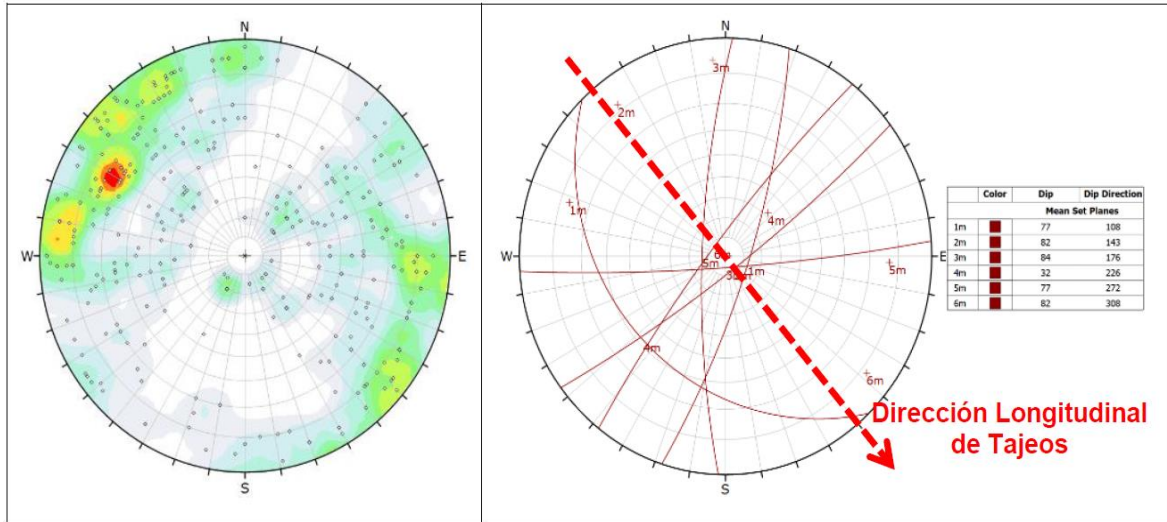


**Figura 5. Modelo 3d de superficies de falla en los cuerpos OB2 y OB5  
Tomada del departamento de Geología**

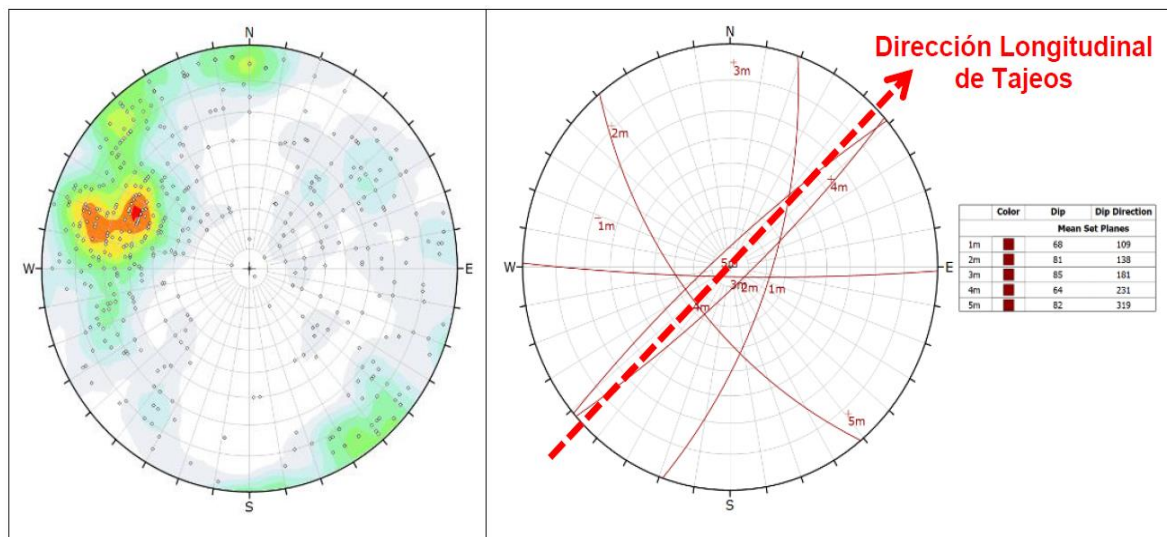
En la zona mineralizada, tanto del OB5 como del OB2, hay un sistema de diaclasamiento con orientación dominante NE-SW y un sistema secundario con orientación ortogonal NW-SE. En la siguiente figura se muestra las principales



familias de discontinuidad de cada uno de los cuerpos y la dirección longitudinal de los tajeos de explotación.



**Figura 6. Estereograma de concentración de polos de las discontinuidades OB2 Tomada del departamento de Geología**



**Figura 7. Estereograma de concentración de polos de las discontinuidades OB5 Tomada del departamento de Geología**

La clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR76) para los diferentes sectores de los cuerpos OB5 y OB2, está clasificado predominantemente como roca regular y en algunos sectores localizados como roca mala. En el cuadro siguiente se muestra los valores de clasificación para los diferentes tipos de roca:

**Tabla 3. Clasificación del macizo rocoso en la mina Cerro Lindo**

Dominio Litológico	RMR76 en el Cuerpo OB2			RMR76 en el Cuerpo OB5		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Sulfuro Primario SPP/SPB	15	61	50	16	63	50
Volcánico zona de contacto con el cuerpo mineral	17	55	46	22	55	46
Volcánico	35	70	54	35	70	54
Dique	17	69	55	24	74	56

*Tomada del departamento de Planeamiento*

Se observa que una las características estructurales en el área de estudio cambian de dirección de acuerdo con la cercanía de la quebrada Topará. La orientación, de las principales fallas son de NE – SO, los que son paralelas al dique. Los cuales fueron comparados con el método Overcoring, encontró concordancia con la orientación de los esfuerzos.

## **2.4 Método de explotación**

### **2.4.1 Sublevel stoping**

El método de minado aplicado en la unidad minera Cerro Lindo es el *sublevel stoping* con taladros largos, es un método con alta eficiencia (ton/hombre), la disponibilidad de mineral es de forma inmediata, considerando las condiciones de seguridad de manera óptima, así mismo, el método de minado es no selectivo, con diluciones difícilmente controlables por la irregularidad de los contactos.

### **2.4.2 Ciclo de minado**

El ciclo de minado consta de las etapas siguientes de: sostenimiento, perforación, voladura, ventilación, desate mecanizado, limpieza y transporte.



Figura 8. Ciclo de minado en la unidad minera Cerro Lindo  
Tomada del departamento de Planeamiento



### **a) Sostenimiento**

De acuerdo con la evaluación geomecánica, se aplica el *shotcrete* vía húmeda con espesores diversos de 2, 3 y 4 pulgadas, con algunos refuerzos de fibras sintéticas para llegar a tener esfuerzos de  $f_c=300 \text{ kg/cm}^2$ , adicionando pernos helicoidales de 10' con espaciamiento de 1.5 metros.

Asimismo, en la preparación de tajeos, tanto en el nivel superior e inferior se usa cable bolting entre 6.5 a 15 metros, previa evaluación geomecánica.

Cuando las labores tienen un RMR bajo a RMR muy bajo, se aplicará el *shotcrete* con pernos helicoidales y mallas electrosoldadas, con una capa final de *shotcrete* adicional.

### **b) Perforación**

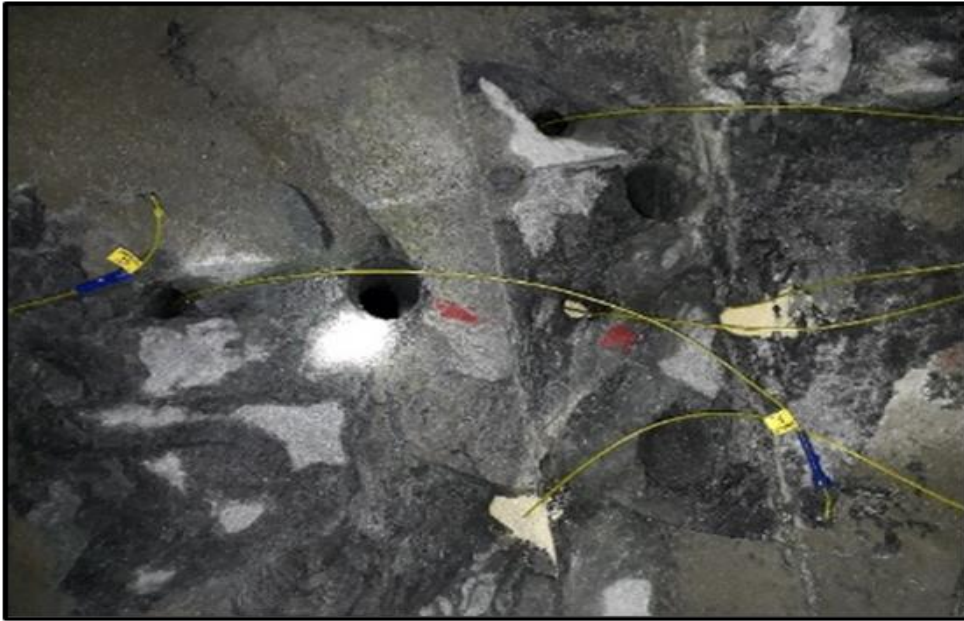
Se utiliza jumbos hidráulicos de 2 brazos en diferentes frentes en la unidad minera Cerro Lindo.



**Figura 9. Jumbo hidráulico de 2 brazos, en la unidad minera Cerro Lindo  
Tomada del departamento de Geomecánica**

### c) Voladura

Se usa el anfo como agente de voladura, como explosivos la emulsión 3000 y pentacord de 5', con accesorios de voladura tipo fanel de periodo corto y carmex, siendo el equipo de carguío el anfoloader (cargador neumático mecanizado).



**Figura 10. Labor subterránea, con frente cargado y amarrado previo a la voladura  
Tomada del departamento de Geomecánica**

### d) Ventilación

La unidad minera Cerro Lindo cuenta con un sistema de ventilación de 2'000,000 de CFM, siendo el requerimiento de 1'700,00 CFM, compuesto principalmente de ventiladores primarios y auxiliares, así como de extractores primarios.

### e) Desate mecanizado

Se realiza con desatadores electrohidráulicos tipo *Scaler Bti*, desatando rocas sueltas en las coronas, hastiales, etc., realizados en labores de profundización y de avance como rampas, galerías, cruceros, etc.

### f) Limpieza y transporte

Se realiza con equipos de carguío tipo *scoops* de 10 a 20 m<sup>3</sup> de capacidad, así como volquetes de 25 a 35 toneladas el cual transportan el material hasta las parrillas ubicadas en el Nv 1820, para luego ser enviado a la etapa de conminución.



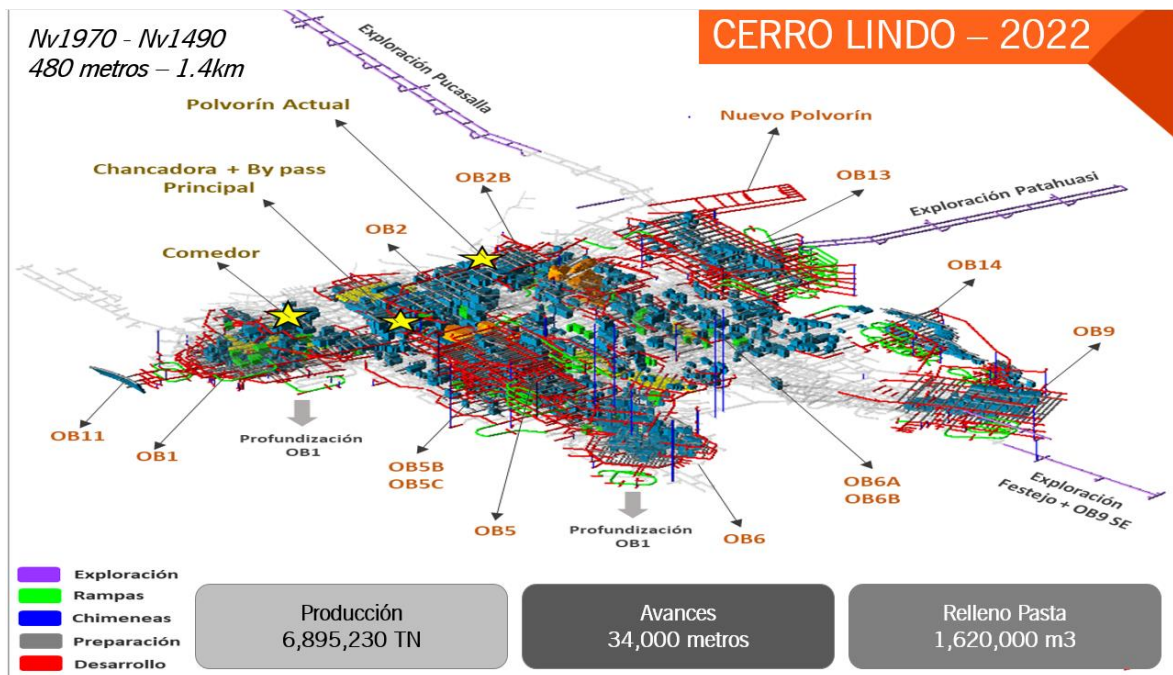
## 2.5 Bases teóricas del estudio

El desarrollo del presente trabajo de investigación permite realizar el análisis de las variables operacionales de relleno en pasta en el método de minado *sublevel stoping* para el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo, periodo 2022.

En el presente capítulo, se describirá la base teórica del relleno en pasta aplicado en los diferentes tajeos minados en la unidad ,inera Cerro Lindo, los que se describen a continuación:

### 2.5.1 Consideraciones operacionales

La producción anual para el periodo 2022 fue de 6,895,230 toneladas, con una producción diaria promedio de 19,300 toneladas por día, de los diferentes frentes operacionales asociado los OB en producción, los diferentes avances ejecutados, durante el mismo periodo fue de 34,000 metros y la cantidad de relleno en pasta fue de 1,620,000 m<sup>3</sup>.



**Figura 11. Parámetros operacionales periodo 2022**  
Tomada del departamento de Planeamiento



Tabla 4. *Parámetros operacionales, periodo 2022 en la mina Cerro Lindo*

PARÁMETROS OPERACIONALES 2022

CERRO LINDO		RF 9+3	Ene-22	Feb-22	Mar-22	Abr-22	May-22	Jun-22	Jul-22	Ago-22	Set-22	Oct-22	Nov-22	Dic-22	2022
Mineral Extraído	tms	6,538,130.3	583,047.3	526,015.9	545,026.4	564,036.8	545,026.4	564,036.8	545,026.4	564,036.8	564,036.8	545,026.4	564,036.8	583,047.3	6,692,400.0
Mineral Tratado	tpd	18,260.6	18,748.0	18,748.0	18,748.0	18,748.0	18,748.0	18,748.0	18,748.0	18,748.0	18,748.0	18,748.0	18,748.0	18,748.0	18,539.3
Días Operativos	días	356.0	31.0	28.0	29.0	30.0	29.0	30.0	29.0	30.0	30.0	29.0	30.0	31.0	356.0
Días Mantenimiento	días	9.0	-	-	2.0	-	2.0	-	2.0	1.0	-	2.0	-	-	9.0
Mineral Tratado	tms	6,500,763.4	574,997.3	518,753.3	537,501.3	556,249.3	537,501.3	556,249.3	537,501.3	556,249.3	556,249.3	537,501.3	556,249.3	574,997.3	6,600,000.0
Concentrados Zn	Tms	182,052	13,008	11,735	12,159	12,583	12,159	12,583	12,159	12,583	12,583	12,159	12,583	13,008	149,304
Concentrados Pb	Tms	20,603	1,613	1,456	1,508	1,561	1,508	1,561	1,508	1,561	1,561	1,508	1,561	1,613	18,519
Concentrados Cu	Tms	112,814	10,999	9,923	10,282	10,641	10,282	10,641	10,282	10,641	10,641	10,282	10,641	10,999	126,253
RELAVE		6,185,294.1	549,377.2	495,639.3	513,551.9	531,464.6	513,551.9	531,464.6	513,551.9	531,464.6	531,464.6	513,551.9	531,464.6	549,377.2	6,305,924.0

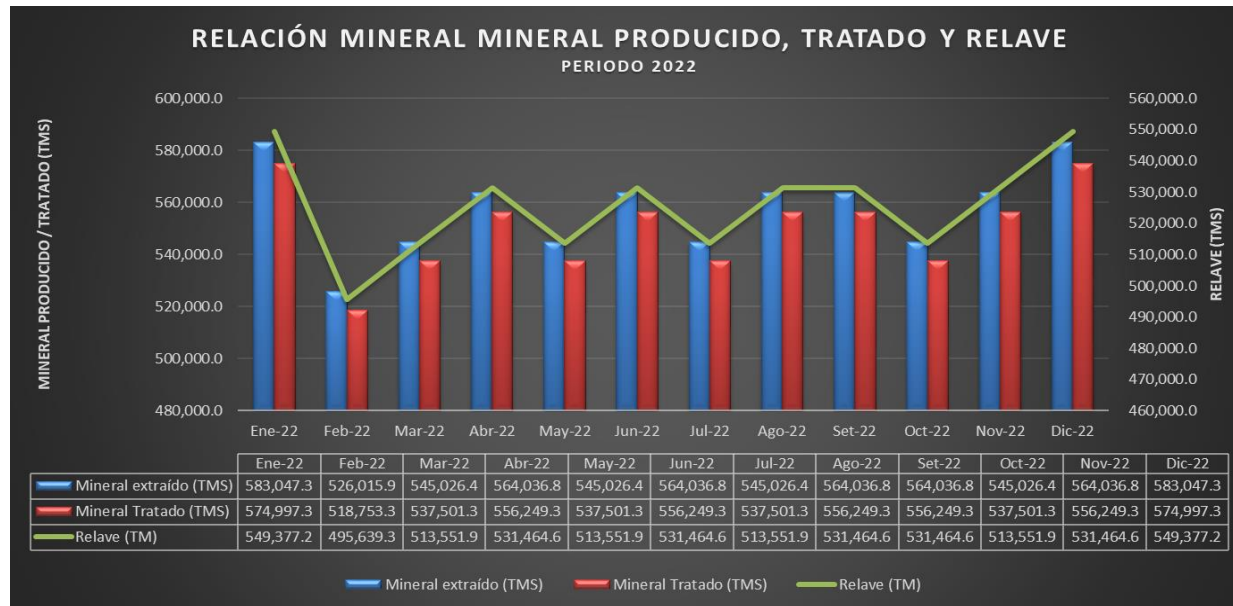
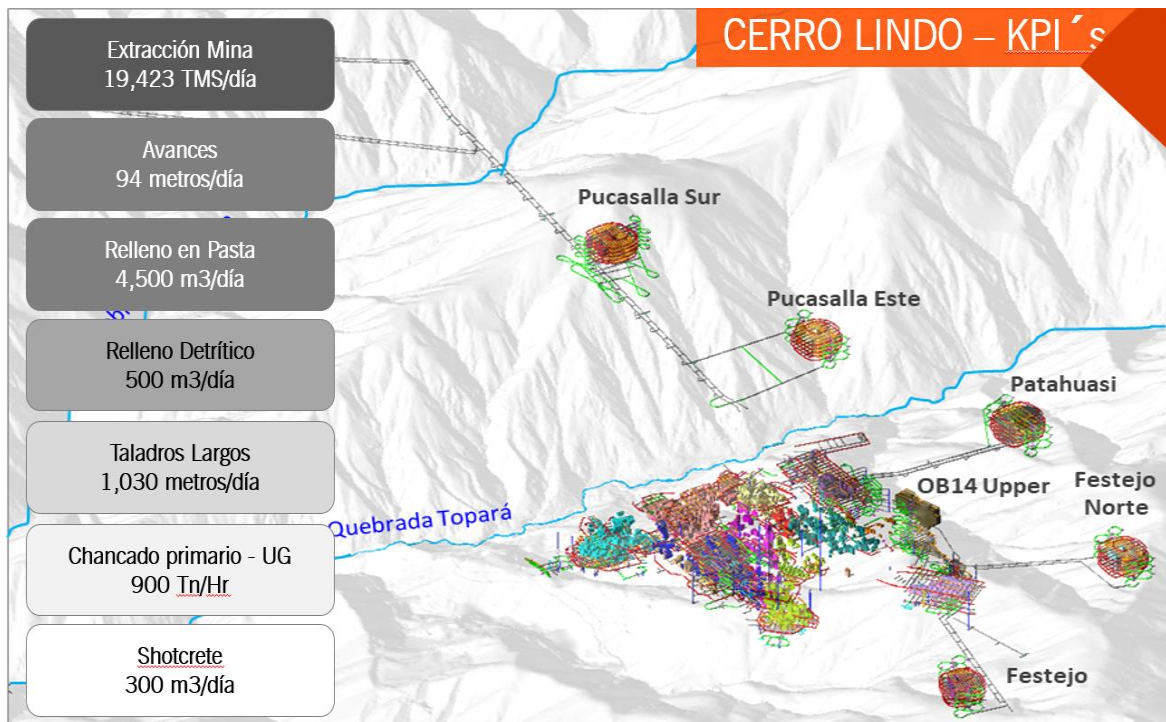


Figura 12. *Relación de mineral producido, procesado y relave generado en el periodo 2022 Tomada del departamento de Planeamiento*

El tonelaje procesado durante el periodo 2022 fue de 6,692,400 toneladas, considerando un total de 149,304 toneladas de concentrado de zinc, 18,519 toneladas de concentrado de plomo y 126,253 toneladas de concentrado de cobre.

El total de relave generado durante el periodo de estudio fue de 6,305,924 toneladas, considerando un total de mineral extraído de 6,692,400 TMS, con un total de mineral procesado de 6,600,000 TMS y radios de concentración de 44.2 para el zinc, 356.4 para el plomo y 52.3 para el cobre.

Los KPIs asociados a la unidad minera Cerro Lindo considera las áreas de mina y planta (considera el relleno en pasta) siendo los valores de:



**Figura 13. KPIs asociados a las áreas mina y planta, periodo 2022**  
Tomada del departamento de Planeamiento

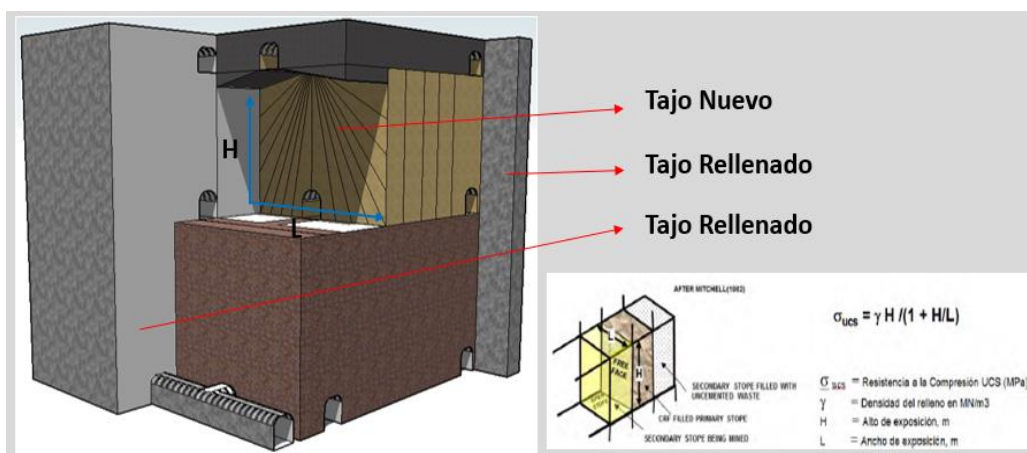
Los KPIs asociados a la extracción en mina durante el periodo 2022 fue de 19,423 t/día, en los avances fue de 94 m/día, el relleno en pasta fue de 4,500 m<sup>3</sup>/día, el relleno detrítico fue de 500 m<sup>3</sup>/día, en taladros largos fue de 1,030 m/día, el chancado primario en subterráneo fue de 900 t/h y el de sostenimiento en shotcrete fue de 300 m<sup>3</sup>/día.

## 2.5.2 Relleno en pasta

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.

### a) Objetivos

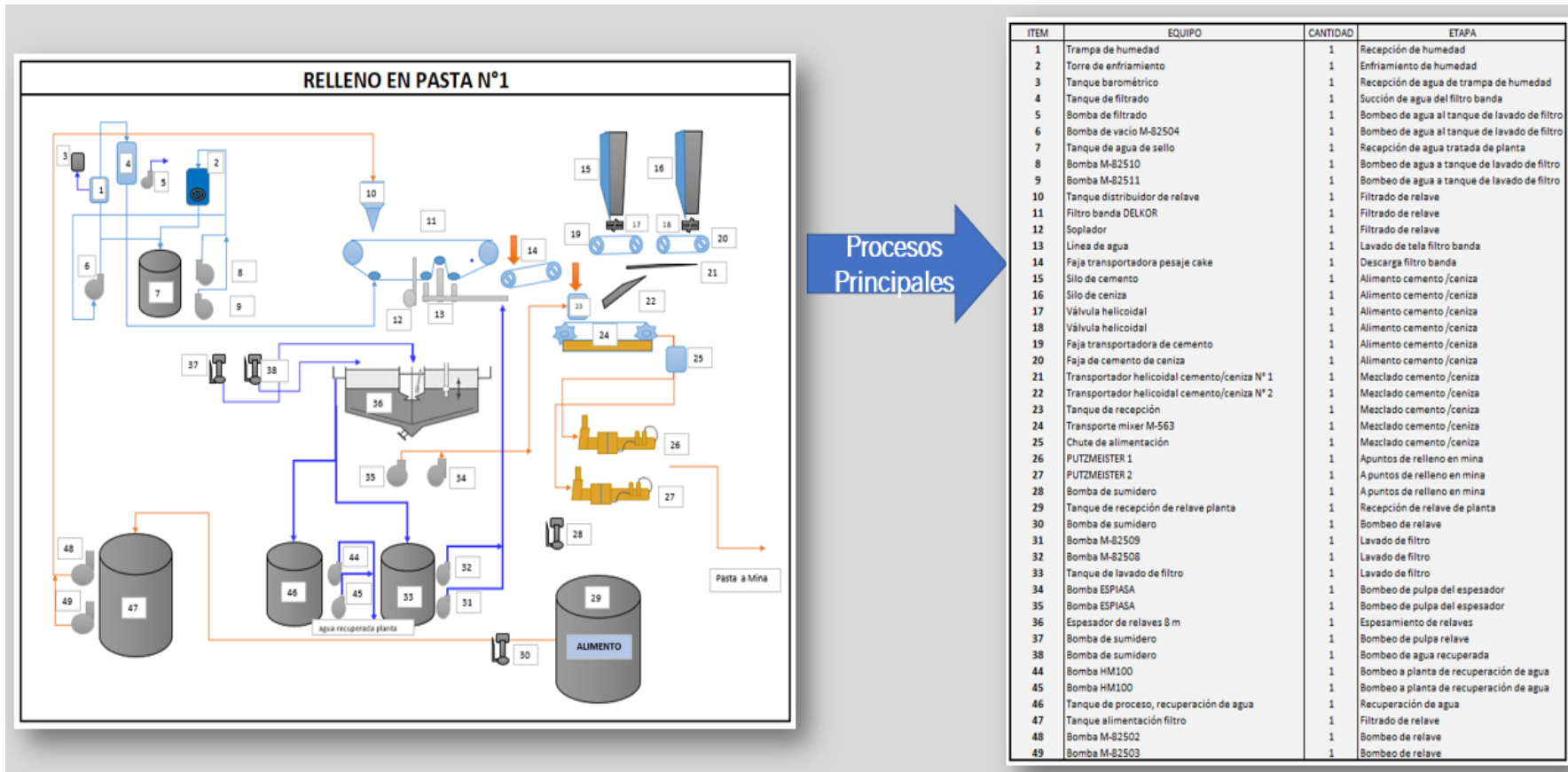
- ✓ Rellenar los espacios vacíos en mina, generando la estabilidad de la mina durante el ciclo de minado.
- ✓ Permitir la continuidad de aperturas de tajos.
- ✓ Evitar hundimientos, realces, desprendimientos en tajos, etc.
- ✓ Influye en la dimensión de los tajos nuevos a minar (Mitchell y Li).



## 2.5.3 Procesos principales de relleno en pasta

El proceso principal de relleno en pasta involucra lo siguiente:

- ✓ 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 15. Procesos principales de relleno en pasta en la unidad minera Cerro Lindo  
Tomada del departamento de Planeamiento**

Los procesos asociados del relleno en pasta, generado en la unidad minera Cerro Lindo involucra: el ingreso del relave al tanque de recepción, para luego pasar por diferentes procesos y pasar al tanque de sello, el que pasará luego de procesos diferentes al espesador de relaves de 8 metros de diámetro, donde se recupera el agua de planta, para luego realizar la mezcla con cemento y obtener la pasta para ser enviada a los diferentes tajeos minados en interior mina.

#### **2.5.4 Diagrama unifamiliar de relleno en pasta en UMCL**

El diagrama unifamiliar del relleno en pasta, utilizado en la unidad minera Cerro Lindo, considerando el método de minado *sublevel stoping*.

- ✓ El número de líneas principales de relleno en pasta son 4 y el número de líneas secundarias son 5.
- ✓ En el *ore body* 1 se considera la línea Pilotos 10 - 10 A y la línea Pilotos 9 – 9A.
- ✓ En el *ore body* 2 se considera la línea Pilotos 6 y la línea Pilotos 5 y 6.
- ✓ En el *ore body* 5 se considera la línea Pilotos 4 – 4A y la línea Pilotos 3 – 3A.
- ✓ En el *ore body* 6 y 6A se considera la línea Pilotos 7 – 7A.
- ✓ En el *ore body* 6B se considera la línea Pilotos 12.
- ✓ El total de metros de relleno en pasta en la línea principal es de 670 metros y en la línea secundaria es de 1030 metros.
- ✓ La capacidad de relleno en pasta en planta es de 5400 m<sup>3</sup>/día.
- ✓ La capacidad de bombas Putzmeister es de 115 m<sup>3</sup>/h.
- ✓ La potencia de bombas Putzmeister es de 1070 Hp.
- ✓ El diagrama unifamiliar de relleno en pasta en la unidad minera Cerro Lindo considera un ritmo de producción diaria de 18,500 toneladas por día.



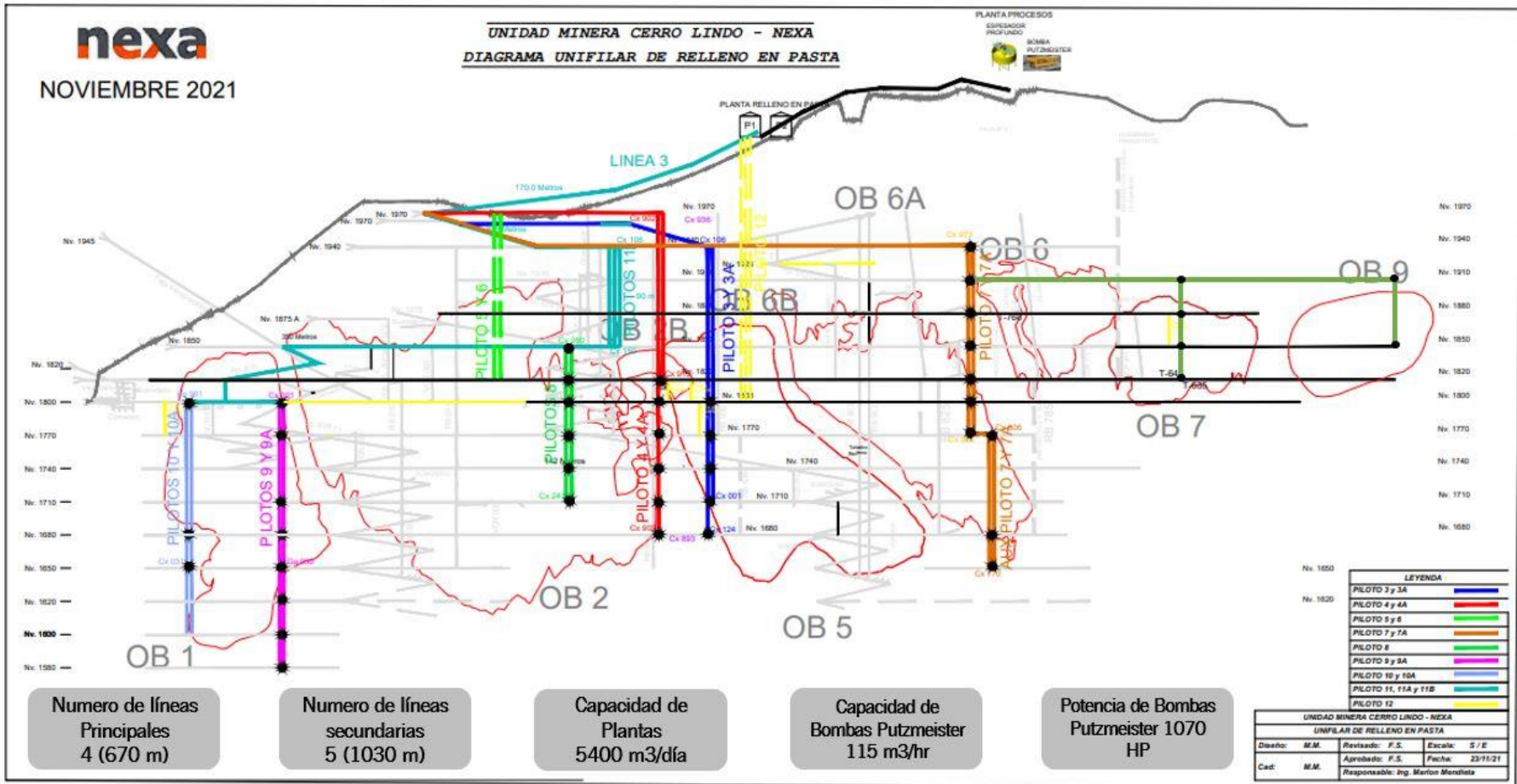


Figura 16. Diagrama unifilar de relleno en pasta en la unidad minera Cerro Lindo  
Tomada del departamento de Planeamiento

### 2.5.5 Parámetros técnicos del relleno en pasta

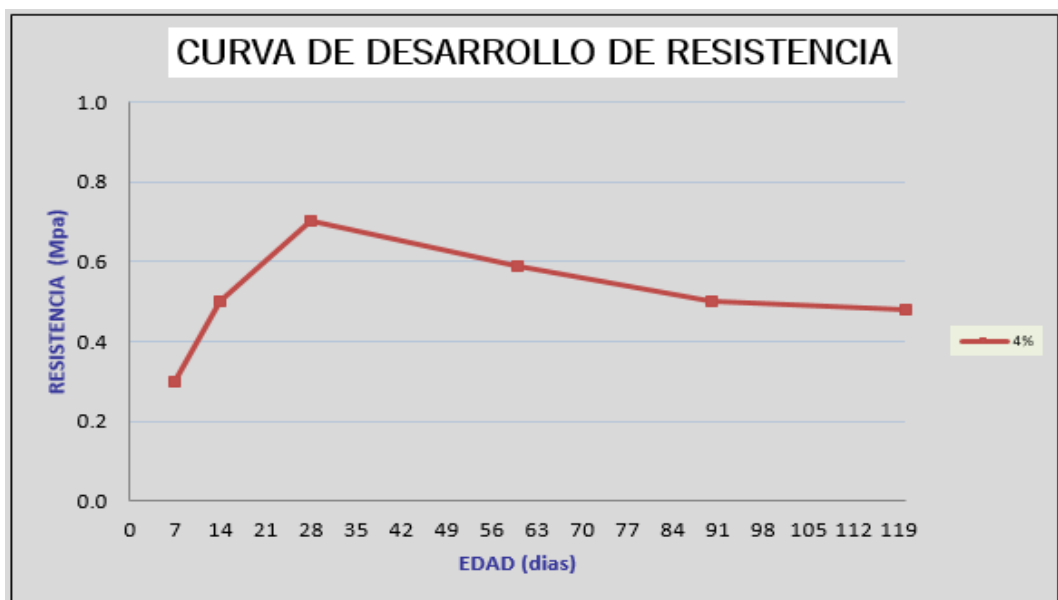
Para el secuenciamiento dentro del *sublevel stoping*, la resistencia de la pasta debe alcanzar 0.64 Mpa a los 28 días de fraguado, con un diseño de 4 % de cemento, tanto para tajos primarios, secundarios. Para tajos terciarios, estos pueden tener una resistencia de 0 Mpa.

**Tabla 5. Parámetros técnicos del relleno en pasta en la mina Cerro Lindo**

PARÁMETROS	VALORES	UNIDAD
Densidad de Relave	> 2350	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje en Sólidos de Relave	> 74	%
Densidad de Pasta	> 2450	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje en Sólidos de Pasta	> 80	%
Cemento	4	%
Granulometría de Relave	45 - 48	% Malla - 200
Slump	9 1/2 - 9 3/4	pulgadas
RESUMEN DISEÑO RELLENO EN PASTA		
CONSIDERACIONES		CEMENTO
DISEÑO		<b>4%</b>
PROPORCION MATERIALES POR METRO CUBICO		
Cemento	kg/m <sup>3</sup>	<b>99</b>
Relave	kg/m <sup>3</sup>	1858
Agua	L/m <sup>3</sup>	545
Densidad del Relleno	kg/m <sup>3</sup>	2502
RESULTADOS OBTENIDOS EN DIAS		
Slump	Pulg.	9 1/2"
Densidad del Relleno	kg/m <sup>3</sup>	2502
Resistencia promedio a 7	MPa	<b>0.80</b>
Resistencia promedio a 14	MPa	<b>1.04</b>
Resistencia promedio a 28	MPa	<b>0.97</b>
Resistencia promedio a 60	MPa	<b>0.85</b>
Resistencia promedio a 90	MPa	<b>0.79</b>
Resistencia promedio a 120	MPa	<b>0.73</b>

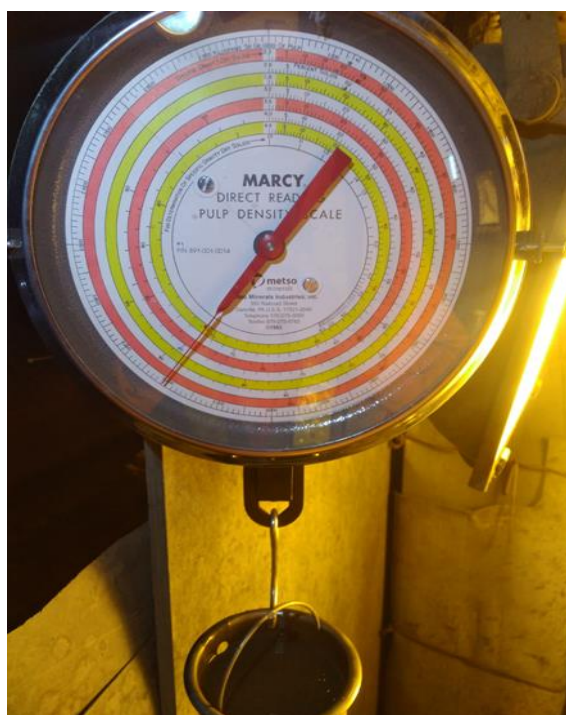
**Tomada de Operaciones mina**





**Figura 17. Curva de desarrollo de resistencia de relleno en pasta Tomada de Operaciones mina**

Las medidas de control en el uso del relleno en pasta se realizan usando la balanza Marcy para la medición de la densidad.



**Figura 18. Balanza Marcy, para determinar la densidad Tomada de Operaciones mina**

Asimismo, dentro de la medida de control, para realizar el ensayo del slump se utilizará el cono de Abraham's.



**Figura 19. Cono de Abraham's para el ensayo del slump  
Tomada de Operaciones mina**

Finalmente, dentro de las pruebas de medida de control, se tomarán muestras de relleno en probetas para su análisis respectivo.

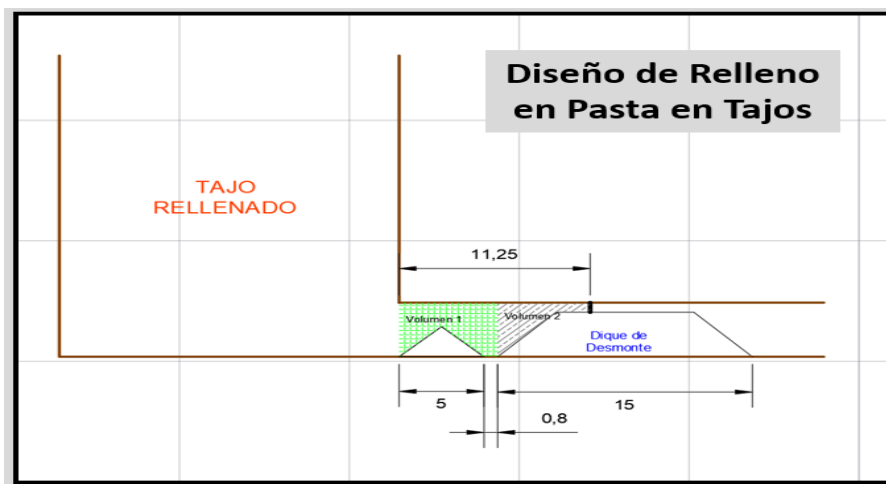


**Figura 20. Toma de muestras de relleno en probetas  
Tomada de Operaciones mina**

### 2.5.6 Preparación de tajos para relleno

La preparación de tajos minados para realizar el relleno en pasta se considera la preparación de diques tapón de concreto armado, de madera o de desmonte, considerando los costos asociados a cada uno de ellos.

De acuerdo con los costos de dique tapón se utiliza el de desmonte, considerando su diseño antes del vaceado del relleno en pasta en los tajos minados.



**Figura 21. Diseño de dique tapón para relleno en pasta  
Tomada de Operaciones mina**

De acuerdo con el diseño del dique tapón se considera un total de 20.8 metros, considerando áreas de seguridad, durante el relleno en pasta.



**Figura 22. Área de seguridad del dique tapón para relleno en pasta**

**Tomada de Operaciones mina**



**Figura 23. Área de relleno en pasta en tajeo, unidad minera Cerro Lindo  
Tomada de Operaciones mina**

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Método y alcances de la investigación**

##### **3.1.1 Método de la investigación**

El método de investigación aplicado en la presente tesis es el científico, ya que permite obtener, procesar información, en forma ordenada y sistemática para solucionar el problema planteado.

##### **a) Método general**

El método empleado en la investigación es el método inductivo - deductivo. Este método está orientado a observar e investigar a fondo los parámetros operacionales de relleno en pasta aplicado al método de minado *sublevel stoping* para el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo. La evaluación de los parámetros operacionales ayudará a entender el comportamiento del ciclo de minado y mejorar la productividad operacional.

##### **b) Métodos específicos**

Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación, se describe el procedimiento de recolección de información y procesamiento, se analiza las variables operacionales de relleno en pasta aplicado al método de minado *sublevel stoping* considerando los siguientes procesos:

- ✓ **Compilación de informes previos.** Se recopiló informes de periodos anteriores con el objetivo de entender los diferentes procesos unitarios en la operación minera, considerando información de las áreas de mina, geología, planta, geomecánica, etc.
- ✓ **Trabajo de campo.** Se realizó la observación pertinente del relleno en pasta, considerando todo el proceso unitario, midiendo las características técnicas de relleno en pasta, así como la densidad, sólidos presentes, relave, cemento, etc., aplicados en el método de minado *sublevel stoping*.
- ✓ **Trabajo de gabinete.** Se realizó un análisis de las variables operacionales del relleno en pasta aplicado en el método de minado *sublevel stoping*, para el cumplimiento del plan de producción.
- ✓ **Resultados.** Se analizó e interpretó los resultados obtenidos durante los periodos enero a marzo, considerando los parámetros operacionales asociados al relleno en pasta, aplicados en tajos minados por el método de minado *sublevel stoping* en la unidad minera Cerro Lindo

### **3.1.2 Alcances de la investigación**

La tesis es aplicada en el área de relleno en pasta, considerando las variables operacionales y su influencia en el cumplimiento de los planes de producción de la unidad minera Cerro Lindo.

### **3.2 Diseño de la investigación**

El trabajo de investigación es descriptivo longitudinal, el cual evaluará y describirá el comportamiento de los parámetros operacionales del relleno en pasta aplicado al método de minado *sublevel stoping*.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

Está definido por los tajos minados por el método de minado *sublevel stoping* en la unidad minera Cerro Lindo.

### **3.3.2 Muestra**

Está relacionado a los tajos del cuerpo mineralizado OB 13 en los niveles NV 1910, Nv 1880 y Nv 1850.

## **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La investigación científica tiene una diversidad de técnicas de recolección de datos que está relacionado al método y tipo de investigación a realizar.

### **3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos**

- ✓ Observar el proceso de relleno en pasta
- ✓ Observación y revisión de información de dique tapón
- ✓ Formularios del proceso de relleno en pasta

### **3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

- ✓ Tablas de relleno en pasta
- ✓ Ficha de datos operacionales de relleno en pasta
- ✓ Plantillas de hojas de cálculo.
- ✓ Libros relacionados al relleno en pasta.
- ✓ Información de internet, etc.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el presente capítulo, se describe y analiza los resultados obtenidos en la aplicación del relleno en pasta, analizando la dosificación del relleno, así como el rendimiento del cemento con el total de relleno aplicado en el método de minado sublevel stoping en la unidad minera Cerro Lindo.

#### **5.1 Consideraciones generales de producción**

La producción anual para el periodo 2022 fue de 6,895,230 toneladas, con una producción diaria promedio de 19,300 toneladas por día de los diferentes frentes operacionales asociado los OB en producción, los diferentes avances ejecutados, durante el mismo periodo fue de 34,000 metros y la cantidad de relleno en pasta fue de 1,620,000 m<sup>3</sup>.

##### **a) Parámetros de producción**

Durante el periodo 2022, se produjo un total de 6,692,400 toneladas, considerando un total de tratamiento de 6,600,000 toneladas, considerando un total de relave de 6,305,924 toneladas.





Tabla 6. *Parámetros operacionales, periodo 2022 en la mina Cerro Lindo*

PARÁMETROS OPERACIONALES 2022

CERRO LINDO		Ene-22	Feb-22	Mar-22	Abr-22	May-22	Jun-22	Jul-22	Ago-22	Set-22	Oct-22	Nov-22	Dic-22	2022
Mineral Extraído	tms	583,047	526,016	545,026	564,037	545,026	564,037	545,026	564,037	564,037	545,026	564,037	583,047	6,692,400
Mineral Tratado	tms	574,997	518,753	537,501	556,249	537,501	556,249	537,501	556,249	556,249	537,501	556,249	574,997	6,600,000
Relave	tm	549,377	495,639	513,552	531,465	513,552	531,465	513,552	531,465	531,465	513,552	531,465	549,377	6,305,924



**Figura 24. Relación mineral producido y tratado con relave, unidad minera Cerro Lindo**  
**Tomada de Operaciones mina**

El total de toneladas de concentrado de cobre fue de 149,304 toneladas considerando un radio de concentración de 44.2. El total de toneladas de concentrado de plomo fue de 18,519 toneladas considerando un radio de concentración de 356.4 y el total de toneladas de concentrado de cobre fue de 126,253 toneladas considerando un radio de concentración de 52.3.

b) Parámetros técnicos de relleno en pasta

Los parámetros considerados en relleno en pasta y el resumen de diseño, son considerados en las siguientes tablas:

**Tabla 7. Parámetros técnicos de relleno en pasta en la mina Cerro Lindo**



**PARÁMETROS DE RELLENO EN PASTA**

PARÁMETROS	VALORES	UNIDAD
Densidad de relave	> 2350	Kg/m3
Porcentaje en solidos de relave	> 74	%
Densidad de pasta	> 2450	Kg/m3
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 de Operaciones mina*

**Tabla 8. Resumen de diseño de relleno en pasta en la mina Cerro Lindo**



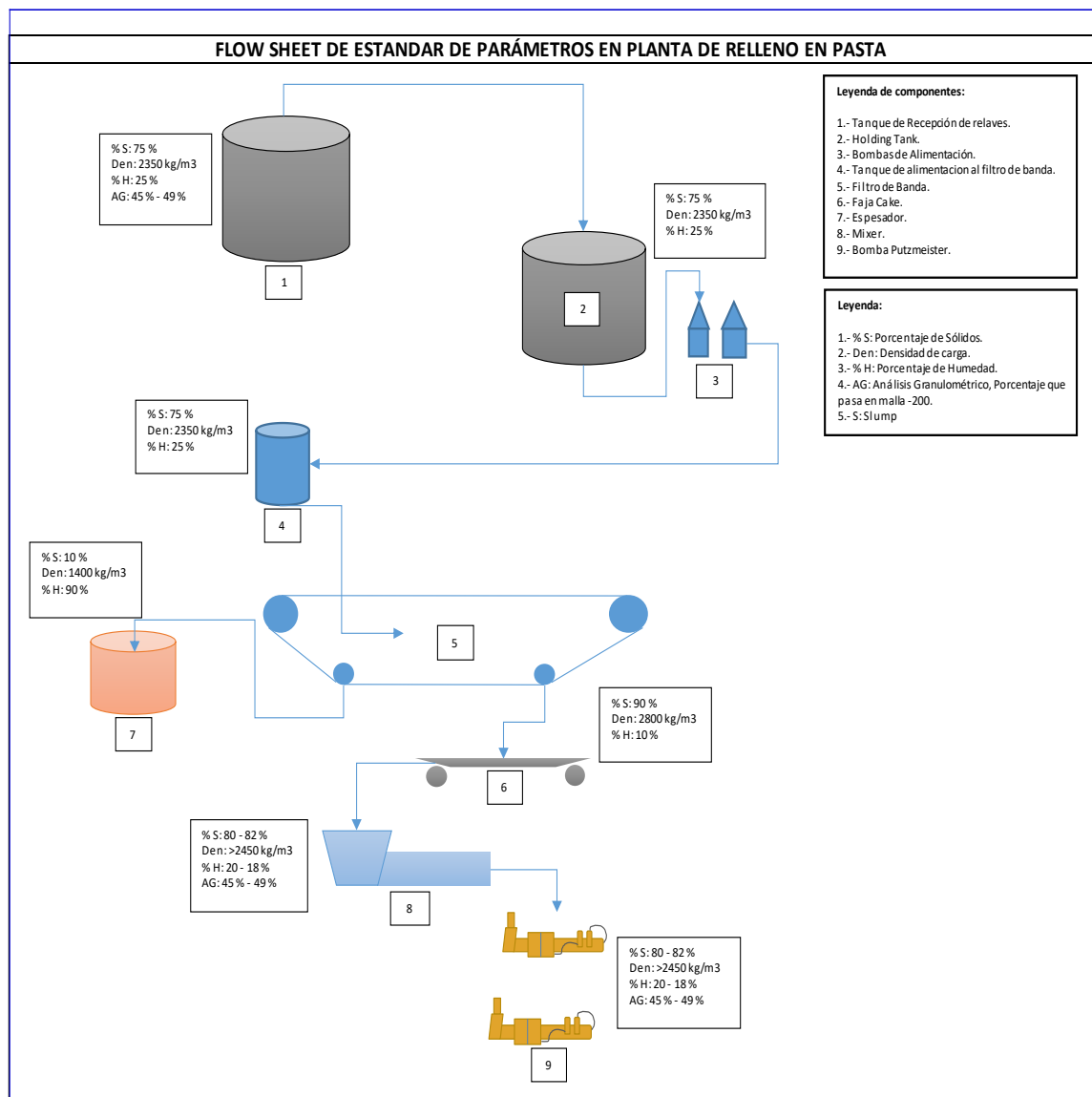
**RESUMEN DE DISEÑO DE RELLENO EN PASTA**

CONSIDERACIONES	CEMENTO	UNIDAD
DISEÑO	4	%
<b>PROPORCIÓN MATERIALES POR METRO CÚBICO</b>		
PARÁMETROS	VALORES	UNIDAD
Cemento	99	Kg/m3
Relave	1858	Kg/m3
Agua	545	lt/m3
Densidad del relleno	2502	Kg/m3

*Tomada de Operaciones mina*

De acuerdo con el presente estudio, se considera un relleno en pasta con condiciones adecuadas a ser utilizadas en los diferentes tajos a rellenarse y son resumidos a continuación, explicado en el *flow shet* estándar de parámetros de planta de relleno en pasta:

- densidad de relave: > 2350 kg/m<sup>3</sup>
- densidad en pasta: > 2450 kg/m<sup>3</sup>
- cemento: 4 %
- slump: 9 ½ a 9 ¾ pulgadas.



**Figura 25. Flow sheet estándar de parámetros en planta de relleno en pasta Tomada de Operaciones mina**

## 5.2 Análisis de las variables operacionales de relleno en pasta – periodo 2022

Durante el periodo de enero a diciembre del 2022 se realizó el análisis del programa de variables operacionales programadas de relleno en pasta aplicado en el método de minado *sublevel stoping*, considerando una: densidad de pasta > 2450 gr/l porcentaje de sólidos en pasta > 80 %, porcentaje de cemento en 4 %, y un slump de 9 ½ a 9 ¾ pulgadas. Los resultados obtenidos durante el periodo 2022 fue de:

Tabla 9. Parámetros de relleno en pasta, periodo 2022 en la mina Cerro Lindo

PARÁMETROS DE RELLENO EN PASTA						
PERIODO ESTUDIO: ENERO A DICIEMBRE 22						
Mes	Densidad (gr/l)	Porc Sólidos(%)	% Cemento	Slump (pulg)	Horas /tajo	M3 Relleno
Ene	2,350.04	74.33	3.65	10.12	5.02	132,225.01
Feb	2,290.96	73.04	4.19	9.96	4.73	124,740.91
Mar	2,292.15	72.04	3.94	9.92	4.51	125,147.70
Abr	2,421.60	76.16	3.93	9.95	5.39	138,149.33
May	2,388.45	74.47	4.22	9.88	4.77	126,837.16
Jun	2,373.03	75.15	3.93	9.60	5.29	132,756.87
Jul	2,359.15	73.72	4.23	9.80	5.12	127,205.95
Ago	2,341.70	74.37	4.37	9.71	4.95	134,660.40
Set	2,281.36	72.90	4.31	9.98	5.08	139,904.42
Oct	2,334.33	74.17	4.25	9.90	4.77	133,248.78
Nov	2,364.63	74.84	4.22	9.76	4.81	145,650.75
Dic	2,399.26	75.70	3.87	10.01	5.51	160,994.08
Promedio	2,350.05	74.23	4.09	9.88	4.99	135,126.78

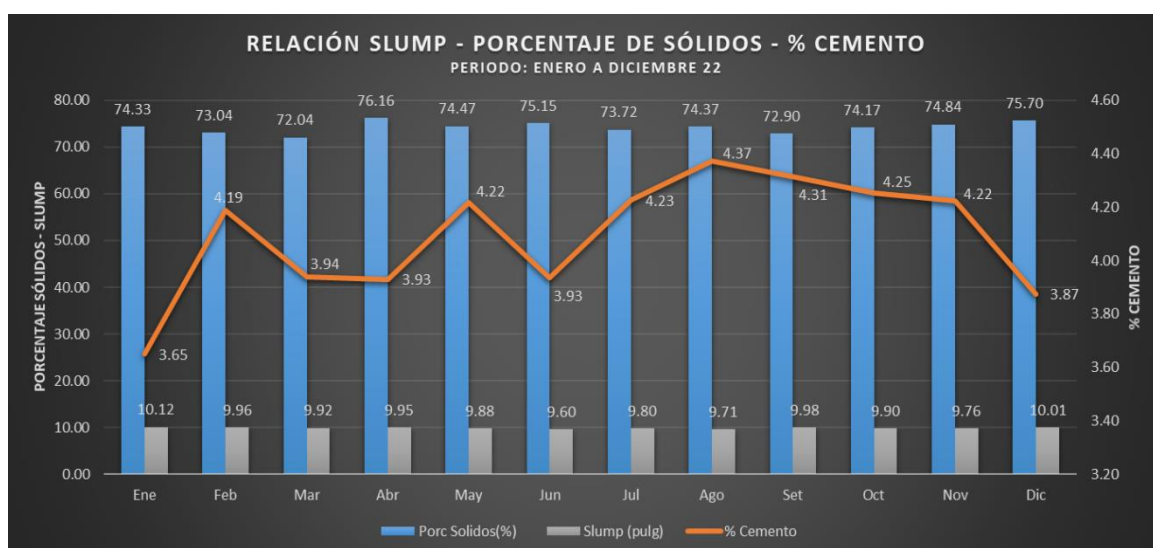


Figura 26. Relación Slump, porcentaje de sólidos y cemento en el relleno en pasta

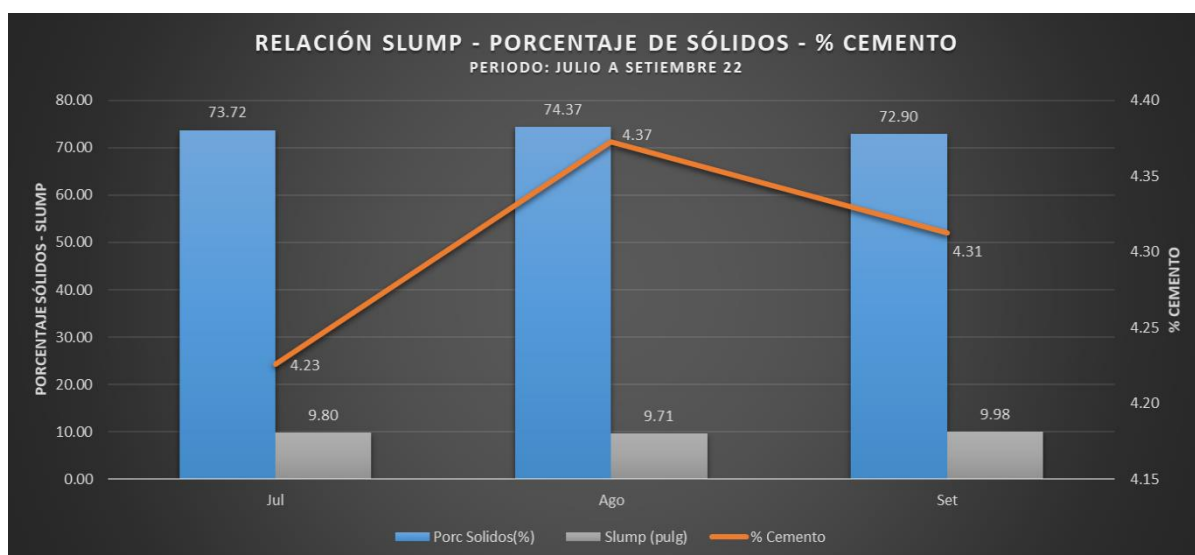
El total de m<sup>3</sup> de relleno en pasta programado durante el periodo de enero a diciembre del 2022 fue de 135,000 m<sup>3</sup> mensuales, siendo el ejecutado de 135,126 m<sup>3</sup> de relleno en pasta. Los parámetros operacionales mensuales promedio de relleno en pasta fue: densidad de pasta en 2,350.05 gr/l, el porcentaje de sólidos en pasta en 74.23 %, el porcentaje de cemento fue de 4.09% y un slump de 9.88 pulgadas.

Durante el estudio realizado en la presente tesis, se comparó los escenarios de julio a setiembre y de octubre a diciembre, considerando todos los frentes operacionales de la unidad minera Cerro Lindo.

a) Periodo julio a setiembre (todos los tajos)

**Tabla 10. Parámetros de relleno en pasta, periodo julio a setiembre en la mina Cerro Lindo**

PARÁMETROS DE RELLENO EN PASTA						
PERIODO ESTUDIO: JULIO A SETIEMBRE						
Mes	Densidad (gr/lt)	Porc Sólidos(%)	% Cemento	Slump (pulg)	Horas /tajo	M3 Relleno
Jul	2,359.15	73.72	4.23	9.80	5.12	127,205.95
Ago	2,341.70	74.37	4.37	9.71	4.95	134,660.40
Set	2,281.36	72.90	4.31	9.98	5.08	139,904.42
Total/Promedio	2,326.21	73.65	4.31	9.83	5.05	401,770.77



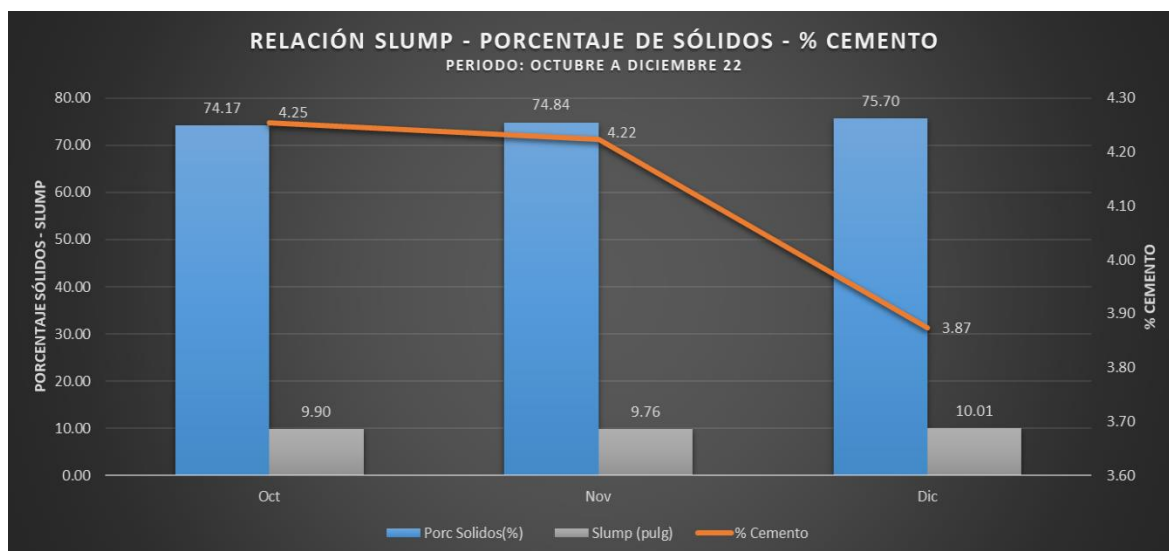
**Figura 27. Relación Slump, porcentaje de sólidos y cemento en el relleno en pasta**

El promedio de m<sup>3</sup> de relleno en pasta programado durante el periodo de julio a setiembre del 2022 fue de 135,000 m<sup>3</sup> mensuales, siendo el ejecutado de 133,923.59 m<sup>3</sup> de relleno en pasta. Los parámetros operacionales mensuales promedio de relleno en pasta fue de: densidad de pasta en 2,326.21 gr/l, el porcentaje de sólidos en pasta en 73.65 %, el porcentaje de cemento fue de 4.31% y un slump de 9.83 pulgadas.

b) Periodo octubre a diciembre (todos los tajos)

**Tabla 11. Parámetros, relleno en pasta, periodo octubre a diciembre en la UM Cerro Lindo**

PARÁMETROS DE RELLENO EN PASTA						
PERIODO ESTUDIO: OCTUBRE A DICIEMBRE 22						
Mes	Densidad (gr/lt)	Porc Sólidos(%)	% Cemento	Slump (pulg)	Horas /tajo	M3 Relleno
Oct	2,334.33	74.17	4.25	9.90	4.77	133,248.78
Nov	2,364.63	74.84	4.22	9.76	4.81	145,650.75
Dic	2,399.26	75.70	3.87	10.01	5.51	160,994.08
Total/Promedio	2,350.05	74.23	4.09	9.88	4.99	439,893.61



**Figura 28. Relación Slump, porcentaje de sólidos y cemento en el relleno en pasta**

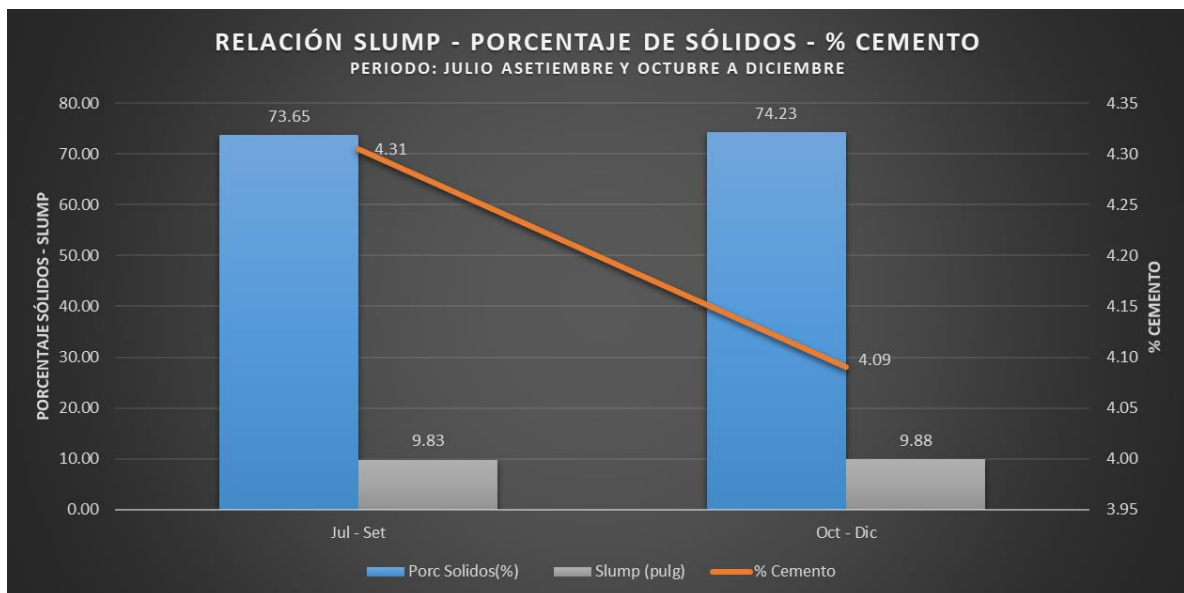
El promedio de m<sup>3</sup> de relleno en pasta programado durante el periodo de octubre a diciembre del 2022 fue de 135,000 m<sup>3</sup> mensuales, siendo el ejecutado de 146,631.20 m<sup>3</sup> de relleno en pasta. Los parámetros operacionales mensuales promedio de relleno en pasta fue de: densidad de pasta en 2,350.05 gr/l, el

porcentaje de sólidos en pasta en 74.23 %, el porcentaje de cemento fue de 4.09% y un *slump* de 9.88 pulgadas.

c) Resumen periodos julio a setiembre y octubre a diciembre (todos los tajos)

**Tabla 12. Resumen de parámetros, relleno en pasta, periodo julio a setiembre y de octubre a diciembre en la UM Cerro Lindo**

RESUMEN PARÁMETROS DE RELLENO EN PASTA					
<b>nexa</b>					
PERIODO: JULIO A SETIEMBRE Y OCTUBRE A DICIEMBRE 2022					
Mes	Densidad (gr/lt)	Porc Sólidos(%)	% Cemento	Slump (pulg)	M3 Relleno
Jul - Set	2,326.21	73.65	4.31	9.83	401,770.77
Oct - Dic	2,350.05	74.23	4.09	9.88	439,893.61
Promedio	2,338.67	73.96	4.19	9.86	841,664.38
Diferencia		0.58	-0.21	0.05	38,122.84



**Figura 29. Relación Slump, porcentaje de sólidos y cemento en el relleno en pasta**

El total de m<sup>3</sup> de relleno en pasta ejecutados durante el periodo julio a setiembre fue de 401,770.77 m<sup>3</sup> y para el periodo de octubre a diciembre fue de 439,893.61 m<sup>3</sup>. Este mayor incremento en el segundo periodo de estudio fue de 38,122.84 m<sup>3</sup>, considerando mejoras en un incremento de sólidos del 0.58 %, con una disminución de porcentaje del cemento en – 0.21 % y un incremento del *slump* en 0.05 pulgadas, mejorando la productividad en el segundo escenario del relleno en pasta en la unidad minera Cerro Lindo.

### 5.3 Análisis del rendimiento de relleno en pasta – periodo de estudio

El presente trabajo de investigación realizó el análisis del rendimiento de las variables operacionales de relleno en pasta aplicado en el método de minado *sublevel stoping* durante el periodo de julio a diciembre, considerando el ore body 13 (OB 13), niveles 1910, 1880 y 1850 del año 2022. El análisis del periodo de estudio se comparó con las variables programadas siendo estas: inicio y fin de relleno, volumen de relleno (m<sup>3</sup>), % de cemento, y densidad de relleno en pasta, para determinar el rendimiento de los tajos asociadas en el OB 13 y los niveles evaluados. Los resultados obtenidos, durante el periodo de estudio fue de:

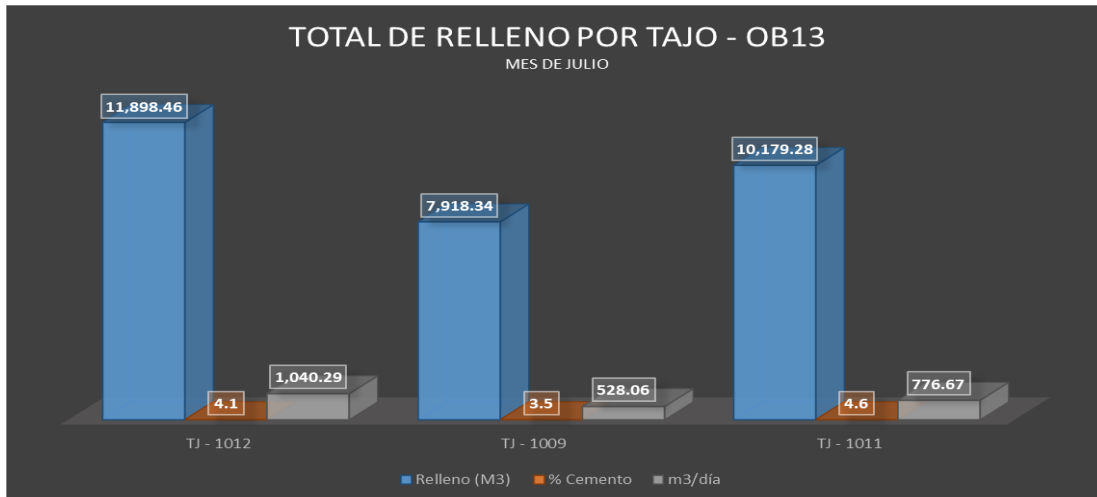
✓ Periodo de julio

**Tabla 13. Rendimiento de relleno en pasta, periodo julio en el OB 13**

RENDIMIENTO DE RELLENO EN PASTA - OB13												
PERIODO JULIO												
Nv.	Tajo	OB	VALORES					TOTAL RELLENO POR TAJEO			TIEMPO Dias	RENDIMIENTO m3/día
			Inicio Relleno	Fin de Relleno	M3	% Cemento	Densidad gr/lt	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt		
1910	1012	13	01-Jul	01-Jul	678.03	5	2,230	11,898.46	4.1	2,273	1	678.03
			01-Jul	08-Jul	11,220.43	4	2,276				8	1,402.55
	1009	13	02-Jul	09-Jul	4,203.65	4	2,248	7,918.34	3.5	2,255	8	525.46
			03-Jul	09-Jul	3,714.69	3	2,262				7	530.67
1880	1011	13	14-Jul	14-Jul	654.35	7	2,300	10,179.28	4.6	2,256	1	654.35
			10-Jul	11-Jul	863.74	6	2,204				2	431.87
			12-Jul	14-Jul	2,161.58	5	2,257				3	720.53
			14-Jul	18-Jul	6,499.61	4	2,259				5	1,299.92
Total general / Promedio			01-Jul	18-Jul	29,996.08		2,263	29,996.08	4.1	2,263	35	780.42

Tajo	TOTAL RELLENO POR TAJEO - OB13			TIEMPO	RENDIMIENTO
	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt	DIAS	m3/día
TJ - 1012	11,898.46	4.1	2,273	9	1,040.29
TJ - 1009	7,918.34	3.5	2,255	15	528.06
TJ - 1011	10,179.28	4.6	2,256	11	776.67
TOTAL/PROM	29,996.08	4.1	2,263	35	780.42





**Figura 30. Total de relleno por tajo – OB 13 de relleno en pasta, mes de julio**

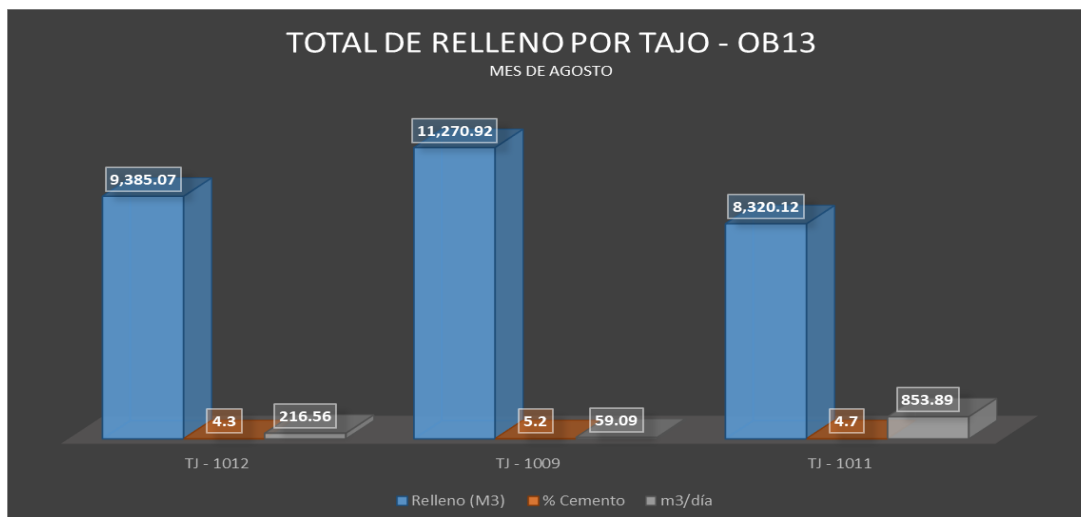
El total de relleno en pasta durante el mes de julio fue de 29,996.08 m<sup>3</sup> con un porcentaje de cemento de 4.1 %, con una densidad de relleno promedio de 2,263 gr/l, con un tiempo total de relleno de 35 días y un rendimiento promedio de 780.42 m<sup>3</sup>/día.

✓ Periodo de agosto

**Tabla 14. Rendimiento de relleno en pasta, periodo agosto en el OB 13**

RENDIMIENTO DE RELLENO EN PASTA - OB13												
PERIODO AGOSTO												
Nv.	Tajo	OB	VALORES					TOTAL RELLENO POR TAJEO			TIEMPO Días	RENDIMIENTO m3/día
			Inicio Relleno	Fin de Relleno	M3	% Cemento	Densidad gr/lt	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt		
1910	1014	13	28-Ago	28-Ago	161.43	7	2230	9,385.07	4.3	2,273	1	161.43
			09-Ago	20-Ago	2188.44	5	2308				12	182.37
			06-Ago	28-Ago	7035.19	4	2264				23	305.88
	1016	13	02-Ago	29-Ago	1794.39	7	2230	11,270.92	5.2	2,246	28	64.09
			02-Ago	31-Ago	8178.48	5	2243				30	
			01-Ago	24-Ago	1298.04	4	2288				24	54.09
	1011A	13	25-Ago	31-Ago	5594.35	5	2227	8,320.12	4.7	2,229	7	799.19
23-Ago			25-Ago	2725.76	4	2235	3				908.59	
Total general / Promedio			01-Ago	31-Ago	28,976.11		2,250	28,976.11	4.8	2,250	128	353.66

Tajo	TOTAL RELLENO POR TAJEO - OB13			TIEMPO	RENDIMIENTO
	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt	DIAS	m3/día
TJ - 1012	9,385.07	4.3	2,273	36	216.56
TJ - 1009	11,270.92	5.2	2,246	82	59.09
TJ - 1011	8,320.12	4.7	2,229	10	853.89
TOTAL/PROM	28,976.11	4.8	2,250	128	353.66



**Figura 31. Total de relleno por tajo – OB 13 de relleno en pasta, mes de agosto**

El total de relleno en pasta durante el mes de agosto fue de 28,976.11 m<sup>3</sup> con un porcentaje de cemento de 4.8 %, con una densidad de relleno promedio de 2,250 gr/l, con un tiempo total de relleno de 128 días y un rendimiento promedio de 353.66 m3/día.

✓ Periodo de setiembre

**Tabla 15. Rendimiento de relleno en pasta, periodo setiembre en el OB 13**

**RENDIMIENTO DE RELLENO EN PASTA - OB13**  
PERIODO SETIEMBRE

Nv.	Tajo	OB	VALORES					TOTAL RELLENO POR TAJEO			TIEMPO Dias	RENDIMIENTO m3/día
			Inicio Relleno	Fin de Relleno	M3	% Cemento	Densidad gr/lt	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt		
1910	1014	13	10-Set	11-Set	1137.48	4	2108	1,137.48	4.0	2,108	2	568.74
	1016	13	02-Set	03-Set	3930.15	5	2236	19,498.57	4.2	2,198	2	1,965.07
			03-Set	19-Set	15568.42	4	2188				17	915.79
	1011A	13	01-Set	16-Set	5432.78	5	2205	15,587.47	4.3	2,209	16	339.55
01-Set			20-Set	10154.69	4	2211	20				507.73	
1880	1008	13	13-Set	13-Set	818.98	4	2085	818.98	4.0	2,085	1	818.98
	1011C	13	28-Set	29-Set	1153.34	5	2233	4,145.65	4.3	2,298	2	576.67
			27-Set	30-Set	2992.31	4	2323				4	748.08
Total general / Promedio			01-Jul	18-Jul	41,188.15		2,208	41,188.15	4.3	2,208	64	805.08

Tajo	TOTAL RELLENO POR TAJEO - OB13			TIEMPO	RENDIMIENTO
	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt	DIAS	m3/día
TJ - 1014	1,137.48	4.0	2,108	2	568.74
TJ - 1016	19,498.57	4.2	2,198	19	1,440.43
TJ - 1011A	15,587.47	4.3	2,209	36	423.64
TJ - 1008	818.98	4.0	2,085	1	818.98
TJ - 1011C	4,145.65	4.3	2,298	6	662.37
TOTAL/PROM	41,188.15	4.3	2,208	64	805.08

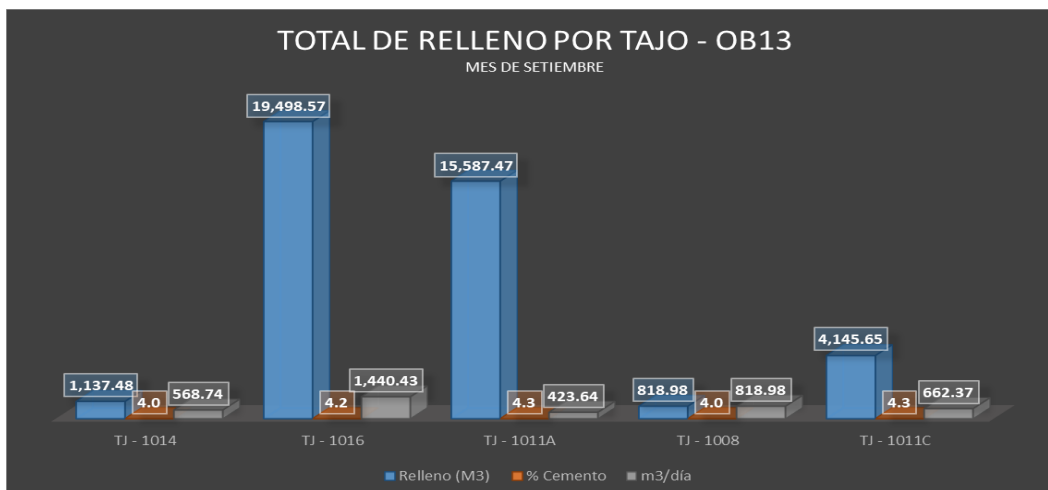


Figura 32. Total de relleno por tajo – OB 13 de relleno en pasta, mes de setiembre

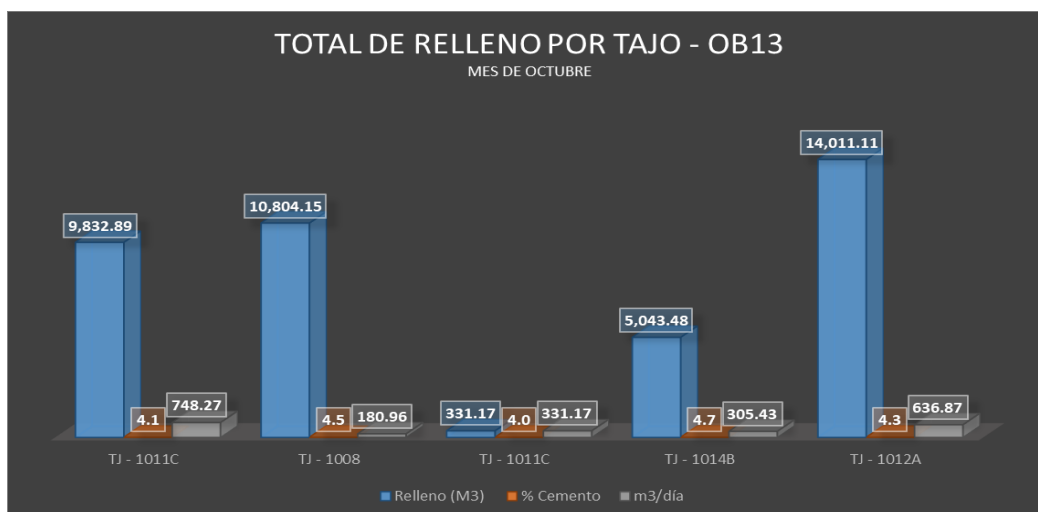
El total de relleno en pasta durante el mes de setiembre fue de 41,188.15 m<sup>3</sup> con un porcentaje de cemento de 4.3 %, con una densidad de relleno promedio de 2,208 gr/l, con un tiempo total de relleno de 64 días y un rendimiento promedio de 805.08 m<sup>3</sup>/día.

✓ Periodo de octubre

Tabla 16. Rendimiento de relleno en pasta, periodo octubre en el OB 13

RENDIMIENTO DE RELLENO EN PASTA - OB13												
PERIODO OCTUBRE												
Nv.	Tajo	OB	VALORES					TOTAL RELLENO POR TAJEO			TIEMPO	RENDIMIENTO
			Inicio Relleno	Fin de Relleno	M3	% Cemento	Densidad gr/lt	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt	Dias	m3/día
1910	1011C	13	16-Oct	17-Oct	1473.10	5	2203	9,832.89	4.1	2,249	2	736.55
			15-Oct	25-Oct	8359.79	4	2257				11	759.98
1880	1008	13	01-Oct	08-Oct	1188.61	7	2230	10,804.15	4.5	2,219	8	148.58
			02-Oct	27-Oct	1975.37	5	2217				26	75.98
			08-Oct	31-Oct	7640.17	4	2219				24	318.34
			01-Oct	01-Oct	331.17	4	2310				1	331.17
1880	1014B	13	01-Oct	08-Oct	3634.67	5	2291	5,043.48	4.7	2,276	8	454.33
			01-Oct	09-Oct	1408.81	4	2237				9	156.53
	1012A	13	05-Oct	15-Oct	3841.85	5	2256				11	349.26
			07-Oct	17-Oct	10169.26	4	2200				11	924.48
Total general / Promedio			01-Oct	31-Oct	40022.8		2233	40,022.80	4.4	2,233	111	425.52

Tajo	TOTAL RELLENO POR TAJEO - OB13			TIEMPO	RENDIMIENTO
	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt	DIAS	m3/día
TJ - 1011C	9,832.89	4.1	2,249	13	748.27
TJ - 1008	10,804.15	4.5	2,219	58	180.96
TJ - 1011C	331.17	4.0	2,310	1	331.17
TJ - 1014B	5,043.48	4.7	2,276	17	305.43
TJ - 1012A	14,011.11	4.3	2,216	22	636.87
TOTAL/PROM	40,022.80	4.4	2,233	111	425.52



**Figura 33. Total de relleno por tajo – OB 13 de relleno en pasta, mes de octubre**

El total de relleno en pasta durante el mes de octubre fue de 40,022.80 m<sup>3</sup> con un porcentaje de cemento de 4.4 %, con una densidad de relleno promedio de 2,233 gr/l, con un tiempo total de relleno de 121 días y un rendimiento promedio de 425.52 m<sup>3</sup>/día.

✓ Periodo de noviembre

**Tabla 17. Rendimiento de relleno en pasta, periodo noviembre en el OB 13**

**RENDIMIENTO DE RELLENO EN PASTA - OB13**  
PERIODO NOVIEMBRE

Nv.	Tajo	OB	VALORES					TOTAL RELLENO POR TAJEO			TIEMPO	RENDIMIENTO
			Inicio Relleno	Fin de Relleno	M3	% Cemento	Densidad gr/lt	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt	Dias	m3/día
1910	1019	13	25-Nov	26-Nov	647.12	5	2214	1,320.10	4.5	2,199	2	323.56
			22-Nov	22-Nov	672.97	4	2185				1	672.97
1880	1008	13	22-Nov	29-Nov	9040.21	5	2179	11,716.16	4.7	2,183	8	1,130.03
			04-Nov	22-Nov	2373.20	4	2200				19	124.91
			21-Nov	21-Nov	302.75	3	2180				1	302.75
Total general / Promedio			01-Jul	18-Jul	13,036.26		2,185	13,036.26	4.7	2,185	31	510.84

Tajo	TOTAL RELLENO POR TAJEO - OB13			TIEMPO	RENDIMIENTO
	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt	DIAS	m3/día
TJ - 1019	1,320.10	4.5	2,199	3	498.27
TJ - 1008	11,716.16	4.7	2,183	28	519.23
TOTAL/PROM	13,036.26	4.7	2,185	31	510.84

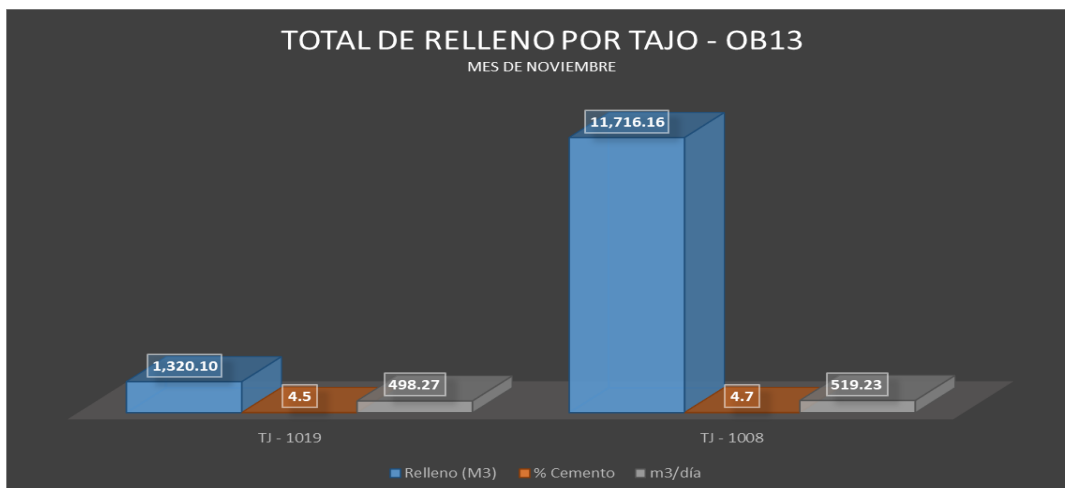


Figura 34. Total de relleno por tajo – OB 13 de relleno en pasta, mes de noviembre

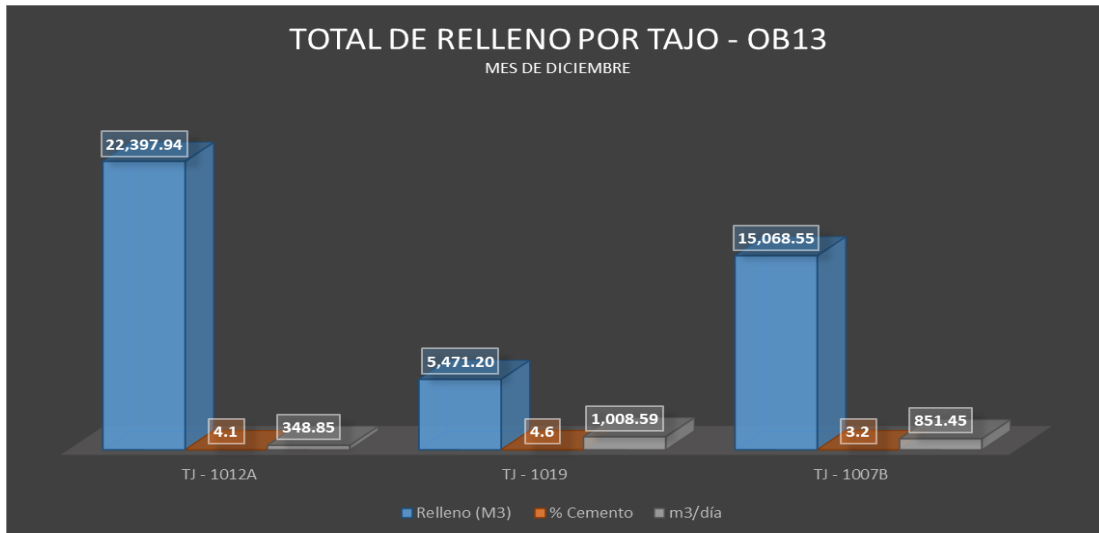
El total de relleno en pasta durante el mes de noviembre fue de 13,036.26 m<sup>3</sup> con un porcentaje de cemento de 4.7 %, con una densidad de relleno promedio de 2,185 gr/l, con un tiempo total de relleno de 31 días y un rendimiento promedio de 510.84 m<sup>3</sup>/día.

✓ Periodo de diciembre

Tabla 18. Rendimiento de relleno en pasta, periodo diciembre en el OB 13

RENDIMIENTO DE RELLENO EN PASTA - OB13												
PERIODO DICIEMBRE												
Nv.	Tajo	OB	VALORES					TOTAL RELLENO POR TAJEO			TIEMPO Dias	RENDIMIENTO m3/día
			Inicio Relleno	Fin de Relleno	M3	% Cemento	Densidad gr/lt	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt		
1910	1012A	13	11-Dic	14-Dic	4588.27	5.0	2190	22,397.94	4.1	2,264	4	1,147.07
			18-Dic	28-Dic	15716.60	4.0	2281				11	1,428.78
			14-Dic	20-Dic	2093.08	3.0	2302				6	348.85
	1019	13	28-Dic	31-Dic	3454.01	5.0	2210	5,471.20	4.6	2,221	4	863.50
			29-Dic	30-Dic	2017.19	4.0	2240				2	1,008.59
1850	1007B	13	11-Dic	13-Dic	1166.59	5.0	2177	15,068.55	3.2	2,293	3	388.86
			18-Dic	18-Dic	278.81	4.0	2350				1	278.81
			14-Dic	29-Dic	13623.15	3.0	2302				16	851.45
Total general / Promedio			11-Dic	31-Dic	42,937.69		2,269	42,937.69	3.8	2,269	47	789.49

Tajo	TOTAL RELLENO POR TAJEO - OB13			TIEMPO	RENDIMIENTO
	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt	DIAS	m3/día
TJ - 1012A	22,397.94	4.1	2,264	6	348.85
TJ - 1019	5,471.20	4.6	2,221	2	1,008.59
TJ - 1007B	15,068.55	3.2	2,293	16	851.45
TOTAL/PROM	42,937.69	3.8	2,269	24	789.49



**Figura 35. Total de relleno por tajo – OB 13 de relleno en pasta, mes de diciembre**

El total de relleno en pasta durante el mes de diciembre fue de 42,937.69 m<sup>3</sup> con un porcentaje de cemento de 3.8 %, con una densidad de relleno promedio de 2,269 gr/l, con un tiempo total de relleno de 24 días y un rendimiento promedio de 789.49 m<sup>3</sup>/día.

✓ Resumen

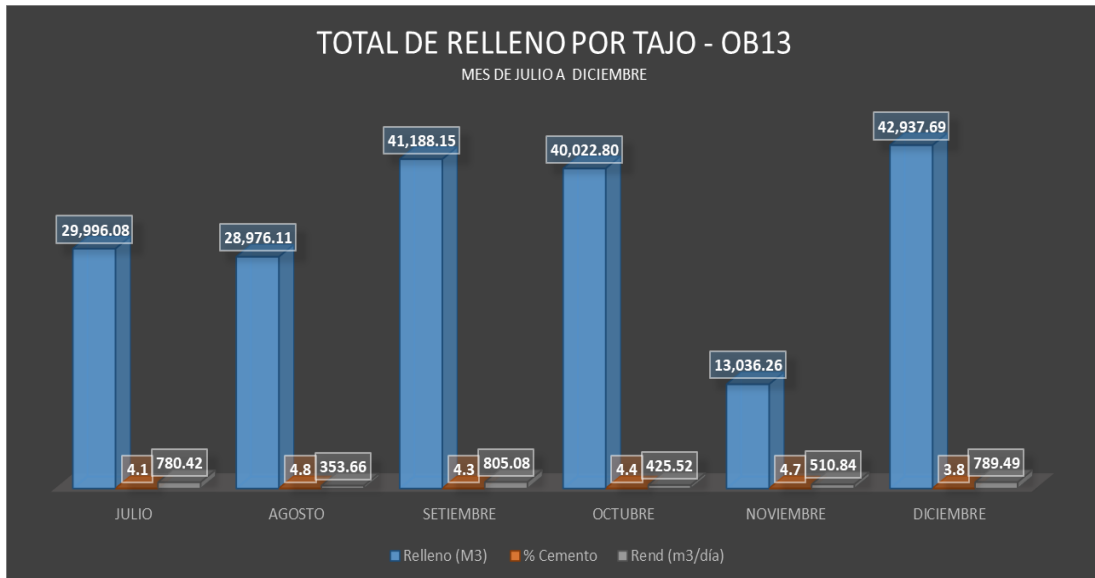
**Tabla 19. Resumen de rendimiento de relleno en pasta en el OB 13**

**RESUMEN DE RENDIMIENTO DE RELLENO EN PASTA - OB13**

PERIODO JULIO A DICIEMBRE



PERIODO	TOTAL RELLENO POR TAJEO - OB13			TIEMPO	RENDIMIENTO
	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt	DIAS	Rend (m3/día)
JULIO	29,996.08	4.1	2,263	35	780.42
AGOSTO	28,976.11	4.8	2,250	128	353.66
SETIEMBRE	41,188.15	4.3	2,208	64	805.08
OCTUBRE	40,022.80	4.4	2,233	111	425.52
NOVIEMBRE	13,036.26	4.7	2,185	31	510.84
DICIEMBRE	42,937.69	3.8	2,269	24	789.49
TOTAL/PROMEDIO	<b>196,157.09</b>	4.3	2,239	68	<b>634.21</b>



**Figura 36. Resumen total de relleno por tajo – OB 13 de relleno en pasta**

El total de relleno en pasta durante el periodo de estudio de julio a diciembre fue de 196,157.09 m<sup>3</sup> con un porcentaje de cemento promedio de 4.3, con una densidad de relleno promedio de 2,239 gr/l, con un tiempo total de relleno de 393 días y un rendimiento promedio de 634.21 m<sup>3</sup>/día.

Los mejores rendimientos se realizaron en los meses de julio, setiembre y diciembre con rendimientos de 780.42 m<sup>3</sup>/día, 805.08 m<sup>3</sup>/día y 789.49 m<sup>3</sup>/día, considerando un consumo de cemento de 4.1 %, 4.3% y 3.8% respectivamente.

#### **5.4 Análisis de los parámetros de relleno en pasta – periodo de estudio**

Durante el periodo de estudio de julio a diciembre del 2022 se realizó el análisis de las variables operacionales programadas de relleno en pasta aplicado en el método de minado *sublevel stoping*, considerando variables programadas como: densidad de pasta > 2450 gr/l, porcentaje de sólidos en pasta > 80 %, porcentaje de cemento en 4 %, y un *slump* de 9 ½ a 9 ¾ pulgadas.

Los resultados obtenidos durante el periodo 2022, programado y ejecutado fueron analizados durante los periodos julio a setiembre y de octubre a diciembre.

a) Periodo julio a setiembre

El total de m<sup>3</sup> de relleno en pasta ejecutado durante el periodo de julio a setiembre del 2022 fue de 100,160.34 m<sup>3</sup> mensuales, considerando una densidad de pasta en 2,236 gr/l, el porcentaje de sólidos en pasta en 71.83 %, el porcentaje de cemento fue de 4.36% y un *slump* de 10.49 pulgadas.

Tabla 20. Resumen de parámetros de relleno en pasta en el OB 13, periodo julio a setiembre

PARÁMETROS DE RELLENO EN PASTA - OB13						
PERIODO ESTUDIO: JULIO A SETIEMBRE						
Mes	Densidad (gr/lt)	Porc Sólidos(%)	% Cemento	Slump (pulg)	Horas /tajo	M3 Relleno
Jul	2,263	72.42	4.16	10.47	5.30	29,996.08
Ago	2,250	72.12	4.74	10.40	4.66	28,976.11
Set	2,208	71.19	4.25	10.58	5.10	41,188.15
Total/Promedio	2,236	71.83	4.36	10.49	5.03	100,160.34

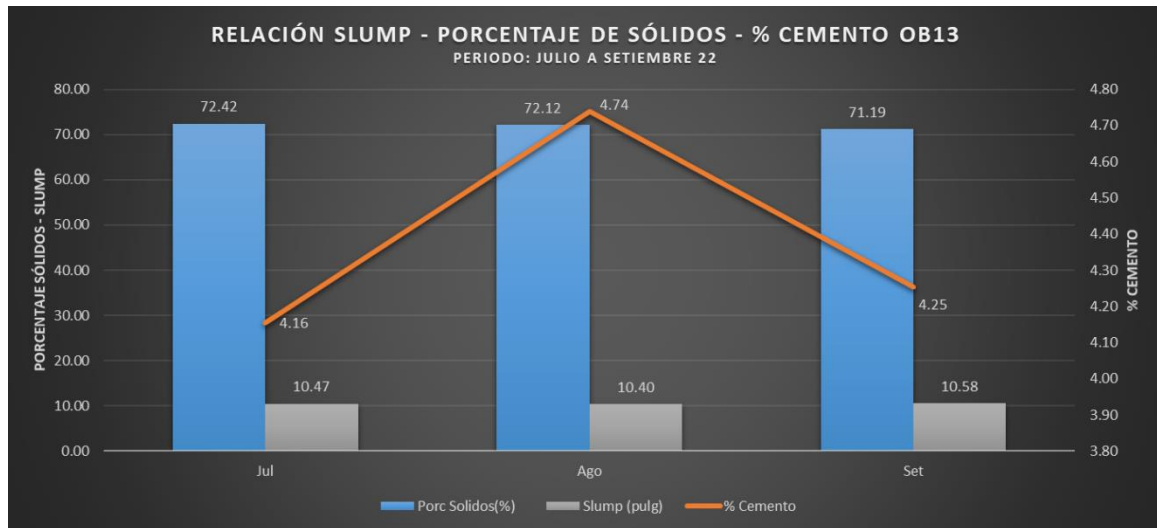


Figura 37. Relación slump, porcentaje de sólidos y % de cemento en el OB13, julio a setiembre


El mayor *slump* se observa en el mes de setiembre con 10.58 pulgadas, con un porcentaje de cemento de 4.36 % y un porcentaje de sólidos de 71.19 %. la mayor cantidad de sólidos se da en el mes de julio con el 72.42 % y el mayor consumo de porcentaje de cemento es en el mes de agosto con 4.74 %.

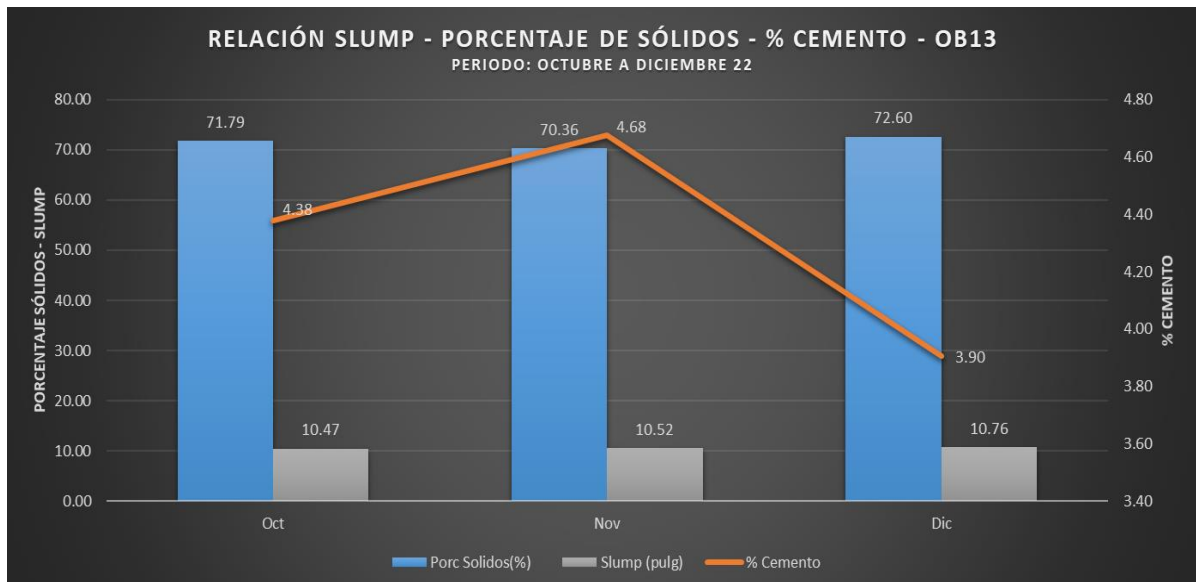


b) Periodo octubre a diciembre

El total de m<sup>3</sup> de relleno en pasta ejecutado durante el periodo de octubre a diciembre del 2022 fue de 95,996.75 m<sup>3</sup> mensuales, considerando una densidad de pasta en 2,350.05 gr/l, el porcentaje de sólidos en pasta es del 74.23 %, el porcentaje de cemento fue de 4.09% y un *slump* de 9.88 pulgadas.

**Tabla 21. Resumen de parámetros de relleno en pasta en el OB 13, periodo octubre a diciembre**

 <b>PARÁMETROS DE RELLENO EN PASTA</b> PERIODO ESTUDIO: OCTUBRE A DICIEMBRE 22						
Mes	Densidad (gr/lt)	Porc Sólidos(%)	% Cemento	Slump (pulg)	Horas /tajo	M3 Relleno
Oct	2,233.33	71.79	4.38	10.47	4.99	40,022.80
Nov	2,184.73	70.36	4.68	10.52	4.23	13,036.26
Dic	2,268.99	72.60	3.90	10.76	4.84	42,937.69
Total/Promedio	2,350.05	74.23	4.09	9.88	4.99	95,996.75



**Figura 38. Relación slump, porcentaje de sólidos y % de cemento en el OB13, octubre a diciembre**

El mayor *slump* se observa en el mes de diciembre con 10.76 pulgadas, con un porcentaje de cemento de 3.90 % y un porcentaje de sólidos de 72.60 %. La mayor cantidad de sólidos se da en el mismo mes de diciembre y el mayor consumo de porcentaje de cemento se da en el mes de noviembre con 4.68 %.

c) Resumen periodo de estudio

Durante el periodo de estudio, se considera un total de m<sup>3</sup> de relleno en pasta ejecutado de 196,157.09 m<sup>3</sup>, considerando una densidad de pasta promedio de 2,292.00 gr/l, el porcentaje de sólidos en pasta promedio es del 73 %, el porcentaje promedio de cemento fue de 4.23 % y un slump promedio de 10.20 pulgadas, relacionado al cuerpo mineralizado OB 13.

Tabla 22. Resumen de parámetros de relleno en pasta en el OB 13, periodo julio a diciembre

RESUMEN DE PARÁMETROS DE RELLENO EN PASTA - OB13						
PERIODOS ESTUDIO: JULIO A SETIEMBRE - OCTUBRE A DICIEMBRE						
Mes	Densidad (gr/l)	Porc Sólidos(%)	% Cemento	Slump (pulg)	Horas /tajo	M3 Relleno
Jul - Set	2,236.37	71.83	4.36	10.49	5.03	100,160.34
Oct - Dic	2,350.05	74.23	4.09	9.88	4.99	95,996.75
Promedio/Total	2,292.00	73.00	4.23	10.20	5.01	196,157.09
<b>DIFERENCIA</b>	<b>113.68</b>	<b>2.41</b>	<b>-0.27</b>	<b>-0.61</b>	<b>-0.04</b>	<b>-4,163.58</b>

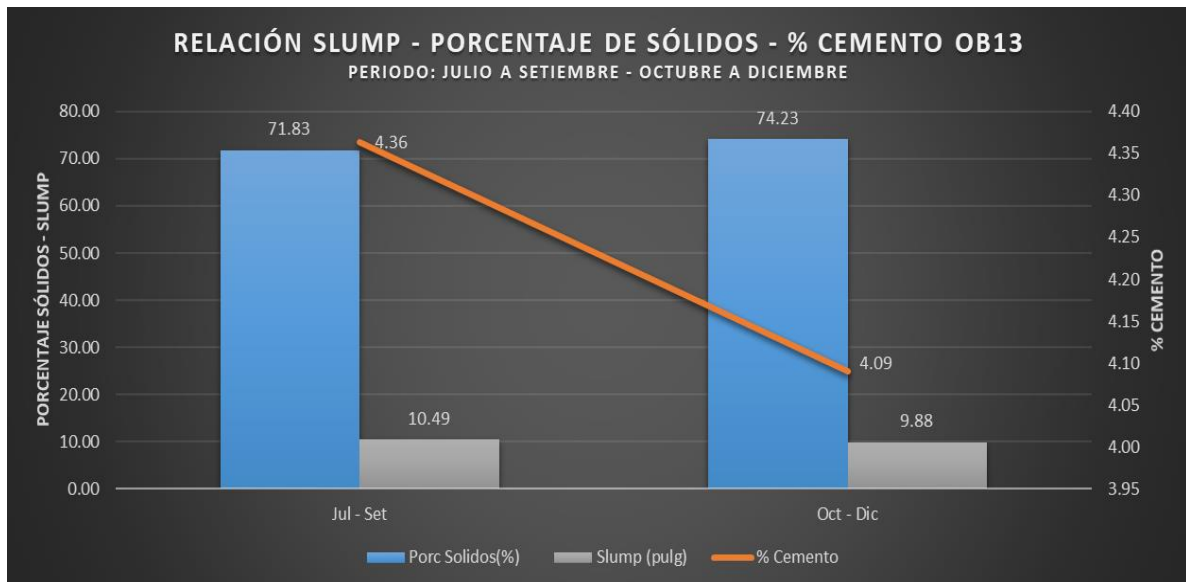


Figura 39. Relación slump, porcentaje de sólidos y % de cemento en el OB13, julio a diciembre

Durante el periodo de estudio hubo un incremento de la densidad en el segundo periodo, así también un incremento de porcentaje de sólidos en 2.41 %, disminuyendo el porcentaje de cemento en 0.27 %, una disminución del slump en 0.61 pulgadas y un menor volumen de relleno en pasta de 4,163.58 m<sup>3</sup>.

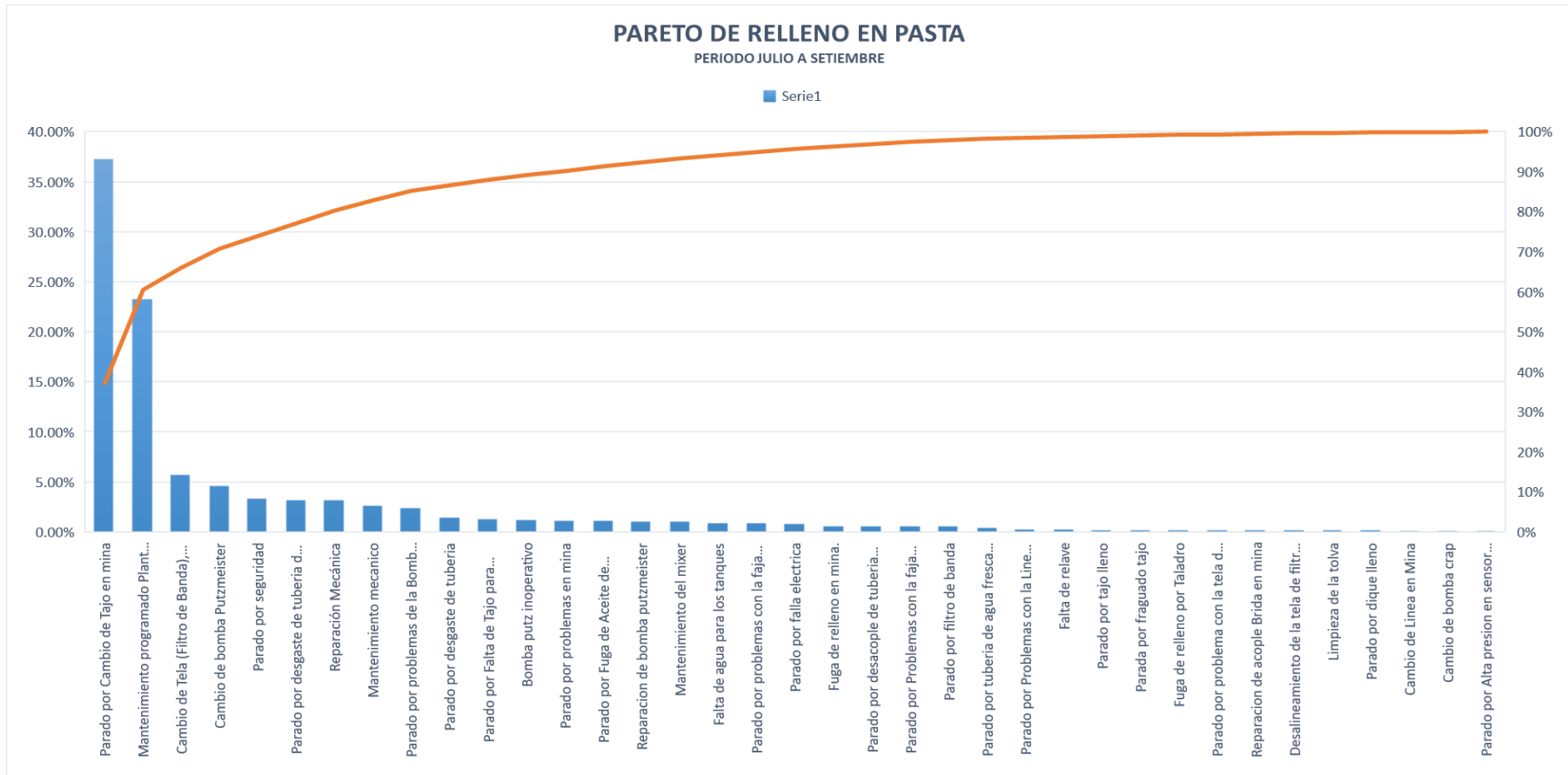
## 5.5 Análisis de la pérdida de tiempo operacional de relleno en pasta – periodo de estudio

Para poder entender el total de volumen de relleno en pasta en los periodos analizados, se determinó el comportamiento de las diferentes actividades asociadas al relleno en pasta en tajos asociados al método de minado *sublevel stoping* y su influencia en el cumplimiento de los planes de producción en la mina Cerro Lindo, describiendo sus actividades mediante Pareto siendo los resultados:

a) Pareto periodo julio a setiembre

**Tabla 23. Pareto de relleno en pasta, OB 13, periodo julio a setiembre**

<b>PARETO DE RELLENO EN PASTA</b>			
<b>PERIODO: JULIO A SETIEMBRE</b>			
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>FRECUENCIA HRS</b>	<b>% INCIDENCIA</b>	<b>% ACUMULADO</b>
Parado por Cambio de Tajo en mina	203.70	37.22%	37.22%
Mantenimiento programado Planta Pasta	127.10	23.23%	60.45%
Cambio de Tela (Filtro de Banda), Planta Relleno Pasta.	31.00	5.66%	66.11%
Cambio de bomba Putzmeister	25.10	4.59%	70.70%
Parado por seguridad	18.00	3.29%	73.99%
Parado por desgaste de tubería de piloto	17.30	3.16%	77.15%
Reparación Mecánica	17.20	3.14%	80.29%
Mantenimiento mecanico	14.30	2.61%	82.91%
Parado por problemas de la Bomba Putzmeister	12.90	2.36%	85.26%
Parado por desgaste de tubería	7.75	1.42%	86.68%
Parado por Falta de Tajo para rellenar	6.80	1.24%	87.92%
Bomba putz inoperativo	6.60	1.21%	89.13%
Parado por problemas en mina	6.00	1.10%	90.22%
Parado por Fuga de Aceite de Bomba Putz	5.90	1.08%	91.30%
Reparacion de bomba putzmeister	5.50	1.01%	92.31%
Mantenimiento del mixer	5.40	0.99%	93.29%
Falta de agua para los tanques	4.80	0.88%	94.17%
Parado por problemas con la faja helicoidal del silo de cenizas	4.50	0.82%	94.99%
Parado por falla electrica	4.40	0.80%	95.80%
Fuga de relleno en mina.	3.00	0.55%	96.35%
Parado por desacople de tubería en Mina	3.00	0.55%	96.89%
Parado por Problemas con la faja helicoidal	3.00	0.55%	97.44%
Parado por filtro de banda	2.80	0.51%	97.95%
Parado por tubería de agua fresca -Planta	1.90	0.35%	98.30%
Parado por Problemas con la Linea de la Bomba de Agua de	1.30	0.24%	98.54%
Falta de relave	1.20	0.22%	98.76%
Parado por tajo lleno	1.00	0.18%	98.94%
Parada por fraguado tajo	0.80	0.15%	99.09%
Fuga de relleno por Taladro	0.70	0.13%	99.21%
Parado por problema con la tela de filtro de banda	0.70	0.13%	99.34%
Reparacion de acople Brida en mina	0.70	0.13%	99.47%
Desalineamiento de la tela de filtro de banda	0.60	0.11%	99.58%
Limpieza de la tolva	0.60	0.11%	99.69%
Parado por dique lleno	0.60	0.11%	99.80%
Cambio de Linea en Mina	0.50	0.09%	99.89%
Cambio de bomba crap	0.40	0.07%	99.96%
Parado por Alta presion en sensor de Bomba P.- Fuga de ace	0.20	0.04%	100.00%
<b>TOTAL</b>	<b>547.25</b>	<b>100.00%</b>	<b>200.00%</b>



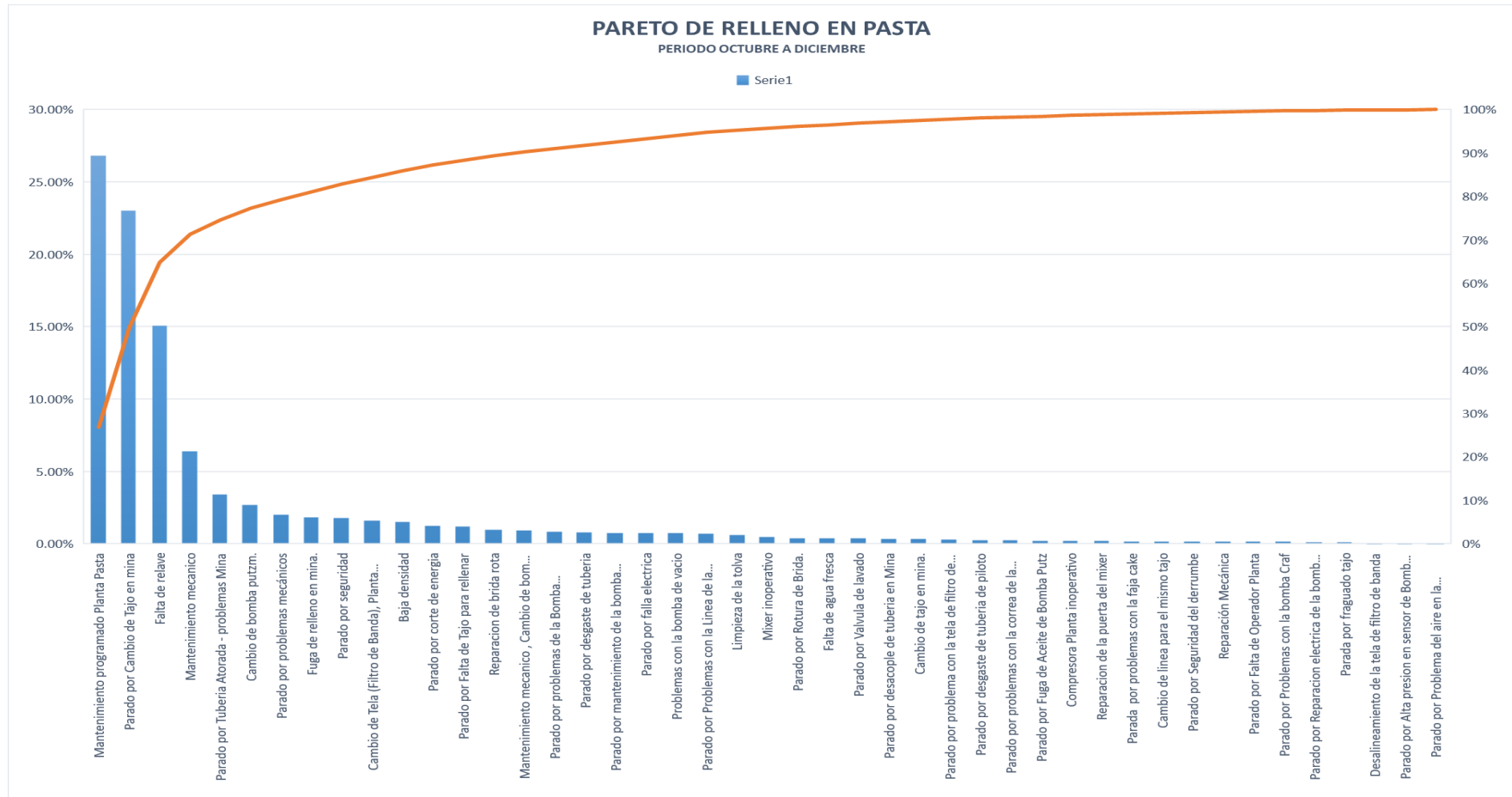
**Figura 40. Análisis de Pareto de las principales actividades de relleno en pasta, en el OB13, periodo julio a setiembre**

El análisis de Pareto realizado a las principales actividades de relleno en pasta durante el periodo julio a setiembre considera una pérdida de tiempo operacional en 439.40 horas siendo las principales actividades en orden de importancia: parada por cambio de tajo en mina con 203.70 horas, mantenimiento programado planta pasta con 127.10 horas, cambio de tela (filtro de banda), planta relleno pasta con 31 horas, cambio de bomba Putzmeister con 25.10 horas, parada por seguridad con 18 horas, parado por desgaste de tubería de piloto con 17.30 horas y reparación mecánica con 17.20 horas, los cuales representan el 20 % de actividades que inciden en el 80 % de problemas generados.

b) Pareto periodo octubre a diciembre

**Tabla 24. Pareto de relleno en pasta, OB 13, periodo octubre a diciembre**

<b>PARETO DE RELLENO EN PASTA</b>			
PERIODO: OCTUBRE A DICIEMBRE			
ACTIVIDAD	FRECUENCIA HRS	% INCIDENCIA	% ACUMULADO
Mantenimiento programado Planta Pasta	180.65	26.80%	26.80%
Parado por Cambio de Tajo en mina	155.00	23.00%	49.80%
Falta de relave	101.60	15.07%	64.87%
Mantenimiento mecanico	43.00	6.38%	71.25%
Parado por Tuberia Atorada - problemas Mina	23.00	3.41%	74.66%
Cambio de bomba putzm.	18.00	2.67%	77.33%
Parado por problemas mecánicos	13.40	1.99%	79.32%
Fuga de relleno en mina.	12.10	1.80%	81.11%
Parado por seguridad	11.90	1.77%	82.88%
Cambio de Tela (Filtro de Banda), Planta Relleno Pasta.	10.60	1.57%	84.45%
Baja densidad	10.00	1.48%	85.94%
Parado por corte de energia	8.40	1.25%	87.18%
Parado por Falta de Tajo para rellenar	8.00	1.19%	88.37%
Reparacion de brida rota	6.50	0.96%	89.33%
Mantenimiento mecanico , Cambio de bomba putzm.	6.20	0.92%	90.25%
Parado por problemas de la Bomba Putzmeister.	5.40	0.80%	91.05%
Parado por desgaste de tuberia	5.20	0.77%	91.83%
Parado por mantenimiento de la bomba putzmeister	5.05	0.75%	92.57%
Parado por falla electrica	5.00	0.74%	93.32%
Problemas con la bomba de vacio	4.90	0.73%	94.04%
Parado por Problemas con la Linea de la Bomba de Agua de	4.50	0.67%	94.71%
Limpieza de la tolva	4.00	0.59%	95.30%
Mixer inoperativo	3.00	0.45%	95.75%
Parado por Rotura de Brida.	2.60	0.39%	96.14%
Falta de agua fresca	2.50	0.37%	96.51%
Parado por Valvula de lavado	2.50	0.37%	96.88%
Parado por desacople de tuberia en Mina	2.30	0.34%	97.22%
Cambio de tajo en mina.	2.10	0.31%	97.53%
Parado por problema con la tela de filtro de banda	1.90	0.28%	97.81%
Parado por desgaste de tuberia de piloto	1.50	0.22%	98.03%
Parado por problemas con la correa de la bomba en vacio	1.50	0.22%	98.26%
Parado por Fuga de Aceite de Bomba Putz	1.35	0.20%	98.46%
Compresora Planta inoperativo	1.30	0.19%	98.65%
Reparacion de la puerta del mixer	1.30	0.19%	98.84%
Parada por problemas con la faja cake	1.10	0.16%	99.01%
Cambio de linea para el mismo tajo	1.00	0.15%	99.15%
Parado por Seguridad del derrumbe	1.00	0.15%	99.30%
Reparación Mecánica	1.00	0.15%	99.45%
Parado por Falta de Operador Planta	0.90	0.13%	99.58%
Parado por Problemas con la bomba CraF	0.90	0.13%	99.72%
Parado por Reparacion electrica de la bomba Putzmeister	0.70	0.10%	99.82%
Parada por fraguado tajo	0.60	0.09%	99.91%
Desalineamiento de la tela de filtro de banda	0.20	0.03%	99.94%
Parado por Alta presion en sensor de Bomba P.- Fuga de ace	0.20	0.03%	99.97%
Parado por Problema del aire en la compresora	0.20	0.03%	100.00%
<b>TOTAL</b>	<b>674.05</b>	<b>100.00%</b>	<b>200.00%</b>



**Figura 41. Análisis de Pareto de las principales actividades de relleno en pasta, en el OB13, periodo octubre a diciembre**

El análisis de Pareto realizado a las principales actividades de relleno en pasta durante el periodo octubre a diciembre considera una pérdida de tiempo operacional en 546.75 horas siendo las principales actividades en orden de importancia: mantenimiento programado planta psta con 180.65 horas, parado por cambio de tajo en mina con 155 horas, falta de relave con 101.60 horas, mantenimiento mecánico con 43 horas, parada por tubería atorada - problemas mina con 23 horas, cambio de bomba Putzmesiter con 18 horas, parado por problemas mecánicos con 13.40 h y Fuga de relleno en mina con 12.10 h.

c) Resumen de Pareto periodo de estudio

**Tabla 25. Resumen de Pareto de relleno en pasta, OB 13, periodo de estudio**

<b>PARETO DE RELLENO EN PASTA</b>			
PERIODO: JULIO A DICIEMBRE			
ACTIVIDAD	FRECUENCIA HRS	% INCIDENCIA	% ACUMULADO
Parado por Cambio de Tajo en mina	358.70	29.37%	29.37%
Mantenimiento programado Planta Pasta	307.75	25.20%	54.57%
Falta de relave	102.80	8.42%	62.99%
Mantenimiento mecanico	57.30	4.69%	67.68%
Cambio de bomba putzm.	43.10	3.53%	71.21%
Cambio de Tela (Filtro de Banda), Planta Relleno Pasta.	41.60	3.41%	74.61%
Parado por seguridad	29.90	2.45%	77.06%
Parado por Tubería Atorada - problemas Mina	23.00	1.88%	78.94%
Parado por desgaste de tubería de piloto	18.80	1.54%	80.48%
Parado por problemas de la Bomba Putzmeister.	18.30	1.50%	81.98%
Reparación Mecánica	18.20	1.49%	83.47%
Fuga de relleno en mina.	15.10	1.24%	84.71%
Parado por Falta de Tajo para rellenar	14.80	1.21%	85.92%
Parado por problemas mecánicos	13.40	1.10%	87.02%
Parado por desgaste de tubería	12.95	1.06%	88.08%
Baja densidad	10.00	0.82%	88.90%
Parado por falla electrica	9.40	0.77%	89.67%
Parado por corte de energia	8.40	0.69%	90.35%
Parado por Fuga de Aceite de Bomba Putz	7.25	0.59%	90.95%
Bomba putz inoperativo	6.60	0.54%	91.49%
Reparacion de brida rota	6.50	0.53%	92.02%
Mantenimiento mecanico , Cambio de bomba putzm.	6.20	0.51%	92.53%
Parado por problemas en mina	6.00	0.49%	93.02%
Parado por Problemas con la Linea de la Bomba de Agua de	5.80	0.47%	93.49%
Reparacion de bomba putzmeister	5.50	0.45%	93.94%
Mantenimiento del mixer	5.40	0.44%	94.39%
Parado por desacople de tubería en Mina	5.30	0.43%	94.82%
Parado por mantenimiento de la bomba putzmeister	5.05	0.41%	95.23%
Problemas con la bomba de vacio	4.90	0.40%	95.64%
Falta de agua para los tanques	4.80	0.39%	96.03%
Limpieza de la tolva	4.60	0.38%	96.41%
Parado por problemas con la faja helicoidal del silo de ceniz	4.50	0.37%	96.77%
Mixer inoperativo	3.00	0.25%	97.02%
Parado por Problemas con la faja helicoidal	3.00	0.25%	97.27%
Parado por filtro de banda	2.80	0.23%	97.49%
Parado por Rotura de Brida.	2.60	0.21%	97.71%
Parado por problema con la tela de filtro de banda	2.60	0.21%	97.92%
Falta de agua fresca	2.50	0.20%	98.12%
Parado por Valvula de lavado	2.50	0.20%	98.33%
Cambio de tajo en mina.	2.10	0.17%	98.50%
Parado por tubería de agua fresca -Planta	1.90	0.16%	98.66%
Parado por problemas con la correa de la bomba en vacio	1.50	0.12%	98.78%
Parada por fraguado tajo	1.40	0.11%	98.89%
Compresora Planta inoperativo	1.30	0.11%	99.00%
Reparacion de la puerta del mixer	1.30	0.11%	99.11%
Parada por problemas con la faja cake	1.10	0.09%	99.20%
Cambio de linea para el mismo tajo	1.00	0.08%	99.28%
Parado por Seguridad del derrumbe	1.00	0.08%	99.36%
Parado por tajo lleno	1.00	0.08%	99.44%
Parado por Falta de Operador Planta	0.90	0.07%	99.52%
Parado por Problemas con la bomba Craf	0.90	0.07%	99.59%
Desalineamiento de la tela de filtro de banda	0.80	0.07%	99.66%
Fuga de relleno por Taladro	0.70	0.06%	99.71%
Parado por Reparacion electrica de la bomba Putzmeister	0.70	0.06%	99.77%
Reparacion de acople Brida en mina	0.70	0.06%	99.83%
Parado por dique lleno	0.60	0.05%	99.88%
Cambio de Linea en Mina	0.50	0.04%	99.92%
Cambio de bomba crap	0.40	0.03%	99.95%
Parado por Alta presion en sensor de Bomba P.- Fuga de ace	0.40	0.03%	99.98%
Parado por Problema del aire en la compresora	0.20	0.02%	100.00%
<b>TOTAL</b>	<b>1221.30</b>	<b>100.00%</b>	<b>200.00%</b>

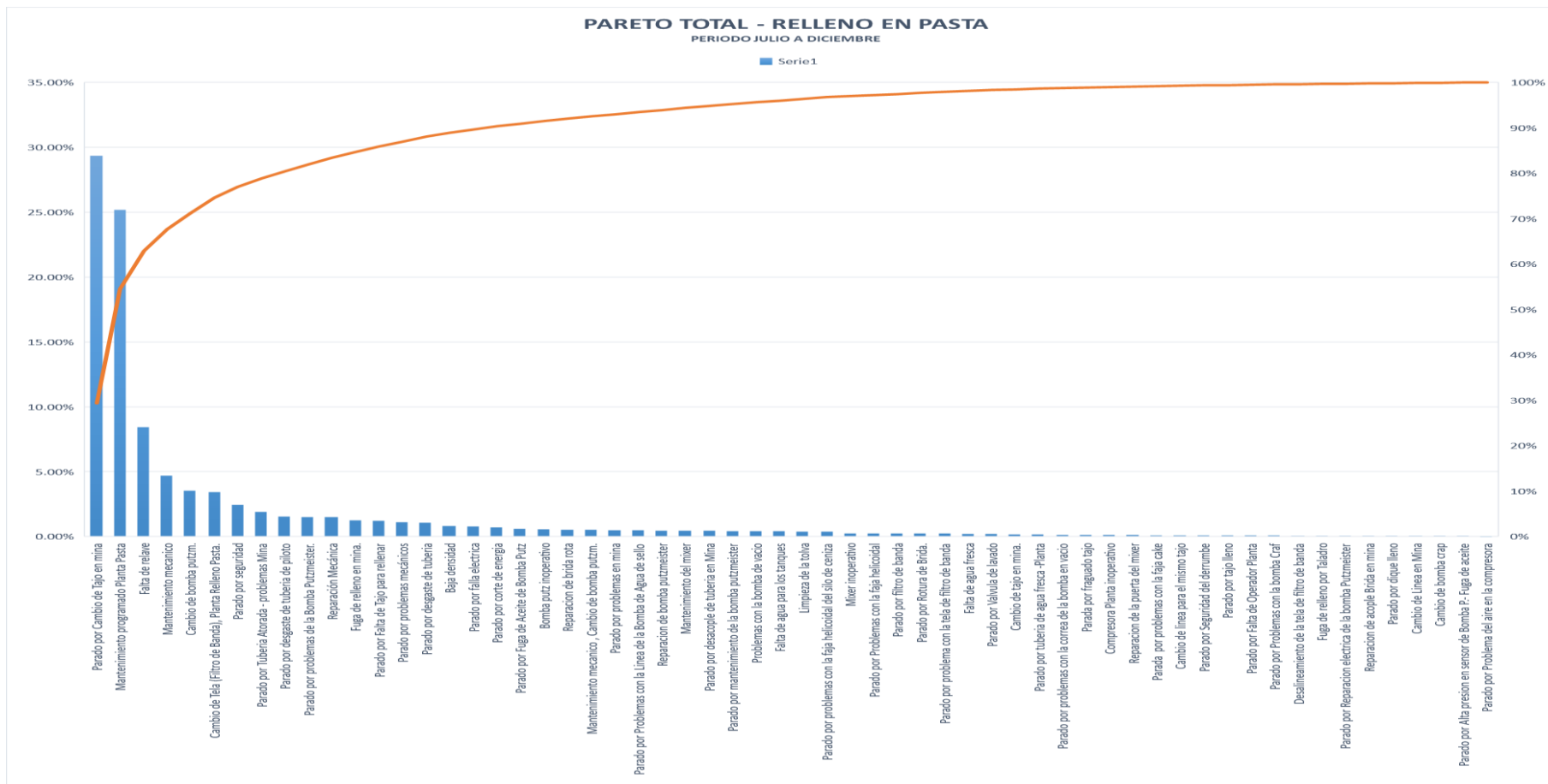


Figura 42. Análisis de Pareto de las principales actividades de relleno en pasta, en el OB13, periodo julio a diciembre



Durante el periodo de estudio de julio a diciembre, mediante la herramienta de Pareto, nos permitió identificar las principales actividades de relleno en pasta, los que influyen directamente en la pérdida de tiempo operacional, siendo el total de 982.95 horas, considerando las siguientes actividades: parado por cambio de tajo en mina con 358.70 horas, mantenimiento programado planta pasta con 307.75 horas, Falta de relave con 102.80 horas, mantenimiento mecánico con 57.30 horas, cambio de bomba Putzmeister con 43.10 horas, cambio de tela (filtro de banda), planta relleno pasta con 41.6 horas, parada por seguridad con 29.90 horas, parada por tubería atorada - problemas mina con 23 horas y parada por desgaste de tubería de piloto con 18.80 horas.

## 5.6 Validación de la hipótesis planteada

Para validar las hipótesis planteadas en el análisis de las variables operacionales de relleno en pasta en el método de minado *sublevel stoping*, para el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo, periodo 2022, se consideró lo siguiente:

### 5.6.1 Rendimiento de relleno en pasta, OB 13

El análisis del rendimiento de relleno en pasta se realizó en los periodos julio a setiembre y de octubre a diciembre, en el cuerpo mineralizado OB 13, considerando los diferentes tajos del Nv 1910, Nv 1880 y Nv 1850, siendo los resultados:

a) Periodo julio a setiembre en el OB 13.

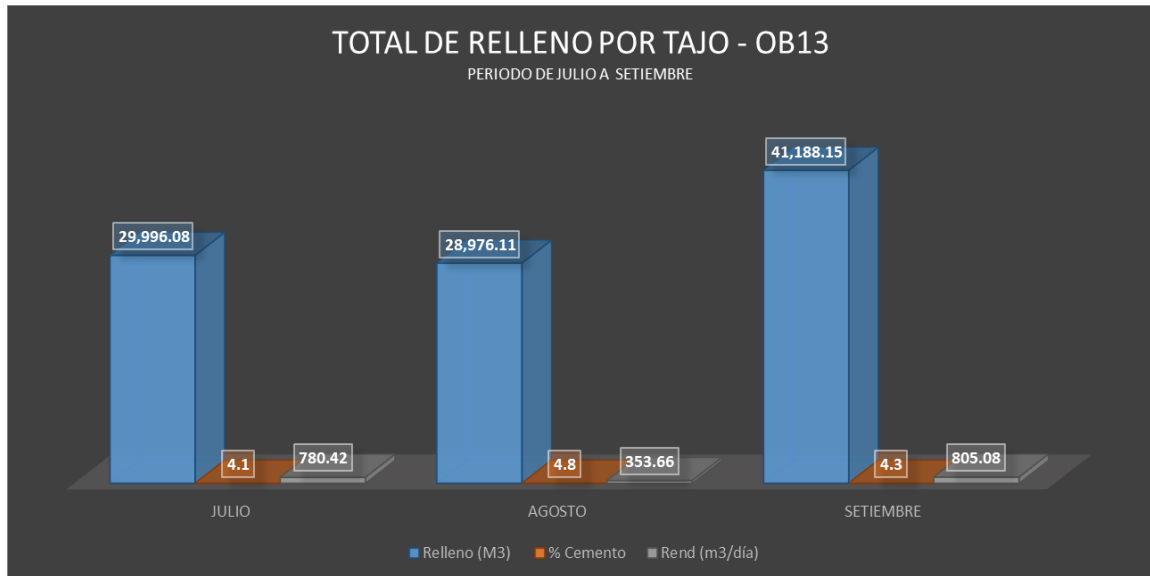
**Tabla 26. Resumen de rendimiento de relleno en pasta, OB 13, periodo julio a setiembre**

#### RESUMEN DE RENDIMIENTO DE RELLENO EN PASTA - OB 13

PERIODO JULIO A SETIEMBRE



PERIODO	TOTAL RELLENO POR TAJEO - OB13			TIEMPO	RENDIMIENTO
	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lit	DIAS	Rend (m3/día)
JULIO	29,996.08	4.1	2,263	35	780.42
AGOSTO	28,976.11	4.8	2,250	128	353.66
SETIEMBRE	41,188.15	4.3	2,208	64	805.08
TOTAL/PROMEDIO	<b>100,160.34</b>	4.4	2,236	227	<b>667.10</b>



**Figura 43. Resumen de relleno por tajo, OB 13, periodo julio a setiembre**

El total de relleno en pasta en el periodo de julio a setiembre fue de 100,160.34 m<sup>3</sup>, considerando un porcentaje de cemento de 4.4 %, con una densidad de 2,236 gr/l y un rendimiento promedio de 667.10 m<sup>3</sup>/día.

b) Periodo octubre a diciembre en el OB 13

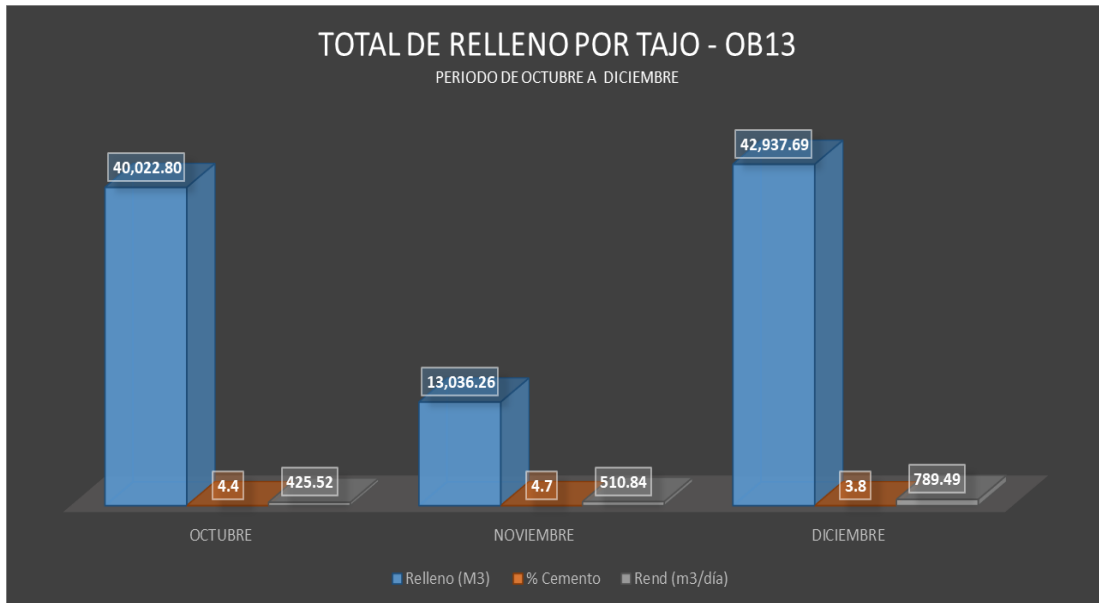
**Tabla 27. Resumen de rendimiento de relleno en pasta, OB 13, periodo octubre a diciembre**

**RESUMEN DE RENDIMIENTO DE RELLENO EN PASTA - OB13**

PERIODO OCTUBRE A DICIEMBRE



PERIODO	TOTAL RELLENO POR TAJEO - OB13			TIEMPO	RENDIMIENTO
	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lit	DIAS	Rend (m3/día)
OCTUBRE	40,022.80	4.4	2,233	111	425.52
NOVIEMBRE	13,036.26	4.7	2,185	31	510.84
DICIEMBRE	42,937.69	3.8	2,269	24	789.49
TOTAL/PROMEDIO	<b>95,996.75</b>	4.2	2,243	166	<b>599.90</b>



**Figura 44. Resumen de relleno por tajo, OB 13, periodo octubre a diciembre**

El total de relleno en pasta en el periodo de octubre a diciembre fue de 95,996.75 m<sup>3</sup>, considerando un porcentaje de cemento de 4.2 %, con una densidad de 2,243 gr/l y un rendimiento promedio de 599.90 m<sup>3</sup>/día.

c) Análisis comparativo en el OB 13

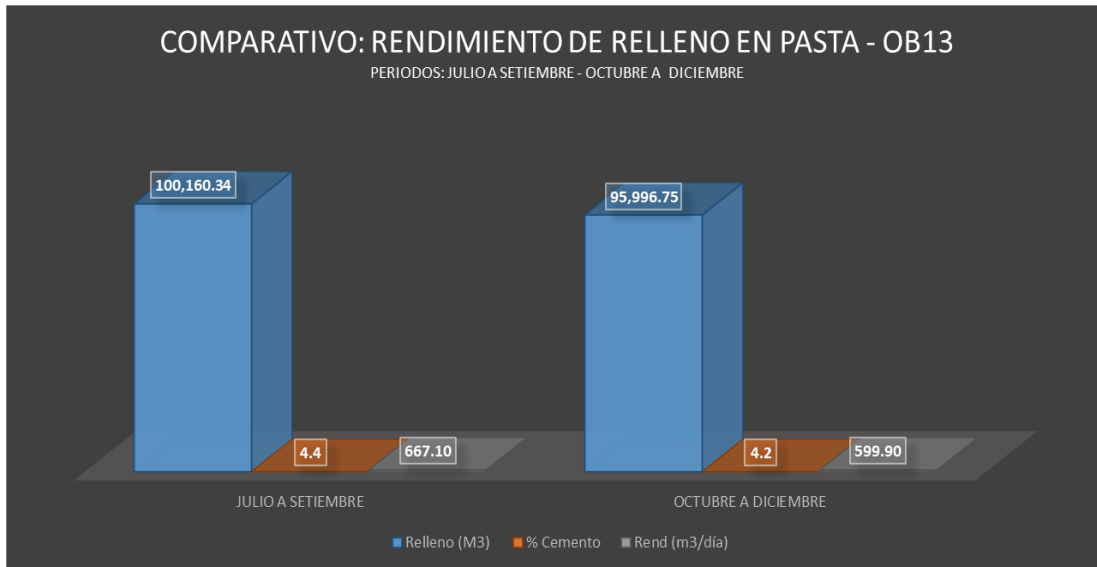
**Tabla 28. Comparativo del rendimiento de relleno en pasta, OB 13, periodo estudio**

**COMPARATIVO DE RENDIMIENTO DE RELLENO EN PASTA - OB13**

PERIODOS: JULIO A SETIEMBRE - OCTUBRE A DICIEMBRE



PERIODO	TOTAL RELLENO POR TAJEO - OB13			TIEMPO	RENDIMIENTO
	Relleno (M3)	% Cemento	Densidad gr/lt	DIAS	Rend (m3/día)
JULIO A SETIEMBRE	100,160.34	4.4	2,236	227	667.10
OCTUBRE A DICIEMBRE	95,996.75	4.2	2,243	166	599.90
TOTAL/PROMEDIO	<b>196,157.09</b>	4.3	2,239	393	<b>634.21</b>



**Figura 45. Comparativo de rendimiento de relleno en pasta, OB 13, periodo estudio**

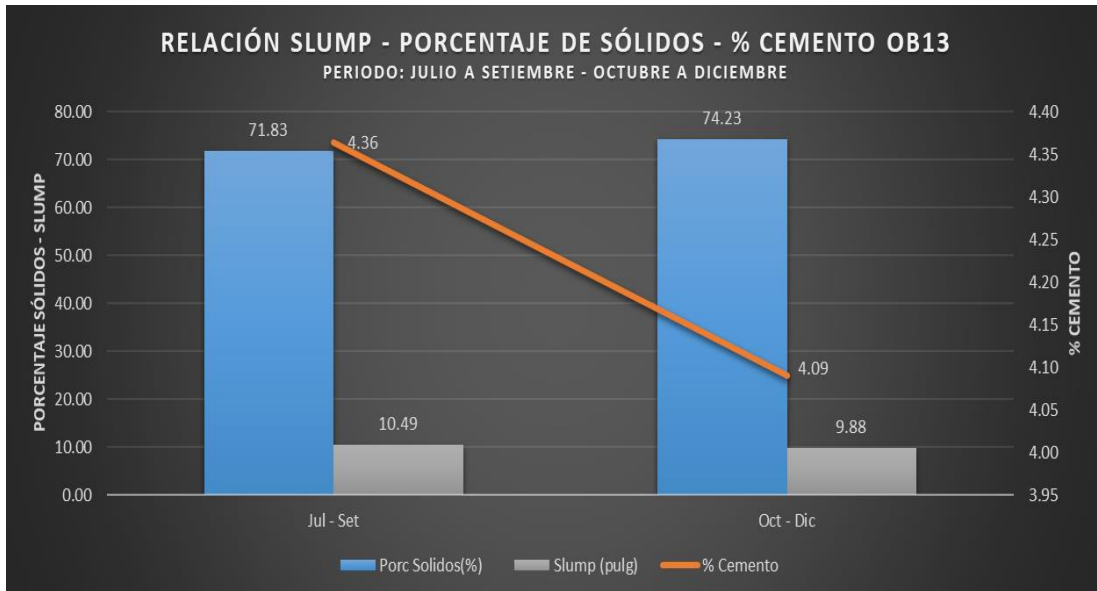
El análisis comparativo entre los periodos de estudio, se observa un mayor rendimiento de relleno en pasta durante el periodo de julio a setiembre en 667.10 m<sup>3</sup>/día comparado con el segundo periodo de setiembre a diciembre con un rendimiento menor de 599.90 m<sup>3</sup>/día, esto es producto de un mayor volumen de relleno en pasta con valores de 100,160.34 m<sup>3</sup> y 95,996.75 respectivamente en ambos periodos, con un déficit de 4,163.58 m<sup>3</sup> en el segundo periodo.

### 5.6.2 Parámetros de relleno en pasta, OB 13

De acuerdo con el rendimiento analizado, se realizó el comportamiento de las principales variables operacionales de relleno en pasta en el cuerpo mineralizado Ore Body 13 (OB 13) en los periodos de julio a setiembre y de octubre a diciembre, siendo los resultados comparados:

**Tabla 29. Resumen de parámetro de relleno en pasta, OB 13, periodo estudio**

<b>RESUMEN DE PARÁMETROS DE RELLENO EN PASTA - OB13</b>						
PERIODOS ESTUDIO: JULIO A SETIEMBRE - OCTUBRE A DICIEMBRE						
Mes	Densidad (gr/lt)	Porc Solidos(%)	% Cemento	Slump (pulg)	Horas /tajo	M3 Relleno
Jul - Set	2,236.37	71.83	4.36	10.49	5.03	100,160.34
Oct - Dic	2,350.05	74.23	4.09	9.88	4.99	95,996.75
Promedio/Total	2,292.00	73.00	4.23	10.20	5.01	196,157.09
<b>DIFERENCIA</b>	<b>113.68</b>	<b>2.41</b>	<b>-0.27</b>	<b>-0.61</b>	<b>-0.04</b>	<b>-4,163.58</b>



**Figura 46. Resumen de parámetros de relleno en pasta, OB 13, periodo estudio**

Durante el periodo de estudio, se considera un total de relleno en pasta ejecutado de 196,157.09 m<sup>3</sup>, considerando una densidad de pasta promedio de 2,292 gr/l, con un porcentaje de sólidos en pasta promedio del 73 %, el porcentaje promedio de cemento fue de 4.23% y un *slump* promedio de 10.20 pulgadas, relacionado al cuerpo mineralizado OB 13, en los niveles Nv 1910, Nv 1880 y Nv 1850.

a) Análisis comparativo en el OB 13

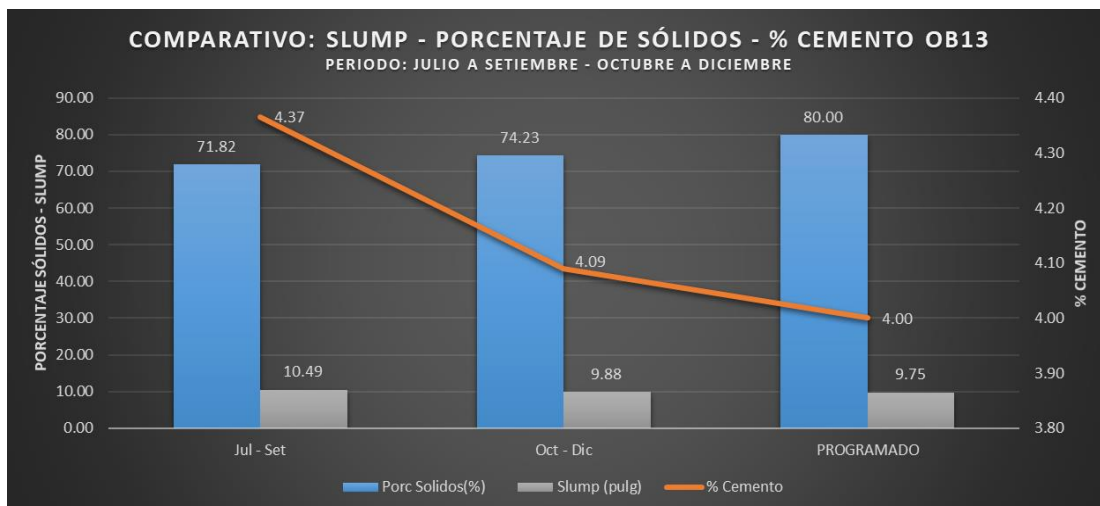
**Tabla 30. Análisis comparativo de parámetro de relleno en pasta, OB 13, periodo estudio**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE RELLENO EN PASTA - OB13**

PERIODOS ESTUDIO: JULIO A SETIEMBRE - OCTUBRE A DICIEMBRE

Mes	Densidad (gr/lt)	Porc Sólidos(%)	% Cemento	Slump (pulg)
Jul - Set	2,236.64	71.82	4.37	10.49
Oct - Dic	2,350.05	74.23	4.09	9.88
PROGRAMADO	2,450.00	80.00	4.00	9.75



**Figura 47. Comparativo de variables operacionales de relleno en pasta, OB 13**

Las variables operacionales de relleno en pasta durante el estudio (1ra etapa a segunda etapa) se comparó el porcentaje de sólidos variando de 71.82 a 74.23 % con valores menores al programado del 80 %, la densidad del relleno en pasta varía de 2,236 a 2,350 gr/l con valores menores al programado de 2,450 gr/l, asimismo el rango del porcentaje de cemento de 4.07 a 4.09 % disminuyendo en el segundo periodo, pero en mayor porcentaje comparado con el programado del 4 % y finalmente el *slump* con un rango de 10.49 a 9,88 pulgadas, disminuyendo en el segundo periodo, pero con un mayor tamaño comparado con el programado que fue de 9.75 pulgadas.

### 5.6.3 Horas de pérdida operacional, OB 13

Para entender el comportamiento de las pérdidas de tiempo operacional en el análisis de las variables de relleno en pasta en el cuerpo mineralizado OB 13, niveles Nv 1910, Nv 1880 y Nv 1850, asociado al periodo de julio a diciembre, mediante el uso de la herramienta de Pareto, se definió una pérdida de tiempo operacional de 982.95 horas.

Las principales actividades los que inciden directamente son: parado por cambio de tajo en mina con 358.70 horas, mantenimiento programado planta pasta con 307.75 horas, falta de relave con 102.80 horas, mantenimiento mecánico con 57.30 horas, cambio de bomba Putzmeister con 43.10 horas, cambio de tela (filtro de

banda), planta relleno pasta con 41.6 horas, parada por seguridad con 29.90 horas, parada por tubería atorada - problemas mina con 23 horas y parada por desgaste de tubería de piloto con 18.80 horas.

**Tabla 31. Análisis de pérdida de tiempo operacional de relleno en pasta, OB 13, periodo estudio**

<b>ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE TIEMPO OPERACIONAL DE RELLENO EN PASTA - PARETO</b>			
PERIODO: JULIO A DICIEMBRE			
ACTIVIDAD	FRECUENCIA HRS	% INCIDENCIA	% ACUMULADO
Parado por Cambio de Tajo en mina	358.70	29.37%	29.37%
Mantenimiento programado Planta Pasta	307.75	25.20%	54.57%
<b>Falta de relave</b>	<b>102.80</b>	<b>8.42%</b>	<b>62.99%</b>
Mantenimiento mecanico	57.30	4.69%	67.68%
Cambio de bomba putzm.	43.10	3.53%	71.21%
Cambio de Tela (Filtro de Banda), Planta Relleno Pasta.	41.60	3.41%	74.61%
<b>Parada por seguridad</b>	<b>29.90</b>	<b>2.45%</b>	<b>77.06%</b>
<b>Parada por Tuberia Atorada - problemas Mina</b>	<b>23.00</b>	<b>1.88%</b>	<b>78.94%</b>
<b>Parada por desgaste de tuberia de piloto</b>	<b>18.80</b>	<b>1.54%</b>	<b>80.48%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>982.95</b>	<b>80.48%</b>	

De las 60 actividades que influyen en el periodo de estudio, se analizó mediante Pareto, las actividades que inciden en el 80 % de problemas, siendo el total de pérdidas de tiempo operacional de acuerdo con el orden de actividades en 982. 95 horas.

De acuerdo con el análisis de Pareto, se pudo identificar algunas actividades que se pueden corregir y disminuir la pérdida de tiempo operacional en periodos posteriores de relleno en pasta, siendo estas: falta de relave con 102.80 horas, parada por seguridad con 29.90 horas, parada por tubería atorada - problemas mina con 23 horas y parada por desgaste de tubería de piloto con 18.80 horas.

#### **5.6.4 Cumplimiento de plan de producción**

De acuerdo con el estudio realizado, mediante el análisis de las variables operacionales de relleno en pasta aplicado en el método de minado *sublevel stoping*, para el cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo durante el periodo 2022.

La producción de relleno en pasta programada durante el periodo 2022 fue de 135,000 m<sup>3</sup> o 12,420 toneladas, considerando un porcentaje de cemento programado de 3.59 % y de un slump programado entre 9 ½ a 9 ¾ pulgadas.

Tabla 32. Análisis de cumplimiento de producción programada y ejecutada

PRODUCCIÓN DE RELLENO EN PASTA				
PROGRAMADA - EJECUTADA 22				
Mes	PROGRAMADO (M3)	EJECUTADO (M3)	% Cemento	Slump (pulg)
Ene	135,000	132,225.01	3.65	10.12
Feb	135,000	124,740.91	4.19	9.96
Mar	135,000	125,147.70	3.94	9.92
Abr	135,000	138,149.33	3.93	9.95
May	135,000	126,837.16	4.22	9.88
Jun	135,000	132,756.87	3.93	9.60
Jul	135,000	127,205.95	4.23	9.80
Ago	135,000	134,660.40	4.37	9.71
Set	135,000	139,904.42	4.31	9.98
Oct	135,000	133,248.78	4.25	9.90
Nov	135,000	145,650.75	4.22	9.76
Dic	135,000	160,994.08	3.87	10.01
Promedio	135,000	135,127	4.09	9.88

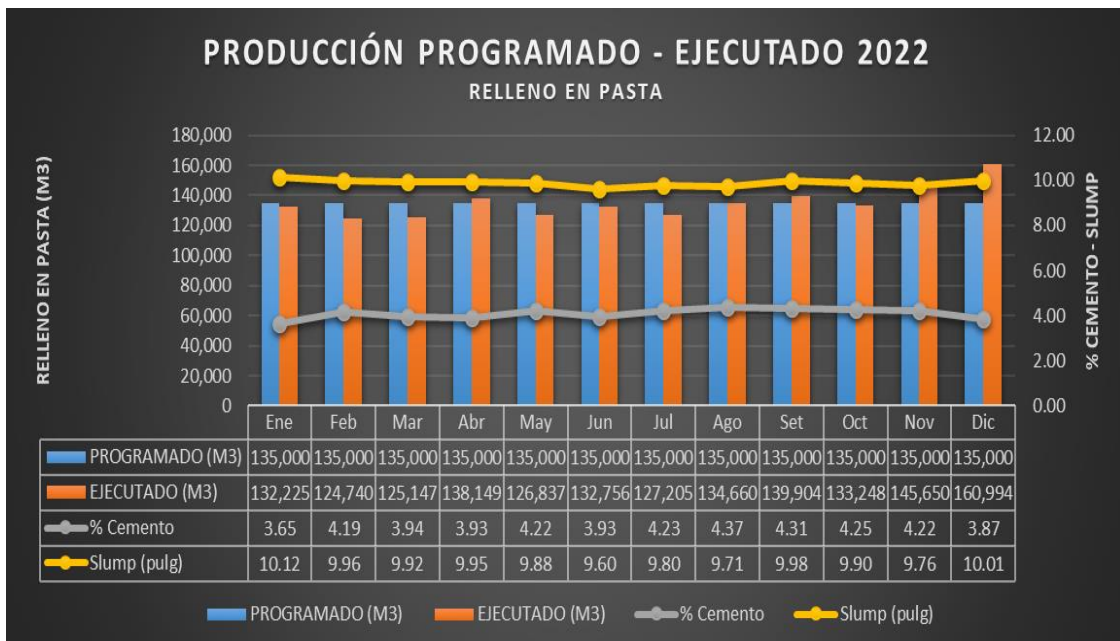


Figura 48. Comparativo de variables operacionales de relleno en pasta, OB 13



La producción de relleno en pasta programada durante el periodo 2022 fue de 1,620,000, obteniendo un resultado en la producción ejecutada de 1,621,521.35 considerando una mejora o incremento de la producción de 1,521.35 m<sup>3</sup>. Finalmente, esta mejora en el cumplimiento de relleno en pasta durante el periodo 2022 permitió la mejora en el ciclo de minado de la unidad minera Cerro Lindo.

## CONCLUSIONES

1. El presente estudio, analizó las variables operacionales del relleno en pasta aplicado en el método de minado *sublevel stoping* para el cumplimiento del plan de producción, teniendo en consideración el rendimiento de relleno en pasta asociada, los parámetros operacionales y el análisis de las diferentes actividades, determinando la pérdida de tiempo operacional en los periodos de julio a setiembre y de octubre a diciembre del periodo 2022, en el cuerpo mineralizado OB13, considerando los diferentes tajos del Nv 1910, Nv 1880 y Nv 1850.
2. El total de relleno en pasta en el periodo de julio a setiembre fue de 100,160.34 m<sup>3</sup>, considerando un porcentaje de cemento de 4.4 %, con una densidad de 2,236 gr/l y un rendimiento promedio de 667.10 m<sup>3</sup>/día. Asimismo, el total de relleno en pasta en el periodo de octubre a diciembre fue de 95,996.75 m<sup>3</sup>, considerando un porcentaje de cemento de 4.2%, con una densidad de 2,243 gr/l y un rendimiento promedio de 599.90 m<sup>3</sup>/día.
3. En el análisis comparativo entre los periodos de estudio, se observa un mayor rendimiento de relleno en pasta durante el periodo de julio a setiembre en 667.10 m<sup>3</sup>/día comparado con el segundo periodo de setiembre a diciembre con un rendimiento menor de 599.90 m<sup>3</sup>/día, esto es producto de un mayor volumen de relleno en pasta con valores de 100,160.34 m<sup>3</sup> y 95,996.75 respectivamente en ambos periodos, con un déficit de 4,163.58 m<sup>3</sup> en el segundo periodo.
4. Las variables operacionales de relleno en pasta analizado durante el periodo de estudio (julio a diciembre), considera un total de relleno en pasta ejecutado de 196,157.09 m<sup>3</sup>, considerando una densidad de pasta promedio de 2,292 gr/l, con un porcentaje de sólidos en pasta promedio del 73 %, un porcentaje promedio

- de cemento fue de 4.23 % y un *slump* promedio de 10.20 pulgadas, relacionado al cuerpo mineralizado OB 13, en los niveles Nv 1910, Nv 1880 y Nv 1850.
5. El análisis de las variables operacionales de relleno en pasta durante el estudio (1ra etapa a segunda etapa) se comparó el porcentaje de sólidos variando de 71.82 a 74.23 % con valores menores al programado del 80 %, la densidad del relleno en pasta varía de 2,236 a 2,350 gr/l con valores menores al programado de 2,450 gr/l, asimismo el rango del porcentaje de cemento de 4.07 a 4.09 % disminuyendo en el segundo periodo, pero en mayor porcentaje comparado con el programado del 4 % y finalmente el *slump* con un rango de 10.49 a 9,88 pulgadas, disminuyendo en el segundo periodo, pero con un mayor tamaño comparado con el programado que fue de 9.75 pulgadas.
  6. En cuanto al análisis de pérdida de tiempo operacional en relleno en pasta, se analizaron las actividades que influyen en el periodo de estudio mediante la herramienta de Pareto considerando una pérdida de 982. 95 horas.
  7. De acuerdo con el análisis de Pareto, se pudo identificar algunas actividades que se pueden corregir y disminuir la pérdida de tiempo operacional en periodos posteriores de relleno en pasta, siendo estas: falta de relave con 102.80 horas, parada por seguridad con 29.90 horas, parada por tubería atorada - problemas mina con 23 horas y parada por desgaste de tubería de piloto con 18.80 horas, pudiendo disminuir la pérdida de tiempo en relleno en pasta.
  8. La producción de relleno en pasta programada durante el periodo 2022 fue de 1,620,000, obteniendo un resultado en la producción ejecutada de 1,621,521.35 considerando una mejora o incremento de la producción de 1,521.35 m<sup>3</sup>.
  9. Finalmente, la mejora mensual de relleno en pasta programada de 135,000 m<sup>3</sup> hubo una mejora en 135,127 m<sup>3</sup> mensuales, esta mejora en el cumplimiento de relleno en pasta durante el periodo 2022 permitió la mejora en el ciclo de minado y cumplimiento del plan de producción en la unidad minera Cerro Lindo.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir realizando estudios similares en los periodos posteriores y seguir analizando los parámetros operacionales de relleno en pasta, considerando el comportamiento de porcentaje de cemento y *slump*.
2. En función a los resultados obtenidos, se recomienda realizar la evaluación económica del relleno en pasta, considerando el *cash cost* de relleno, para realizar un control de los costos operacionales.
3. Se recomienda seguir realizar estudios de rendimiento operacional de relleno en pasta, considerando la variabilidad de el volumen de relleno, considerando los diferentes cuerpos mineralizados presentes en la operación.
4. Se recomienda realizar estudios económicos en otros cuerpos mineralizados presentes en la operación, caracterizando el relleno en pasta y su influencia en el *cash cost*.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VIVES, Alonso. Evaluación técnica y económica de una mina subterránea utilizando relleno cementado. Memoria (Título de Ingeniero Civil de Minas). Santiago: Universidad de Chile, 2015, 102 pp.
2. LAÍN, Carlos. Estudio de las distribuciones tensionales y de las resistencias de los rellenos en pasta de la mina subterránea de aguas teñidas (Huelva). Tesis (doctor en Ingeniería Geológica y Minas). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2015, 358 pp.
3. RÍOS, Fernando. Aplicación de relleno hidráulico para el sostenimiento de los tajeos de la veta “Ánimas” de la mina Bateas – unidad San Cristóbal. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Piura: Universidad de Piura, 2015, 119 pp.
4. VILLEGAS, Luis. Relleno en pasta utilizado en la mina Izcaycruz. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2006, 36 pp.
5. VIDAL, Rubén. 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 Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Continental, 2020.
6. NEXA RESOURCES – Unidad Minera Cerro Lindo. Data de operaciones de relleno en pasta, Chíncha, 2019.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional		
		Dimensiones	Sub- Dimensiones	Indicadores
VI:  Cumplimiento del plan de producción.	El uso de relleno en pasta, como parte del ciclo de minado en el método de minado sublevel stoping, permitirá el cumplimiento del plan de producción de la unidad minera Cerro Lindo..	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dominio geológico</li> <li>• Dominio geomecánico</li> <li>• Variables operacionales</li> </ul>	Geología	Tipos de roca, alteraciones, estructural, mineralización, etc.  Propiedades del macizo rocoso, RMR, densidad, etc.  Volumen de relleno en pasta, tonelaje de mineral, etc.
VD:  Análisis de variables	Al determinar el análisis de las variables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variables operacionales de relleno en pasta</li> </ul>	Operacional  Análisis de la dosificación	M3 de relleno en pasta, densidad de relleno en pasta, slump,

operacionales de relleno en pasta.	operacionales de relleno en pasta, en el método de minado sublevel stoping, permitirá el cumplimiento del plan de minado de corto plazo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Factores de Rendimiento de relleno en pasta</li> </ul>	de relleno en pasta.	<p>porcentaje de cemento, etc</p> <p>M3 de relleno en pasta, tiempo de relleno, densidad de relleno en pasta, etc..</p> <p>Análisis de rendimiento de relleno en pasta</p>
------------------------------------	--	---	----------------------	--



## Anexo 2

### Planos en planta y perfil

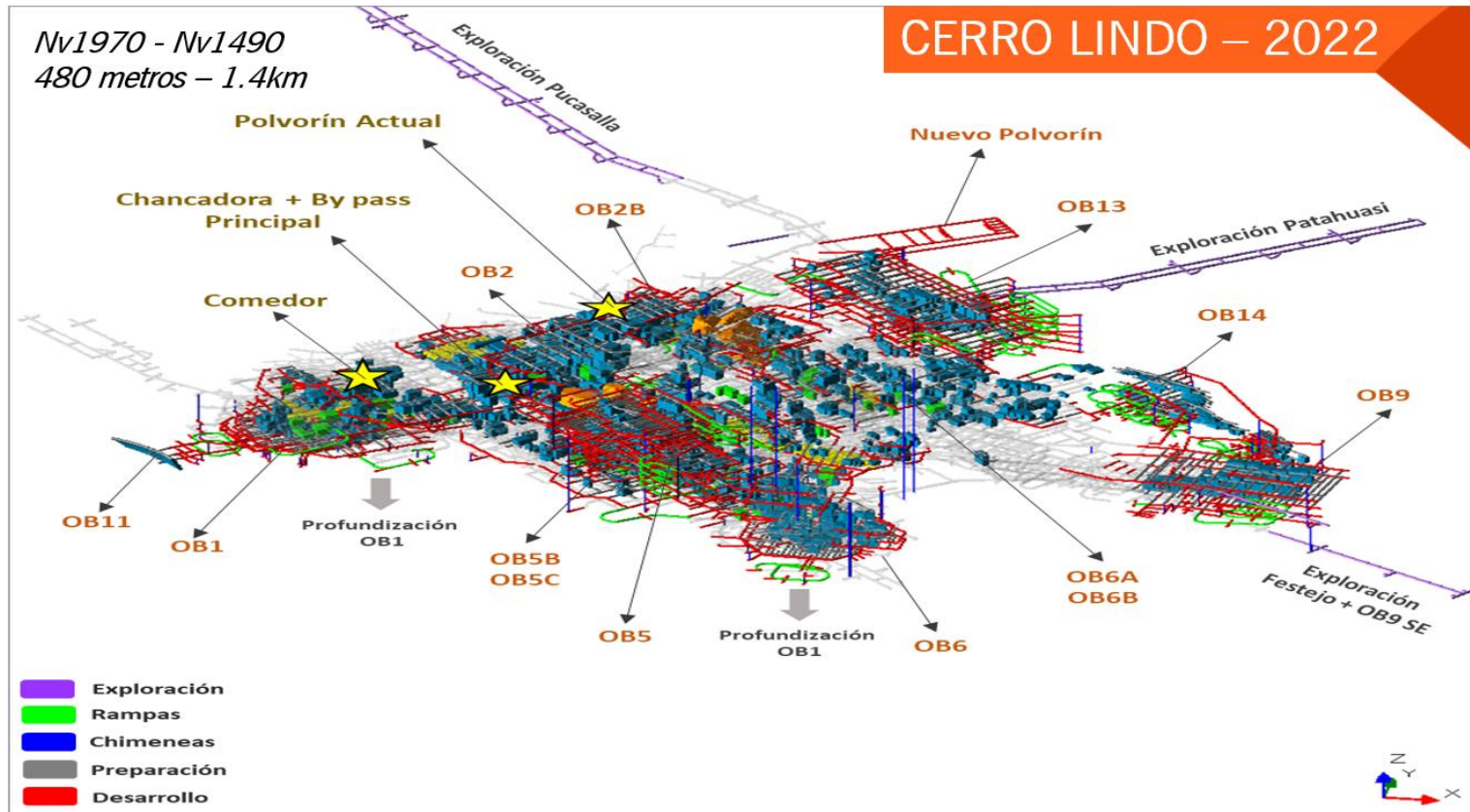
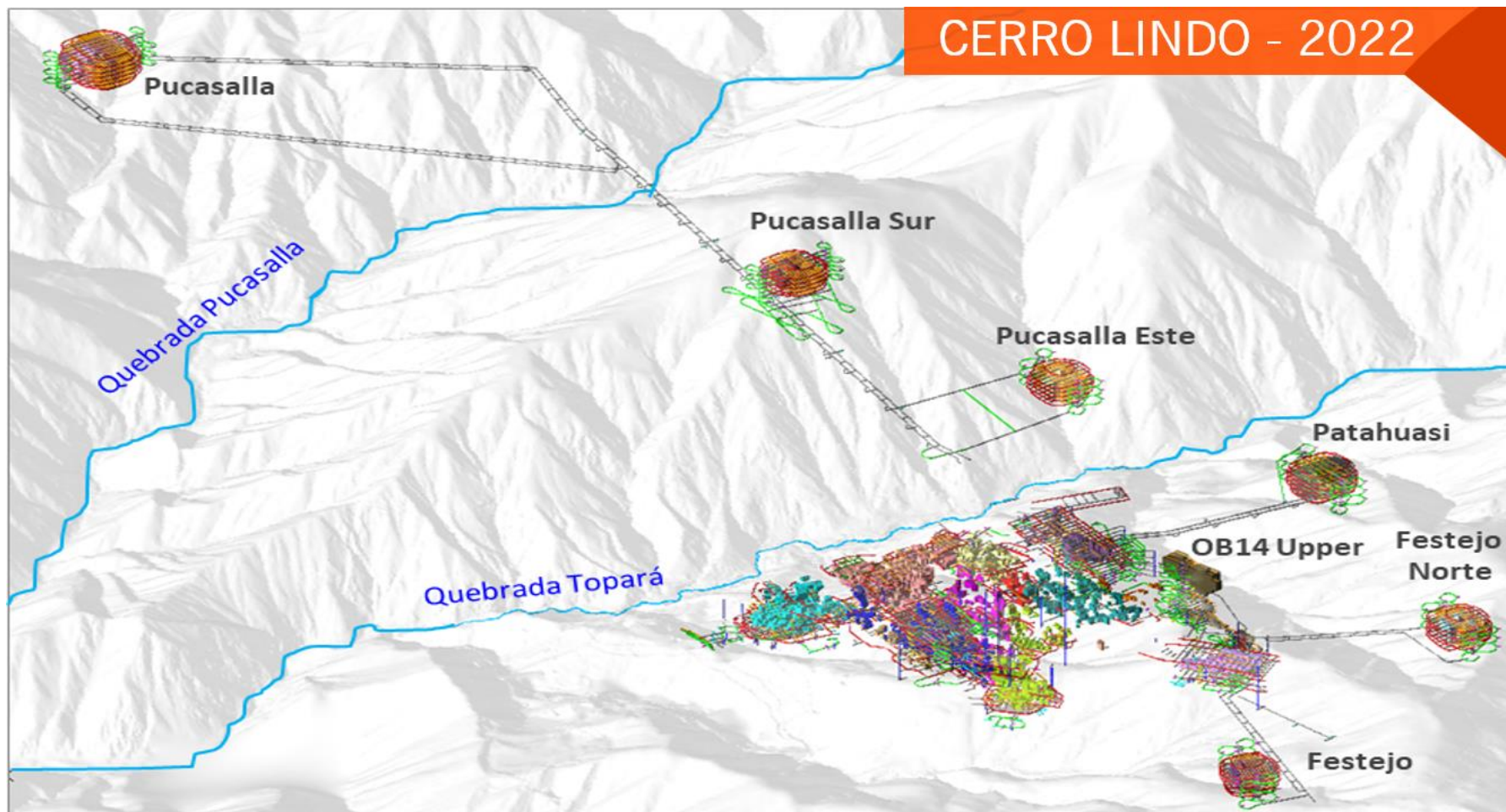


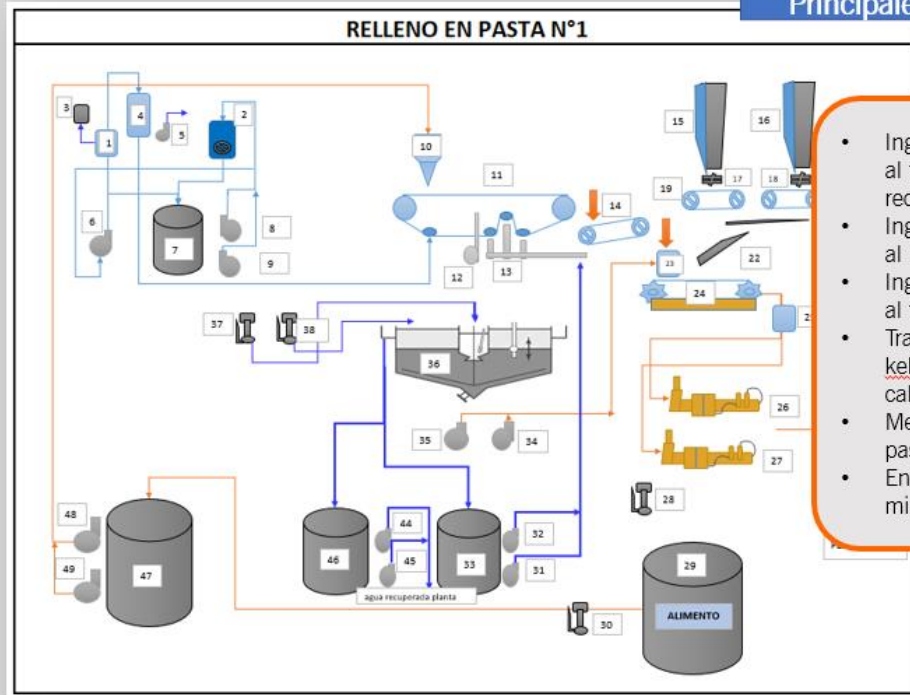
Figura 49. Plano de labores subterráneas de la unidad minera Cerro Lindo  
Tomada del departamento de Planeamiento



**Figura 50. Sectores de operación de la unidad minera Cerro Lindo  
Tomada del departamento de Planeamiento**

# Operaciones Mina | CL Relleno en Pasta

Procesos Principales



- 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.

ITEM	EQUIPO	CANTIDAD	ETAPA
1	Trampa de humedad	1	Recepción de humedad
2	Torre de enfriamiento	1	Enfriamiento de humedad
3	Tanque barométrico	1	Recepción de agua de trampa de humedad
4	Tanque de filtrado	1	Succión de agua del filtro banda
5	Bomba de filtrado	1	Bombeo de agua al tanque de lavado de filtro
6	Bomba de vacío M-82504	1	Bombeo de agua al tanque de lavado de filtro
7	Tanque de agua de sello	1	Recepción de agua tratada de planta
8	Bomba M-82510	1	Bombeo de agua a tanque de lavado de filtro
9	Bomba M-82511	1	Bombeo de agua a tanque de lavado de filtro
10	Tanque distribuidor de relave	1	Filtrado de relave
11	Filtro banda DELKOR	1	Filtrado de relave
12	Soplador	1	Filtrado de relave
13	Línea de agua	1	Lavado de tela filtro banda
14	Faja transportadora pesaje cake	1	Descarga filtro banda
15	Silo de cemento	1	Alimento cemento /ceniza
16	Silo de ceniza	1	Alimento cemento /ceniza
17	Válvula helicoidal	1	Alimento cemento /ceniza
18	Válvula helicoidal	1	Alimento cemento /ceniza
19	Faja transportadora de cemento	1	Alimento cemento /ceniza
20	Faja de cemento de ceniza	1	Alimento cemento /ceniza
21	Transportador helicoidal cemento/ceniza N° 1	1	Mezclado cemento /ceniza
22	Transportador helicoidal cemento/ceniza N° 2	1	Mezclado cemento /ceniza
23	Tanque de recepción	1	Mezclado cemento /ceniza
24	Transporte mixer M-563	1	Mezclado cemento /ceniza
25	Chute de alimentación	1	Mezclado cemento /ceniza
26	PUTZMEISTER 1	1	Apuntos de relleno en mina
27	PUTZMEISTER 2	1	Apuntos de relleno en mina
28	Bomba de sumidero	1	Apuntos de relleno en mina
29	Tanque de recepción de relave planta	1	Recepción de relave de planta
30	Bomba de sumidero	1	Bombeo de relave
31	Bomba M-82509	1	Lavado de filtro
32	Bomba M-82508	1	Lavado de filtro
33	Tanque de lavado de filtro	1	Lavado de filtro
34	Bomba ESPIASA	1	Bombeo de pulpa del espesador
35	Bomba ESPIASA	1	Bombeo de pulpa del espesador
36	Espesador de relaves 8 m	1	Espesamiento de relaves
37	Bomba de sumidero	1	Bombeo de pulpa relave
38	Bomba de sumidero	1	Bombeo de agua recuperada
44	Bomba HM100	1	Bombeo a planta de recuperación de agua
45	Bomba HM100	1	Bombeo a planta de recuperación de agua
46	Tanque de proceso, recuperación de agua	1	Recuperación de agua
47	Tanque alimentación filtro	1	Filtrado de relave
48	Bomba M-82502	1	Bombeo de relave
49	Bomba M-82503	1	Bombeo de relave

Figura 51. Flow sheet de relleno en pasta de la unidad minera Cerro lindo Tomada del departamento de Planeamiento



## Operaciones Mina | CL Preparación de Tajos para Relleno

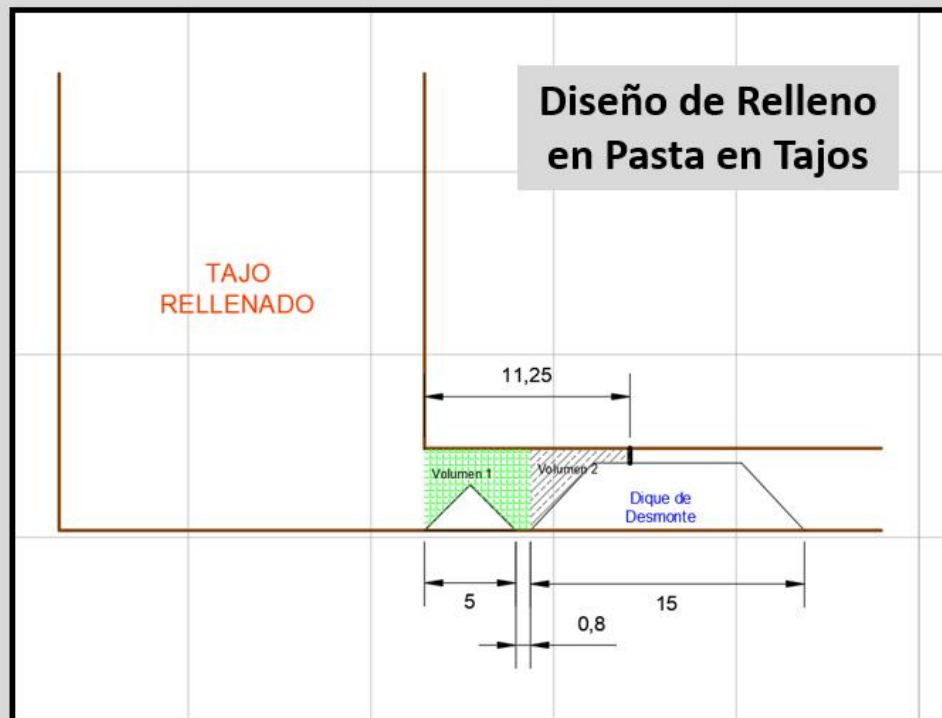
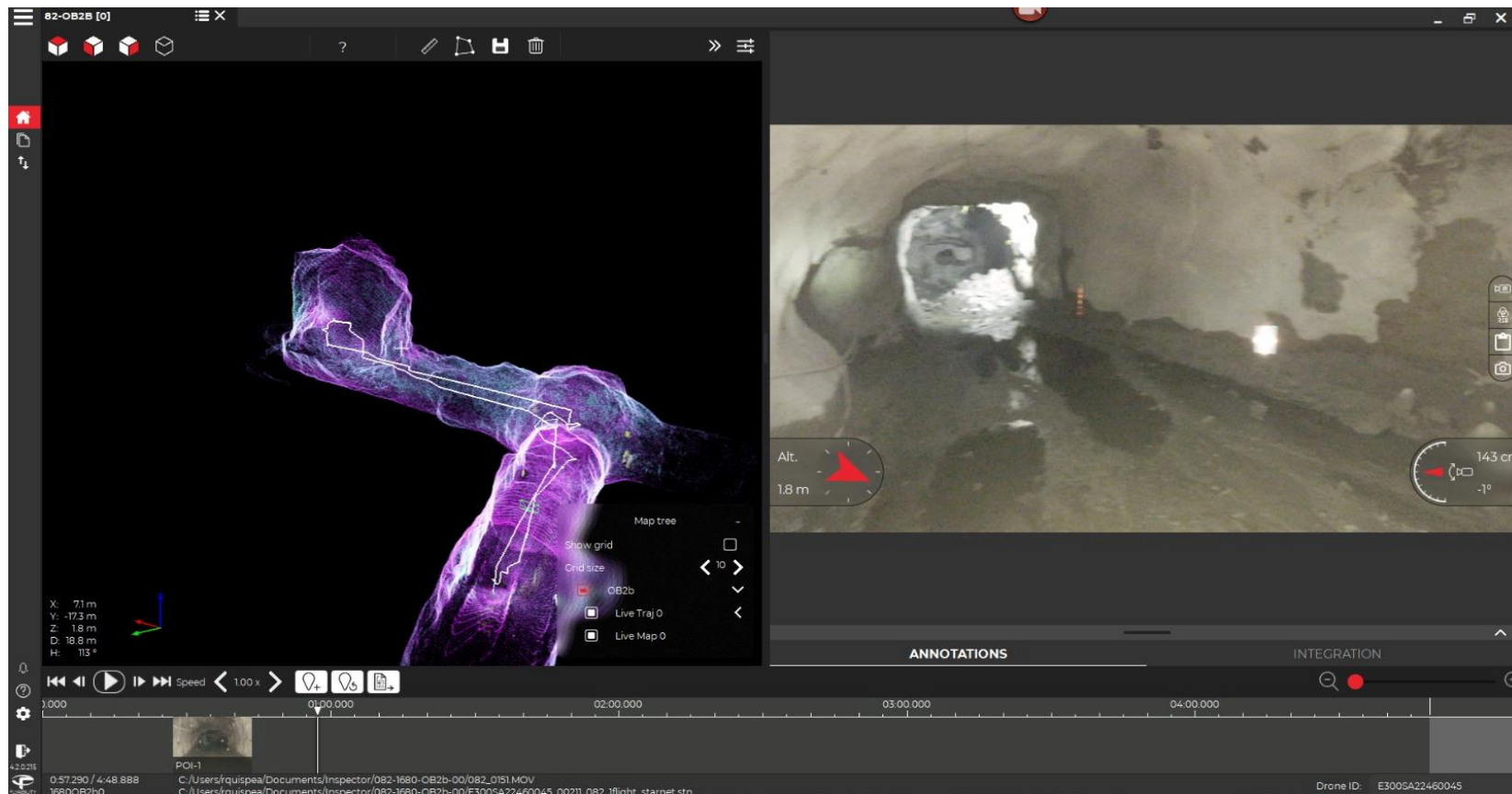


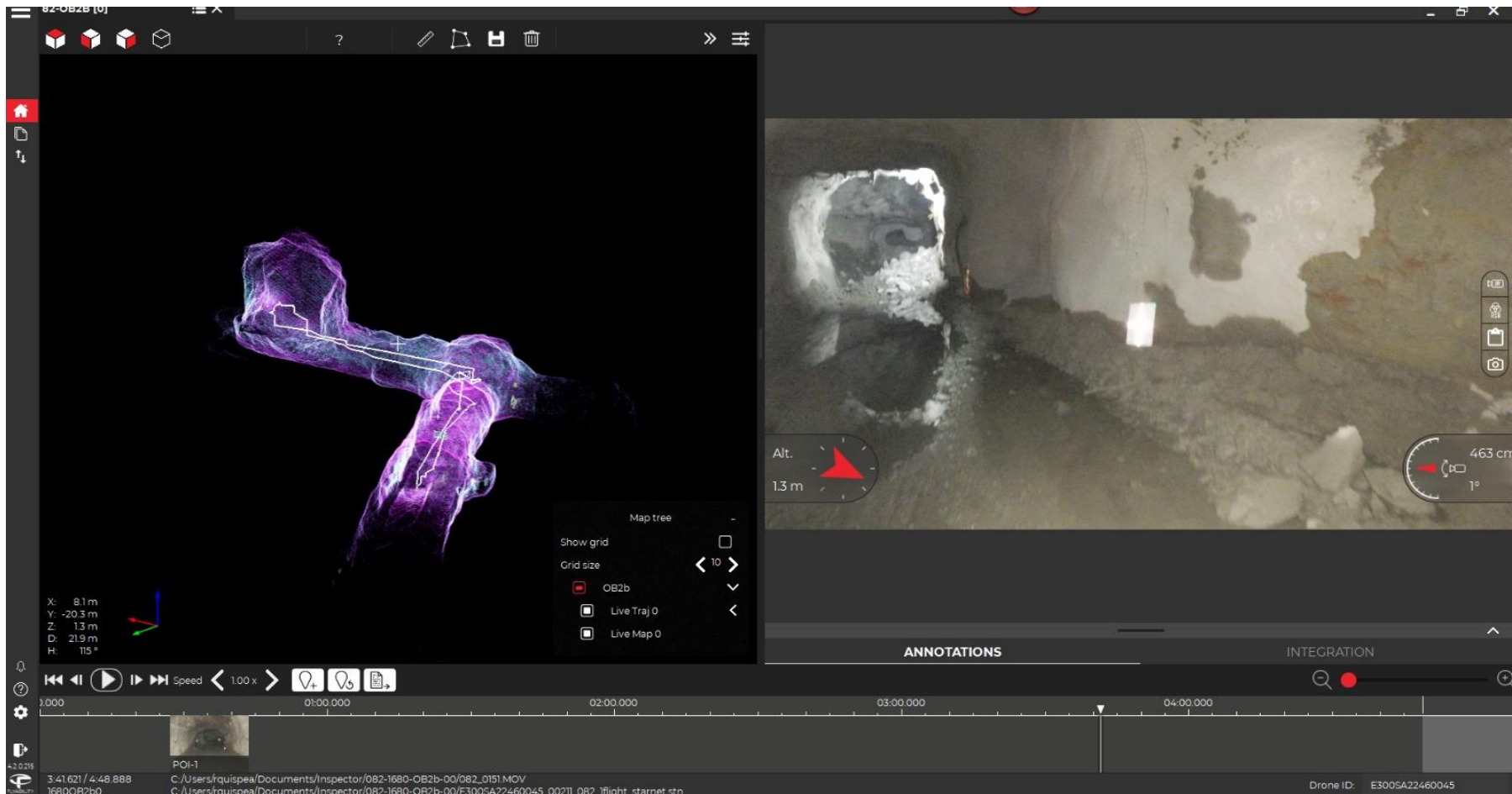
Figura 52. Diseño de relleno en pasta en tajos de la unidad minera Cerro Lindo Tomada del departamento de Planeamiento

### Anexo 3

### Imágenes de relleno en pasta



**Figura 53. Diseño de relleno en pasta en el Ore body OB13 (Dron Elios 3) en la unidad minera Cerro Lindo Tomada del departamento de Planeamiento**



**Figura 54. Diseño de relleno en pasta en el ore body OB13 (Dron Elios 3) en la unidad minera Cerro Lindo Tomada del departamento de Planeamien**