

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

**Análisis del Last Planner para mejorar el cumplimiento de
cronograma de desarrollo y preparación de una mina subterránea**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Herald Alfonso Rivera Mendoza

 [0009-0001-0139-7674](https://orcid.org/0009-0001-0139-7674)

Asesor

MBA. Víctor Manuel Hernández Díaz

 [0000-0002-6505-0733](https://orcid.org/0000-0002-6505-0733)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Rivera Mendoza [1]
Referencia/Reference	[1] H Rivera Mendoza, “ <i>Análisis del Last Planner para mejorar el cumplimiento de cronograma de desarrollo y preparación de una mina subterránea</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Rivera , 2025)
Referencia/Reference	Rivera, H. (2025). <i>Análisis del Last Planner para mejorar el cumplimiento de cronograma de desarrollo y preparación de una mina subterránea</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A mi madre Arcadia Mendoza, por ser mi fortaleza y
motivación constante.*

Agradecimientos

A todos los profesionales con los que he tenido el privilegio de compartir y trabajar durante estos años, especialmente a mis mentores, por sus enseñanzas y por cada desafío superado juntos. Cada uno de ustedes ha dejado una huella en mi desarrollo profesional y personal.

Resumen

La presente investigación analiza la implementación del Last Planner System (LPS) en la gestión de proyectos mineros enfocados en actividades de voladura, con el objetivo de mejorar la confiabilidad y cumplimiento del cronograma. Se busca evaluar su impacto en la seguridad, la productividad y la planificación operativa en el sector minero.

Para ello, se aplicó el LPS en la programación y ejecución de actividades, realizando un desglose del plan mensual en planes semanales, lo que permitió un seguimiento detallado del ciclo de minado. Se identificaron las principales Causas de No Cumplimiento (CNC) y se diferenciaron aquellas atribuibles al contratista y al cliente, facilitando la asignación de responsabilidades y la implementación de estrategias de mejora.

Los resultados evidenciaron que el uso del LPS optimiza la planificación y ejecución de voladuras, reduciendo la incertidumbre en la programación y mejorando la adherencia a los plazos establecidos. Asimismo, se observó una optimización en el uso de recursos, disminución de tiempos ociosos y una mayor eficiencia operativa. Durante la implementación del LPS, la cantidad de disparos por día aumentó de 88 a 102 (+16%), y en semanas posteriores alcanzó 138 disparos diarios (+35%).

Se concluye que la aplicación del Last Planner System es una herramienta eficaz para mejorar la confiabilidad del cronograma en proyectos mineros, impactando positivamente en la productividad, la seguridad y la gestión de recursos, contribuyendo así a la eficiencia y rentabilidad del proyecto.

Palabras clave — Last Planner System, confiabilidad del cronograma, minería, planificación, productividad, voladura, eficiencia operativa.

Abstract

This research analyzes the implementation of the Last Planner System (LPS) in the management of mining projects focused on blasting activities, with the objective of improving schedule reliability and compliance. It aims to assess its impact on safety, productivity, and operational planning in the mining sector.

To achieve this, the LPS was applied in the scheduling and execution of activities, breaking down the monthly plan into weekly plans, allowing for detailed monitoring of the mining cycle. The main Causes of Non-Compliance (CNC) were identified, distinguishing those attributable to the contractor and the client. This facilitated the assignment of responsibilities and the implementation of improvement strategies.

The results demonstrated that the use of LPS optimizes blasting planning and execution, reducing scheduling uncertainty and improving adherence to established deadlines. Additionally, resource utilization was optimized, idle time was reduced, and operational efficiency increased. During the implementation of LPS, the number of blasts per day increased from 88 to 102 (+16%), and in subsequent weeks, it reached 138 blasts per day (+35%).

It is concluded that the application of the Last Planner System is an effective tool for improving schedule reliability in mining projects, positively impacting productivity, safety, and resource management, thereby contributing to project efficiency and profitability.

Keywords — Last Planner System, schedule reliability, mining, planning, productivity, blasting, operational efficiency.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xi
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.3 Formulación del problema	2
1.3.1 Problema general	2
1.3.2 Problemas específicos	2
1.4 Objetivo	2
1.4.1 Objetivo general	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	2
1.5 Hipótesis	2
1.5.1 Hipótesis general.....	2
1.5.2 Hipótesis específicas	3
1.6 Operacionalización de variables	3
1.6.1 Variable independiente (V.I)	3
1.6.2 Variable dependiente (V.D)	3
1.7 Antecedentes referenciales	5
1.7.1 Antecedentes internacionales.....	5
1.7.2 Antecedentes nacionales	6
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	10
2.1 Marco Teórico	10
2.1.1 Last Planner System (LPS)	10
2.1.2 Principales herramientas del LPS.....	10
2.1.3 Metodología del LPS	12

2.1.4	Relación entre el LPS y la gestión de proyectos mineros	18
2.2	Marco conceptual	20
	Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	22
3.1	Unidad de estudio	22
3.2	Recolección de datos	22
3.2.1	Reunión semanal “Lookahead”	23
3.2.2	Reunión semanal de mantenimiento	23
3.2.3	Reunión semanal de seguridad	24
3.3	Procesamiento de la información.....	24
3.3.1	Entregables semana 22.....	28
3.3.2	Entregables semana 23.....	31
3.3.3	Entregables semana 24.....	34
3.3.4	Entregables semana 25.....	37
3.3.5	Entregables semana 26.....	39
3.3.6	Entregables semana 27.....	41
3.3.7	Entregables semana 28.....	43
3.3.8	Entregables semana 29.....	45
	Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados	48
4.1	Análisis de resultados.....	48
4.2	Validación de hipótesis.....	57
4.2.1	Variable – cumplimiento de plazos	57
4.2.2	Variable – productividad	60
	Conclusiones	62
	Recomendaciones	63
	Referencias bibliográficas.....	64
	Anexos	65

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Matriz de consistencia.....	4
Tabla 2 : Casos comunes – relación entre PPC y CNC	17
Tabla 3 : Plan semanal Lookahead – semana 22	27
Tabla 4 : Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 22	28
Tabla 5 : Plan semanal Lookahead – semana 23	30
Tabla 6 : Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 23	31
Tabla 7 : Plan semanal Lookahead – semana 24	33
Tabla 8 : Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 24	34
Tabla 9 : Plan semanal Lookahead – semana 25	36
Tabla 10: Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 25	37
Tabla 11: Plan semanal Lookahead – semana 26	38
Tabla 12: Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 26	39
Tabla 13: Plan semanal Lookahead – semana 27	40
Tabla 14: Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 27	41
Tabla 15: Plan semanal Lookahead – semana 28	42
Tabla 16: Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 28	43
Tabla 17: Plan semanal Lookahead – semana 29	44
Tabla 18: Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 29	45
Tabla 19: Plan semanal Lookahead – semana 30	47
Tabla 20: Resultados de disparos por semana durante el año 2024.....	48
Tabla 21: Resultados de eficiencia por disparo durante el año 2024 (W31).....	50
Tabla 22: Resultados de metros de avance por semana durante el año 2024 (W31).....	51

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Ubicación de la unidad minera Cerro Lindo.....	22
Figura 2 : Interfaz de reporte diario – Power BI.....	52
Figura 3 : Detalle de cantidad de disparos por semana – Power BI	53
Figura 4 : Detalle de eficiencia por disparo – Power BI	54
Figura 5 : Detalle de metros de avance por semana – Power BI.....	54
Figura 6 : Interfaz de reporte de desvíos – Power BI	55
Figura 7 : Pareto de causas de no cumplimiento – Power BI	56
Figura 8 : Prueba de normalidad de datos antes de LPS	58
Figura 9 : Prueba de normalidad de datos después de LPS	58
Figura 10: Análisis ANOVA de un solo factor	59
Figura 11: Prueba de normalidad de datos después de LPS - productividad	60
Figura 12: Análisis Z de una muestra.....	61

Introducción

Esta investigación se estructura en cuatro capítulos, cada uno enfocado en un aspecto fundamental del estudio.

En el Capítulo 1, se presenta la descripción del problema, junto con los objetivos generales y específicos, la hipótesis y el planteamiento de variables. Además, se incluyen las referencias bibliográficas que sustentan el estudio, proporcionando el contexto necesario para comprender la relevancia y alcance de la investigación.

El Capítulo 2 aborda el marco teórico y conceptual, estableciendo las bases del Last Planner System (LPS) y su aplicación en la gestión de proyectos mineros. Se analizan sus principios fundamentales, herramientas principales y antecedentes en el ámbito de la minería, permitiendo contextualizar su impacto en la planificación y ejecución de actividades de desarrollo y preparación.

En el Capítulo 3, se describe en detalle la metodología utilizada, especificando el tipo y diseño de investigación, las unidades de análisis y las etapas de implementación del LPS. Asimismo, se expone el procedimiento de seguimiento semanal, destacando su importancia para el control y optimización de la planificación en proyectos mineros.

Finalmente, el Capítulo 4 presenta los resultados obtenidos a partir del análisis de indicadores mediante Power BI. Se examinan las Causas de No Cumplimiento (CNC) a través del diagrama de Pareto, permitiendo identificar patrones y oportunidades de mejora. Además, se lleva a cabo la validación de la hipótesis, determinando el impacto del LPS en el cumplimiento de plazos y productividad dentro del contexto minero.

Los hallazgos de esta investigación buscan demostrar que la implementación del Last Planner System no solo mejora la confiabilidad del cronograma en proyectos de minería, sino que también contribuye a la optimización de recursos y la productividad en actividades críticas como la voladura. Se espera que los resultados obtenidos sirvan como referencia para futuras aplicaciones del LPS en entornos mineros, promoviendo una gestión más eficiente y estructurada de los proyectos.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

En la industria minera, el cumplimiento de los cronogramas es un factor crítico para garantizar la eficiencia operativa, la rentabilidad y la seguridad en las actividades de producción. Sin embargo, diversos factores como la variabilidad en la planificación, la falta de coordinación entre actores involucrados y los imprevistos operacionales generan retrasos que afectan el desempeño de los proyectos. Frente a este desafío, la implementación del Last Planner System (LPS) se ha consolidado como una metodología efectiva para mejorar la confiabilidad y cumplimiento de los cronogramas en entornos complejos como la minería.

El Last Planner System es un sistema de gestión que permite mejorar la planificación y ejecución de proyectos mediante la desagregación del plan maestro en planes semanales detallados, facilitando un control más preciso de los procesos y la identificación temprana de problemas. Su aplicación en actividades de voladura busca mejorar la coordinación de los trabajos, reducir tiempos de inactividad y mejorar el uso de los recursos disponibles.

1.2 Descripción del problema de investigación

Actualmente, los proyectos mineros en el área de operaciones enfrentan serios desafíos en la gestión de plazos y confiabilidad. La falta de herramientas efectivas de planificación y control provoca retrasos significativos, comprometiendo los objetivos de tiempo y ejecución, y afectando la productividad. En este contexto, la implementación de un sistema de planificación robusto, como el Last Planner System (LPS), podría mejorar el control y cumplimiento de los cronogramas y la confiabilidad de la ejecución de proyectos.

Sin embargo, se desconoce en qué medida la adopción de LPS puede impactar positivamente en estas áreas críticas.

Además, persisten interrogantes sobre su aplicabilidad y efectividad en contextos mineros específicos, donde la volatilidad en las condiciones operativas y los altos estándares de seguridad complican aún más la gestión de proyectos.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cuáles son las causas y consecuencias de un incorrecto control del cronograma de desarrollo y preparación de un proyecto minero?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿En qué medida un incorrecto control del cronograma impacta en el cumplimiento de plazos en proyectos de desarrollo y preparación de un proyecto?
- ¿En qué medida un incorrecto control de cronograma impacta en la productividad de los proyectos de desarrollo y preparación de un proyecto?

1.4 Objetivo

1.4.1 Objetivo general

Implementar el sistema Last Planner en la gestión de proyectos mineros enfocados en actividades de desarrollo y preparación para mejorar el cumplimiento de cronogramas, la ejecución y la productividad.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar cómo la implementación del Last Planner System mejora el cumplimiento de los plazos en proyectos de avance en minería.
- Determinar el efecto del Last Planner System en la productividad de las actividades de desarrollo en proyectos mineros.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La implementación del sistema Last Planner en la gestión de proyectos mineros enfocados en ejecución de avances de desarrollo y preparación, mejorará el cumplimiento de cronogramas e incrementará la productividad

1.5.2 Hipótesis específicas

- La implementación del sistema Last Planner permitirá, en el futuro, un mayor cumplimiento de los plazos establecidos en proyectos de avances en minería.
- En el futuro, la aplicación del sistema Last Planner contribuirá a aumentar la productividad en las actividades de avances, reduciendo la variabilidad y optimizando los recursos disponibles.

1.6 Operacionalización de variables

1.6.1 Variable independiente (V.I)

- X1: Nivel de planificación.
- X2: Aplicación del sistema.

1.6.2 Variable dependiente (V.D)

- Y1: Cumplimiento de plazos.
Numero de disparos por semana.
- Y2: Productividad.
Eficiencia de disparo promedio semanal.
Metros de avance semanal.

Tabla 1

Matriz de consistencia

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<u>Problema General</u>	<u>Objetivo General</u>	<u>Hipótesis General</u>		
¿Cuáles son las causas y consecuencias de un incorrecto control del cronograma de desarrollo y preparación de un proyecto minero?	Implementar el sistema Last Planner en la gestión de proyectos mineros enfocados en actividades de desarrollo y preparación para mejorar el cumplimiento de cronogramas, la ejecución y la productividad.	La implementación del sistema Last Planner en la gestión de proyectos mineros enfocados en ejecución de avances de desarrollo y preparación, mejorará el cumplimiento de cronogramas e incrementará la productividad	X: Independiente / Causa	Y: Dependiente / Efecto Y1: Cumplimiento de plazos. Numero de disparos por semana.
<u>Problemas Específicos</u>	<u>Objetivos Específicos</u>	<u>Hipótesis Específicas</u>	X1: Nivel de planificación. X2: Aplicación del sistema.	
¿En qué medida un incorrecto control del cronograma impacta en el cumplimiento de plazos en proyectos de desarrollo y preparación de un proyecto?	Analizar cómo la implementación del Last Planner System mejora el cumplimiento de los plazos en proyectos de avance en minería.	La implementación del sistema Last Planner permitirá, en el futuro, un mayor cumplimiento de los plazos establecidos en proyectos de avances en minería.		
¿En qué medida un incorrecto control de cronograma impacta en la productividad de los proyectos de desarrollo y preparación de un proyecto?	Determinar el efecto del Last Planner System en la productividad de las actividades de desarrollo en proyectos mineros.	En el futuro, la aplicación del sistema Last Planner contribuirá a aumentar la productividad en las actividades de avances, reduciendo la variabilidad y optimizando los recursos disponibles.		Y: Dependiente / Efecto Y2: Productividad. Eficiencia de disparo promedio semanal. Metros de avance semanal.

Fuente: Elaboración propia

1.7 Antecedentes referenciales

1.7.1 Antecedentes internacionales

Cortez, J (2020) "Planificación integrada de mediano/largo plazo para obras interior mina en proyecto andes norte – nuevo nivel mina" – Chile.

La gestión de recursos y el control de la secuencia de actividades son esenciales para garantizar la continuidad operativa en proyectos mineros. En el proyecto Andes Norte – Nuevo Nivel Mina, se ha buscado mejorar la gestión operativa mediante herramientas como el Last Planner System (LPS) para la planificación general y Lean Full Potential para la planificación a corto plazo. La planificación de la mina involucra tres áreas: minería, infraestructura y ventilación. Esta investigación propone un modelo de optimización que integre minería e infraestructura para mejorar la eficiencia en la planificación y evaluar la implementación de una nueva herramienta para el equipo de planificación. Para ello, se desarrollaron dos modelos en el software Deswik, permitiendo evaluar tiempos de implementación y actualización.

Los resultados indican que la creación de un modelo base tomó 4 meses, mientras que su modificación y actualización requirió 2 semanas y 2 días, respectivamente. Los reportes de planificación generaron alertas sobre posibles incumplimientos de tareas debido a la sobreasignación de recursos, permitiendo la creación de planes de acción con el apoyo del LPS. Se concluye que el uso del software y los modelos optimizados mejoran la planificación al reducir tiempos, integrar áreas de trabajo y evitar traslapes de actividades, facilitando el control de la programación y la resolución de problemas en la operación minera.

Rodríguez, F. (2016) "Implementación de sistema Last Planner en ciclo minero – proyecto nuevo nivel mina, Codelco Chile"

Este estudio analiza la aplicación del Last Planner System (LPS) en el ciclo minero, enfocándose en mejorar la planificación y control de las actividades operacionales. La investigación detalla cómo la implementación del LPS permitió mejorar la coordinación entre los distintos equipos de trabajo, reduciendo retrasos y mejorando la comunicación

entre las áreas involucradas. El estudio se centra en la aplicación del Lookahead Planning y el Weekly Work Plan, herramientas clave del LPS que facilitaron la identificación y eliminación de restricciones antes de que afectaran el desarrollo de las tareas programadas. Como resultado, se logró una mayor eficiencia en la asignación de recursos y un cumplimiento más estricto de los cronogramas establecidos.

Además, el estudio resalta la importancia de la capacitación en el éxito del sistema, ya que la resistencia al cambio y la falta de familiaridad con la metodología fueron identificadas como las principales barreras en su implementación. Sin embargo, una vez superados estos desafíos, los beneficios del LPS fueron evidentes en términos de reducción de tiempos improductivos y mayor confiabilidad en la planificación de actividades. En conclusión, la investigación demuestra que la adopción del LPS en minería contribuye significativamente a la mejora de los procesos operativos, fomentando un entorno de trabajo más organizado y predecible. Se recomienda su implementación en proyectos mineros de gran escala, con un enfoque en la capacitación continua y el monitoreo constante de los resultados para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

1.7.2 Antecedentes nacionales

Fernández, E. (2019). "Aplicación de Last Planner y el PMI en la dirección de proyectos de instalación de tuberías de relave, empresa minera Los Quenuales".

La investigación de Fernández aplica el Last Planner System (LPS) junto con los lineamientos del Project Management Institute (PMI) en un proyecto minero en Perú, evidenciando mejoras en el control de flujos y la reducción de desperdicios. Se documenta cómo la integración del LPS optimiza la gestión de recursos y mejora el cumplimiento de metas, demostrando su viabilidad en entornos mineros.

El estudio se llevó a cabo en la Empresa Minera Los Quenuales S.A. - Unidad Yauliyacu, con la ejecución a cargo de Industrias Cyma S.R.L.. Se implementó un plan de gestión para maximizar el éxito en la instalación de líneas de tuberías de acero al carbono con una longitud de 1205 metros, alineándose con especificaciones técnicas y estándares de seguridad, salud ocupacional y calidad (SOMAC). Para ello, se aplicaron técnicas de

observación, control y recopilación de datos, enfocándose en la identificación de niveles de control de desperdicios (NCD), variabilidad de flujos (NVF) y productividad (NP).

La metodología utilizada corresponde a un estudio de tipo explicativo de corte transversal, con un diseño cuasi-experimental y pre-experimental, basado en una muestra no probabilística. Los datos recolectados fueron modelados mediante estadística descriptiva, aplicándose pruebas de normalidad, igualdad de varianzas y t de Student, junto con el cálculo del Alpha de Cronbach, lo que permitió validar la eficacia del estudio.

Los resultados confirman que la aplicación del LPS y PMI en la gestión del proyecto minero genera una mejora significativa en la planificación, ejecución y control, favoreciendo la reducción de desperdicios y aumentando la productividad. Se recomienda su implementación en otros proyectos de similar naturaleza para fortalecer la gestión y el cumplimiento de objetivos en el sector minero.

Mamani, J. (2022). "Aplicación del sistema Last Planner en la planificación y control de la etapa constructiva del proyecto: urbanización Concentradora Toquepala, Tacna – 2022"

La investigación de Mamani, J. (2022) analiza la aplicación del Last Planner System (LPS) en la planificación y control de la etapa constructiva del proyecto Urbanización Concentradora Toquepala, Tacna – 2022. Su objetivo principal es evaluar cómo el uso de esta metodología puede mejorar la gestión del proyecto, optimizando la ejecución de actividades, reduciendo la variabilidad en los procesos y garantizando un mayor cumplimiento de los plazos establecidos.

El estudio se basa en la comparación entre la planificación tradicional y la implementación del LPS, destacando la mejora en la coordinación de tareas, la asignación eficiente de recursos y la reducción de restricciones operativas. Se emplearon herramientas clave como el Lookahead Planning y el Weekly Work Plan, las cuales permitieron un mejor control del flujo de trabajo y una identificación temprana de problemas que pudieran afectar el avance del proyecto.

En términos metodológicos, la investigación adopta un enfoque cuantitativo y cualitativo, utilizando indicadores como el Porcentaje de Programa Cumplido (PPC) y las Causas de No Cumplimiento (CNC) para evaluar el impacto del LPS en el rendimiento de la obra. Los resultados obtenidos evidenciaron un aumento significativo en la productividad, reflejado en una mayor confiabilidad en la planificación y una reducción de tiempos muertos en la ejecución de actividades.

Finalmente, la investigación concluye que la aplicación del Last Planner System en proyectos de urbanización mejora la eficiencia en la gestión y el control de la construcción. Se recomienda su uso en futuros proyectos similares, enfatizando la necesidad de capacitación continua y un seguimiento riguroso para maximizar sus beneficios en términos de cumplimiento de cronogramas y optimización de recursos.

Price, R. et al (2023) "Implementación del Last Planner System para mejorar la productividad de la construcción del nuevo enfriador de Clinker en la planta UNACEM-Condorcocha".

La investigación analiza la implementación del Last Planner System (LPS) en la construcción del nuevo enfriador de Clinker en la planta UNACEM-Condorcocha, con el objetivo de mejorar la productividad y mejorar la gestión del proyecto. El estudio se enfoca en cómo la metodología del LPS permite reducir desperdicios, minimizar retrasos y aumentar la eficiencia en la planificación y ejecución de las actividades constructivas.

Para ello, se realizó un análisis comparativo entre la planificación tradicional y la implementación del LPS, evidenciando mejoras en la coordinación entre los equipos de trabajo, la identificación de restricciones y la reducción de variabilidad en el flujo de trabajo. Se aplicaron herramientas clave del LPS, como el Lookahead Planning y el Weekly Work Plan, para fortalecer la planificación a corto y mediano plazo, garantizando un mejor control sobre el cumplimiento de los plazos establecidos.

La metodología utilizada en la investigación fue de tipo cuasi-experimental, con un enfoque en la recolección de datos cuantitativos y cualitativos. Se emplearon indicadores como el Porcentaje de Programa Cumplido (PPC) y las Causas de No Cumplimiento (CNC)

para evaluar la eficacia del LPS en la obra. Los resultados mostraron un aumento significativo en el cumplimiento de los cronogramas y una reducción en los tiempos improductivos, demostrando que el LPS contribuye a una gestión más eficiente de los recursos y al cumplimiento de los objetivos del proyecto.

En conclusión, el estudio reafirma que la implementación del Last Planner System en proyectos de construcción industrial mejora la productividad y la predictibilidad del trabajo, proporcionando un marco estructurado para la planificación y ejecución de actividades. Se recomienda continuar con la aplicación del LPS en futuros proyectos de infraestructura para mejorar los procesos constructivos y reducir las incertidumbres en la gestión de obra.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco Teórico

2.1.1 *Last Planner System (LPS)*

El Last Planner System (LPS) es un sistema de planificación y control de producción desarrollado dentro del enfoque Lean Construction para mejorar la confiabilidad en la ejecución de proyectos. Se basa en la planificación colaborativa y progresiva, asegurando que las tareas se ejecuten en el momento adecuado con los recursos necesarios, minimizando incertidumbres y desperdicios.

De acuerdo con Ballard (2000), creador del LPS, este sistema "se centra en la conversión de planes en acciones confiables a través de la gestión de compromisos y la eliminación de restricciones antes de la ejecución de las tareas".

Por su parte, Howell (1999) señala que el LPS "aumenta la eficiencia del trabajo al enfocar la planificación en actividades factibles y comprometidas, en lugar de depender exclusivamente de cronogramas determinísticos".

2.1.2 *Principales herramientas del LPS*

El Last Planner System (LPS) utiliza diversas herramientas para estructurar la planificación, mejorar la confiabilidad de los compromisos y mejorar la ejecución de proyectos. Según Ballard (2000), estas herramientas permiten reducir la variabilidad en la producción y mejorar el flujo de trabajo a través de la planificación colaborativa.

A continuación, se presentan las herramientas clave del LPS con su respectiva fundamentación:

2.1.2.1 Planificación colaborativa y tableros visuales. Esta herramienta permite a los equipos visualizar el flujo de trabajo, organizar actividades y coordinar recursos. Se utilizan tableros físicos o digitales donde se registran las tareas a ejecutar.

Ballard, G. (2000) indica que la planificación colaborativa es esencial para mejorar la confiabilidad del cronograma.

Forbes y Ahmed (2011) mencionan que los tableros visuales facilitan la comunicación entre los equipos de trabajo y la toma de decisiones en tiempo real.

2.1.2.2 Lookahead Planning (Planificación de Mirada Adelantada). Permite anticipar restricciones y preparar los recursos necesarios en un horizonte de 4 a 6 semanas. Su objetivo es reducir la incertidumbre antes de la ejecución.

Según Ballard (2000), esta herramienta ayuda a mejorar la estabilidad de los procesos productivos.

Hamzeh et al. (2012) destacan que la Planificación de Mirada Adelantada permite gestionar restricciones y evitar interrupciones en la producción.

2.1.2.3 Plan semanal de trabajo (Weekly Work Plan - WWP). Define las actividades concretas a ejecutar en la siguiente semana, asegurando que todas las restricciones han sido resueltas antes de la asignación de tareas.

Según Ballard (2000), este plan es clave para asegurar que solo se programen actividades viables.

Howell et al. (2005) mencionan que esta herramienta mejora el cumplimiento de los plazos y la productividad.

2.1.2.4 PPC (Percent Plan Complete - Porcentaje de Promesas Cumplidas). El PPC mide el porcentaje de tareas completadas según lo planificado, permitiendo evaluar la eficiencia y detectar fallas en la planificación.

Ballard y Howell (1998) explican que el PPC es una métrica fundamental para la mejora continua dentro del LPS.

Hamzeh et al. (2012) indican que el PPC ayuda a identificar las principales causas de incumplimiento y permite corregirlas.

2.1.2.5 Análisis de restricciones (Constraints Analysis). Identifica los obstáculos que impiden la ejecución de tareas y asigna responsables para su eliminación.

Ballard (2000) señala que la identificación temprana de restricciones mejora la confiabilidad del cronograma.

Liu y Ballard (2020) destacan que esta herramienta permite reducir los tiempos improductivos en proyectos de alto riesgo.

2.1.3 Metodología del LPS

Metodología Last Planner System Esta metodología ha demostrado ser efectiva para mejorar la productividad, calidad y rentabilidad en proyectos de construcción.

2.1.3.1 Metodología de programación en Last Planner System. Las metodologías de programación en el Last Planner System (LPS), que incluyen la Estructura de Desglose del Trabajo WBS (Work Breakdown Structure), el Programa Maestro y el Pull Session, desempeñan un papel fundamental en la planificación y ejecución de proyectos de construcción (Ballard y Howell, 1998). Según el PMBOK (2021), la Estructura de Desglose del Trabajo (WBS/EDT) se define como una descomposición jerárquica de las tareas necesarias para cumplir con los objetivos del proyecto y producir los entregables requeridos.

El Programa Maestro en el LPS es crucial en la gestión eficiente de proyectos de construcción. Pons y Rubio (2019), afirma qué un plan maestro completo, basado en los principios Lean, debe proporcionar al equipo de obra una visión compartida de los objetivos y entregables del proyecto. Esto posibilita un seguimiento preciso de la evolución y el alcance del mismo.

También, esta metodología emplea la planificación Pull para organizar el trabajo en fases o hitos fundamentales del proyecto. Durante esta sesión, se identifican restricciones, se genera una comprensión sobre cómo las tareas de unos afectan a los 8 demás y se detectan posibles conflictos en la secuencia de actividades del plan maestro.

2.1.3.2 Optimizando el Flujo de Trabajo: El Programa Lookahead en el Last Planner System. El Programa Lookahead, también conocido como planificación de mirada adelantada, es una fase intermedia dentro del Last Planner System (LPS) que abarca un horizonte de planificación de 4 a 6 semanas. Su principal objetivo es preparar las tareas antes de su ejecución, identificando restricciones y asegurando la disponibilidad de recursos.

En este nivel, las actividades previstas en la planificación de fases son revisadas en detalle para determinar si pueden ejecutarse según lo programado. Si se identifican restricciones, se implementan estrategias para su eliminación, evitando retrasos e interrupciones en el flujo de trabajo.

Según Ballard y Howell (1998), el Lookahead Planning permite convertir planes generales en tareas factibles, optimizando la productividad y reduciendo el desperdicio de tiempo y recursos.

2.1.3.2.1 Estructura del Programa Lookahead. El Lookahead Planning se compone de tres actividades principales que permiten mejorar la planificación operativa:

- **Selección y descomposición de tareas.**

Las actividades programadas en la planificación de fases se revisan y se desglosan en tareas más específicas. Este desglose facilita la asignación de responsabilidades y permite evaluar los requerimientos operativos con mayor precisión.

- **Identificación y eliminación de restricciones.**

Cada tarea es evaluada para identificar restricciones que podrían impedir su ejecución. Estas restricciones pueden incluir la falta de insumos, condiciones inadecuadas del terreno, problemas de seguridad o disponibilidad de equipos.

Según Hamzeh et al. (2012), la detección temprana de restricciones permite implementar soluciones de manera proactiva, evitando retrasos en la ejecución.

- **Preparación de las tareas para su ejecución.**

Las actividades que han superado el análisis de restricciones son organizadas y programadas para su ejecución en las siguientes semanas. Esto incluye la asignación final de recursos, la coordinación entre equipos y la validación de las condiciones operativas.

2.1.3.2.3 Beneficios del Programa Lookahead en la optimización del flujo de trabajo. La implementación del Programa Lookahead en el Last Planner System

proporciona múltiples beneficios que impactan directamente en la eficiencia operativa y la confiabilidad de la planificación:

- Reducción de incertidumbre: Al prever restricciones y resolverlas con anticipación, se minimizan las interrupciones y los tiempos improductivos.
- Mejora en la utilización de recursos: La planificación anticipada permite una asignación más eficiente de personal, equipos y materiales.
- Mayor cumplimiento de cronogramas: La conversión de planes generales en tareas factibles mejora la confiabilidad del sistema de planificación.
- Optimización de la seguridad operativa: La identificación de restricciones ayuda a garantizar que todas las condiciones de trabajo sean seguras antes de la ejecución de las tareas.

El Programa Lookahead dentro del Last Planner System (LPS) es una metodología eficaz para mejorar el flujo de trabajo en proyectos de construcción y minería. Su enfoque en la anticipación de restricciones y la planificación detallada permite mejorar la confiabilidad de los cronogramas y reducir interrupciones, generando un impacto positivo en la productividad y la seguridad operativa.

2.1.3.3 Indicadores clave del LPS: Porcentaje de Programa Cumplido (PPC) y Causas de No Cumplimiento (CNC). El LPS emplea indicadores clave que permiten medir el desempeño y detectar oportunidades de mejora.

Dos de los indicadores más importantes en el LPS son:

- Porcentaje de Programa Cumplido (Percent Plan Complete - PPC): mide la eficiencia en el cumplimiento de las tareas programadas.
- Causas de No Cumplimiento (Causes of Non-Compliance - CNC): analiza los factores que impiden la ejecución de las actividades planificadas.

El análisis conjunto de estos indicadores permite mejorar la planificación, identificar restricciones y mejorar la confiabilidad en la programación de actividades, especialmente en industrias como la minería, donde la precisión y la coordinación son fundamentales.

2.1.3.3.1 Porcentaje de Programa Cumplido (PPC). El Porcentaje de Programa Cumplido (PPC) es un indicador que mide la cantidad de tareas completadas en comparación con las tareas planificadas dentro de un período determinado, generalmente en el Plan Semanal de Trabajo (Weekly Work Plan - WWP).

La fórmula para calcular el PPC es:

$$PPC = \left(\frac{\text{Numero de tareas completadas segun lo programado}}{\text{Numero total de tareas programadas}} \right) * 100 \quad (1)$$

Un PPC alto indica que las tareas planificadas se están cumpliendo con éxito, reflejando una planificación realista y un flujo de trabajo eficiente. Un PPC bajo sugiere problemas en la planificación o ejecución, lo que requiere una revisión de las restricciones y posibles ajustes en la estrategia de programación.

Beneficios del PPC en la Gestión de Proyectos

- Mejora la confiabilidad de la planificación al identificar qué tan efectivas son las predicciones de trabajo.
- Reduce la incertidumbre y la variabilidad en la ejecución de actividades.
- Permite la mejora continua mediante la identificación de patrones de incumplimiento.
- Asegura la alineación entre planificación y ejecución, optimizando recursos y tiempos.

2.1.3.3.2 Causas de No Cumplimiento (CNC). El análisis de las Causas de No Cumplimiento (CNC) complementa el PPC al identificar los motivos por los cuales las tareas planificadas no fueron ejecutadas según lo esperado.

Las causas más comunes incluyen:

Restricciones Operativas

- Falta de materiales o insumos: no disponibilidad de explosivos, herramientas o repuestos en minería.

- Equipos fuera de servicio: fallas mecánicas o mantenimiento imprevisto en perforadoras, cargadores o camiones.
- Condiciones geotécnicas adversas: derrumbes o inestabilidad del macizo rocoso que impiden la ejecución de tareas.

Problemas en la Planificación

- Subestimación de tiempos: actividades programadas con tiempos insuficientes para su correcta ejecución.
- Falta de coordinación entre equipos: interrupciones debido a mala comunicación entre contratistas o áreas operativas.
- Errores en la secuencia de tareas: asignación incorrecta de prioridades o interdependencias mal gestionadas.

Factores Externos

- Condiciones climáticas adversas: lluvias intensas, temperaturas extremas o nevadas que retrasan la ejecución de tareas.
- Regulaciones o permisos pendientes: retrasos debido a la falta de autorizaciones ambientales o de seguridad.

Factores Humanos

- Ausencia de personal clave: ausencias imprevistas de operadores, técnicos o supervisores.
- Falta de capacitación: errores en la ejecución debido a deficiencias en la formación del personal.

2.1.3.3.3 Relación entre PPC y CNC: Identificación de oportunidades de mejora. El análisis del PPC y las CNC permite tomar decisiones informadas para mejorar la planificación y reducir la variabilidad en la ejecución de proyectos.

Tabla 2*Casos comunes – relación entre PPC y CNC*

Escenario	PPC	Causas de No Cumplimiento (CNC)	Acciones Correctivas
PPC alto (>80%)	Elevado	Baja incidencia de restricciones	Mantener estrategias actuales y buscar mejoras incrementales.
PPC moderado (60-80%)	Medio	Problemas ocasionales de disponibilidad de recursos o planificación	Revisar la secuencia de tareas y mejorar coordinación.
PPC bajo (<60%)	Bajo	Restricciones críticas frecuentes	Rediseñar la planificación, eliminar restricciones antes de programar tareas.

Fuente: Elaboración propia

2.1.3.3.4 Implementación del PPC y CNC en el Last Planner System. Para aplicar correctamente estos indicadores en el LPS, se recomienda seguir estos pasos:

- Medir el PPC semanalmente: calcular el porcentaje de cumplimiento de tareas y analizar tendencias.
- Registrar las CNC: documentar los motivos de incumplimiento y categorizarlos en función de su origen (operativo, planificación, externo, humano).
- Realizar reuniones de retroalimentación: analizar las causas de incumplimiento y definir acciones correctivas.
- Ajustar la planificación: incorporar las lecciones aprendidas en la planificación de fases y en el Programa Lookahead.
- Evaluar mejoras en el tiempo: comparar los valores de PPC y CNC a lo largo de varias semanas para medir el impacto de las correcciones implementadas.

2.1.3.4 Herramientas tecnológicas para la implementación de Last Planner System. El uso de estas herramientas digitales puede representar una valiosa contribución para abordar los desafíos asociados a esta metodología, previamente mencionados (Pons y Rubio, 2019). Díaz et al. (2018), Señala que la implementación del aplicativo Trello para la gestión de las restricciones en el sistema Last Planner ofrece múltiples ventajas.

Así también, Toledo (2022), señala que la propuesta de implementación del sistema Last Planner mediante el uso de herramientas digitales colaborativas representa una oportunidad para potenciar la eficiencia y calidad en el proceso de planificación y ejecución

de proyectos de construcción. El uso de estas herramientas tecnológicas permite adaptar el proceso de planificación y ejecución a las necesidades específicas de cada proyecto haciendo uso de la metodología LPS.

2.1.4 Relación entre el LPS y la gestión de proyectos mineros

2.1.4.1 Cumplimiento de plazos. La minería es un sector caracterizado por la ejecución de proyectos complejos y de gran escala, en los que la planificación juega un papel fundamental en la optimización de recursos, reducción de costos y mejora en la seguridad operativa (Díaz, 2017). La falta de herramientas efectivas para la gestión del tiempo y la variabilidad en las condiciones operativas pueden generar retrasos en el cronograma, afectando la rentabilidad del proyecto.

En este sentido, la aplicación de metodologías estructuradas como el LPS ha cobrado relevancia, ya que permite reducir la incertidumbre en la programación de actividades, aumentando la confiabilidad del plan de ejecución. La minería subterránea, por ejemplo, requiere un alto nivel de coordinación entre distintas fases de trabajo, por lo que contar con una planificación flexible y precisa es crucial para evitar interrupciones en el ciclo productivo (González et al., 2020).

Impacto del LPS en el cumplimiento de plazos en minería

El LPS se basa en la planificación de tres niveles: Master Schedule (Plan Maestro), Lookahead Planning (Plan de Anticipación) y Weekly Work Plan (Plan Semanal). A través de estos niveles, se logra un mejor control del flujo de trabajo y se minimizan las Causas de No Cumplimiento (CNC), lo que mejora la confiabilidad del cronograma en proyectos mineros (Ballard & Tommelein, 2016).

Estudios recientes han demostrado que la implementación del LPS en minería ha generado mejoras en los siguientes aspectos (Price et al., 2023):

- Reducción de variabilidad en la planificación, evitando cambios de última hora que afectan el cumplimiento del cronograma.
- Mayor precisión en la asignación de recursos, optimizando el uso de equipos y personal.

- Incremento en el Porcentaje de Programa Cumplido (PPC), reflejando una mejora en la ejecución de actividades programadas.

2.1.4.2 Productividad. La productividad en minería se define como la capacidad de maximizar la extracción de minerales con el uso eficiente de recursos humanos, materiales y equipos. Sin embargo, factores como la variabilidad en las condiciones geológicas, fallas en la programación y una gestión deficiente del tiempo afectan significativamente los niveles de producción (Díaz, 2017).

En muchos proyectos mineros, la falta de coordinación entre equipos de trabajo y la escasa planificación anticipada provocan pérdidas de tiempo, uso ineficiente de maquinarias y sobrecostos. Esto ha impulsado la búsqueda de nuevas metodologías de gestión, como el LPS, que permiten mejorar el rendimiento de los procesos productivos al reducir la incertidumbre y generar planes más confiables (Mamani, 2022).

Impacto del LPS en la productividad minera

El LPS, a través de su enfoque en la planificación en diferentes niveles (Master Schedule, Lookahead Planning y Weekly Work Plan), permite una mejor estructuración del trabajo, facilitando la identificación temprana de restricciones y la optimización del uso de recursos. Esto se traduce en los siguientes beneficios para la productividad en minería (Ballard & Tommelein, 2016):

- Reducción del tiempo improductivo: La planificación colaborativa y la identificación de restricciones evitan retrasos causados por la falta de insumos o disponibilidad de equipos.
- Mejor asignación de recursos: La implementación del Lookahead Planning asegura que los equipos y maquinarias estén programados con anticipación, evitando sobrecargas o tiempos muertos.
- Aumento en el Porcentaje de Programa Cumplido (PPC): Un mayor cumplimiento del cronograma mejora la continuidad operativa, optimizando la cadena productiva.
- Reducción de desperdicios: Se minimizan los movimientos innecesarios y los reprocesos, lo que impacta directamente en la eficiencia de producción.

Estudios recientes han demostrado que la aplicación del LPS en minería puede aumentar la productividad hasta en un 15-25%, dependiendo del grado de implementación y la integración con herramientas tecnológicas como BIM y análisis de datos en tiempo real (Price et al., 2023).

2.2 Marco conceptual

El Marco Conceptual define los términos clave utilizados en la investigación, asegurando una comprensión clara y uniforme:

- **Planificación:**

Proceso de organización y estructuración de actividades para alcanzar objetivos específicos de manera eficiente.

- **Producción:**

Generación de bienes o servicios mediante la utilización de recursos y procesos establecidos.

- **Fiabilidad:**

Capacidad de un sistema, proceso o equipo para funcionar de manera constante y sin fallos durante un período determinado.

- **Variabilidad:**

Grado de fluctuación o cambio en un proceso, que puede afectar la estabilidad y previsibilidad de los resultados.

- **Ejecución:**

Implementación de actividades planificadas para alcanzar los objetivos propuestos.

- **Cumplimiento:**

Grado en el que se logran las metas establecidas en un plan o normativa.

- **Productividad:**

Relación entre los recursos utilizados y los resultados obtenidos en un proceso.

- **Seguimiento:**

Monitoreo continuo de actividades o procesos para evaluar su desempeño y aplicar mejoras.

- **Optimización:**

Mejora de un proceso o sistema para maximizar su eficiencia y rendimiento.

- **Indicadores:**

Parámetros medibles que permiten evaluar el desempeño y cumplimiento de objetivos en un proceso.

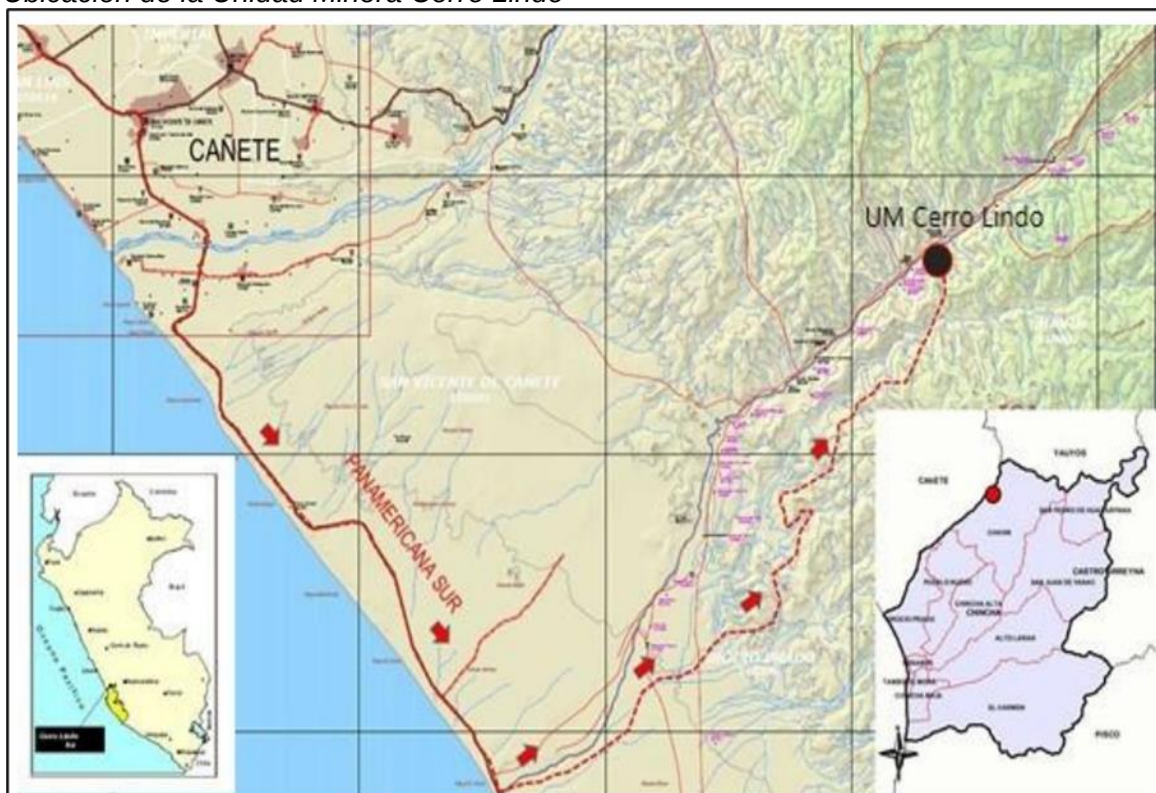
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Unidad de estudio

La UM Cerro Lindo, que se encuentra en la quebrada de Topara, está políticamente ubicada en el distrito de Chavín, provincia de Chincha, departamento de Ica. Sus coordenadas geográficas UTM son 8'554,400 N y 993,100 E.

Figura 1: Ubicación de la unidad minera Cerro Lindo

Ubicación de la Unidad Minera Cerro Lindo



Fuente: Boletín Anual 2020: Ubicación y Accesibilidad – Nexa Resources

La mina Cerro Lindo, situada aproximadamente a 175 kilómetros al sureste de Lima, es accesible mediante una ruta que comprende dos tramos: primero, un trayecto de 280 kilómetros por carretera asfaltada desde Lima hasta Jahuay (Chincha), y luego, un recorrido de 60 kilómetros por una trocha carrozable desde Chincha hasta la unidad minera.

3.2 Recolección de datos

Para la recolección de datos que es objeto de análisis, se toma en cuenta los documentos generados durante las reuniones clave. Estos registros permiten obtener

información detallada y estructurada sobre la planificación, ejecución y seguimiento de las actividades evaluadas.

Cada reunión identifica fuente de datos relevantes, proporcionando evidencia sobre el desempeño de los equipos de trabajo, el cumplimiento de plazos y la identificación de posibles restricciones o desviaciones en el proceso. La documentación recopilada incluye actas, reportes de avances, listas de compromisos y cualquier otro informe generado en el desarrollo de las sesiones.

3.2.1 Reunión semanal “Lookahead”

Esta reunión es liderada por el Jefe de Oficina Técnica y se realiza todos los sábados de 3:00 p.m. a 4:30 p.m. en Proyecto. Esta reunión de contar con la participación de todos los Jefes y/o Líderes de área.

La agenda de esta reunión abarca la siguiente:

- Cumplimiento de Objetivos (Plan vs Real). Para obtener esta información se debe contar con el plan de avances del cliente (Caso Cerro Lindo: Secuenciador). Se debe elaborar y actualizar el Dashboard de Lookahead Planning. Ver Anexo 4.
- Identificación y análisis de causas de no cumplimiento. Utilizar el Máster Causas de No Cumplimiento y completar semanalmente como un entregable de la reunión.
- Análisis de restricciones (TOC) para adoptar medidas correctivas futuras. Utilizar el formato Log de Restricciones.
- Plan de la siguiente semana mediante el Plan Semanal.

Son 4 entregables como parte de la reunión y estos deben ser llenados con los main drivers que correspondan a cada proyecto.

3.2.2 Reunión semanal de mantenimiento

Esta reunión es liderada por el Superintendente / Jefe de Mantenimiento de Proyecto y se realiza todos los viernes de 3:00 p.m. a 4:00 p.m. en Proyecto. Esta reunión debe contar con la participación de todos los Jefes y/o Líderes de área (Logística, Administración, Mantenimiento y Operaciones) y Corporativo Perú (Superintendente de Operaciones, Superintendente de Supply Chain Management, Superintendente de Gestión

de Activos, Jefe de Gestión de Activos, Analista de Mantenimiento y Analista de Gestión del Talento).

La agenda de esta reunión abarca la siguiente:

- Presentación KPIs Mantenimiento (Disponibilidad, Cumplimiento y Efectividad).
- Gestión de Flota (Revisión de Maestro de Equipos, Análisis de compra y desmovilización de Equipos).
- Plan de acción de equipos críticos.
- Presentación del Plan de Mantenimiento Preventivo de la siguiente semana.
- Estatus de requerimientos.
- Conclusiones y acuerdos.

3.2.3 Reunión semanal de seguridad

Esta reunión es liderada por el Gerente / Jefe de Seguridad de Proyecto y se realiza todos los domingos de 7:30 a.m. a 8:30 a.m. en Proyecto. Esta reunión de contar con la participación de todos los Jefes y/o Líderes de área.

La agenda de esta reunión abarca la siguiente:

- Seguimiento de los Planes de Acción.
- Control de los IPERC, OT, VEOs.
- Reportes de incidentes e investigaciones de accidentes.
- ¿Qué se está haciendo para prevenir accidentes?
- ¿Qué se hará para prevenir accidentes?

3.3 Procesamiento de la información

Para implementar y evaluar los beneficios del Last Planner System (LPS), su ejecución está programada a partir de la semana 22 del año 2024 (finales de mayo e inicios de junio). Durante siete semanas, se realizará un seguimiento detallado de su desempeño, analizando su impacto en los principales indicadores operativos. Se espera que los resultados evidencien mejoras en eficiencia, productividad y gestión operativa, lo que permitirá justificar su continuidad y posible expansión dentro de la operación minera. Con

ello, se busca mejorar los procesos y maximizar los beneficios del LPS en el ciclo de voladura y desarrollo.

Las actividades a desarrollar en el proceso de implementación del LPS incluyen diversas etapas clave para garantizar una ejecución eficiente y segura. Entre ellas se encuentran:

Las actividades clave incluyen excavaciones, que comprenden la excavación in situ, en relleno y la rehabilitación de labores, asegurando la adecuada preparación del terreno. El cable bolting se realizará en modalidades convencional y mecanizada, mejorando la estabilidad de las excavaciones y optimizando la seguridad. Finalmente, el sostenimiento de avances se llevará a cabo mediante la aplicación de técnicas y materiales que refuercen la estructura de las labores mineras, garantizando la continuidad y estabilidad del proceso operativo.

Cada una de estas actividades será monitoreada y evaluada a lo largo del periodo de implementación con el fin de medir su impacto en la productividad y seguridad, contribuyendo a la toma de decisiones para la expansión del LPS en el resto de la operación.

Partiendo de la premisa de que se cuenta con el plan semanal Lookahead de la semana 22, se llevará a cabo un seguimiento continuo del LPS, garantizando su implementación y evaluación progresiva. Al finalizar cada semana, se elaborará y entregará el plan semanal correspondiente a la siguiente, asegurando así la continuidad del sistema. Este enfoque permitirá realizar ajustes en tiempo real, mejorar la planificación y mejorar la eficiencia operativa, facilitando la expansión del LPS en el resto de la operación.

Para garantizar un análisis riguroso en esta investigación aplicada, es fundamental precisar las variables a comparar y establecer criterios claros para su evaluación.

En este estudio, se analizarán las siguientes variables clave:

- Las variables clave a analizar incluyen el número de disparos semanales, que permitirá identificar tendencias en la ejecución del ciclo minero y su relación con la planificación bajo el Last Planner System (LPS).
- La eficiencia de disparo promedio semanal se evaluará mediante la relación entre metros de avance y metros perforados, determinando el aprovechamiento de la perforación y su impacto en la continuidad operativa.
- Finalmente, los metros de avance semanales servirán como indicador de productividad, permitiendo evaluar si la implementación del LPS mejora la tasa de avance y la eficiencia del desarrollo minero.

Criterios para la comparación

Para evaluar el impacto del LPS, se establecerán grupos de comparación entre proyectos con y sin la implementación de la metodología. Los principales criterios de comparación serán:

- Tendencia del número de disparos semanales antes y después de la aplicación del LPS.
- Variación en la eficiencia de disparo mediante el análisis de métricas de cumplimiento de diseño antes y después de aplicar LPS.
- Comparación de los metros de avance semanal, evaluando si se logran mejoras en la productividad de las labores mineras con la implementación del LPS.

El análisis de estos datos se realizará utilizando métodos estadísticos descriptivos e inferenciales para identificar mejoras significativas y validar la hipótesis planteada en el estudio.

Tabla 3

Plan semanal Lookahead – semana 22

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa	26-may.	27-may.	28-may.	29-may.	30-may.	31-may.	1-jun.	RESTRICCIONES / OBSERVACIONES
.	Excavaciones												
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	287.00	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	04 SCOOP'S OPERATIVOS Y CONFIABLES
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	16.40	4.1	4.1	4.1	4.1	0.0	0.0	0.0	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	73.00	10	11	10	10	11	11	10	2.5 EQUIPOS DESATADORES POR FALTA DE OPERADOR
	Cable Bolting					800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	
1	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2312	m.	1,400.00	200	200	200	200	200	200	200	2.5 EQUIPOS TALADROS LARGOS
2	Cable Bolting Convencional	CBCO	2223	m.	4,200.00	600	600	600	600	600	600	600	
	Sostenimiento					500	500	500	500	500	500	500	
1	Instalación de Pernos	PMME	2322	Und.	3,500.00	500	500	500	500	500	500	500	

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Entregables semana 22

Tabla 4

Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 22

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa semana anterior	Ejecutado semana actual	26-may.	27-may.	28-may.	29-may.	30-may.	31-may.	1-jun.	% PPC	Cumplimiento (SI/NO)	Causas de No Cumplimiento (CNC)
	Excavaciones				376.40	277.60	53.40	45.60	40.80	26.00	25.00	41.80	45.00	74%		
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	287.00	235.60	47.40	25.60	34.80	24.00	25.00	37.80	41.00	82%	NO	
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	16.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	NO	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	73.00	42.00	6.00	20.00	6.00	2.00	0.00	4.00	4.00	58%	NO	SIMULTANEIDAD FALTA DE PERSONAL
	Cable Bolting				5,600.00	5,081.00	735.00	486.00	743.00	1,020.00	693.00	799.00	605.00	91%		
1	Cable Bolting Convencional	CBCO	2312	m.	4,200.00	3,707.00	555.00	270.00	513.00	720.00	540.00	594.00	515.00	88%	NO	BAJA PRESION / FALTA DE AGUA SIMULTANEIDAD RAPTOR INOPERATIVO
2	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2223	m.	1,400.00	1,374.00	180.00	216.00	230.00	300.00	153.00	205.00	90.00	98%		FALTA TABLERO ELÉCTRICO MALA COORDINACION BAJA PRESION / FALTA DE AGUA
	Sostenimiento Avances				3,500.00	4,200.00	650.00	600.00	580.00	500.00	550.00	620.00	700.00	1.20		
1	Instalación de Pernos	PMME	2322	Und.	3,500.00	4,200.00	650.00	600.00	580.00	500.00	550.00	620.00	700.00	120%	SI	

Fuente: Elaboración propia

Descripción de las causas de no cumplimiento

Para cable bolting convencional:

- Domingo 26 de mayo se pierden 180mts de inyectado por falta de agua de 03:30 a fin de guardia.
- Lunes 27 de mayo por falta de área, trabajos en simultaneidad, equipo inoperativo y la falta de agua no se preparan labores para inyectado perdiendo un total de 396 mts turno día y 315 mts turno noche
- Martes 28 de mayo inoperatividad de equipo R4 y labor no preparada se pierden un total de 198 mts
- Miércoles 29 de mayo turno noche, labores no habilitadas (proceso de lanzado de shotcrete) y la falta de agua de inicio a 2:00am dificulta la preparación de labores para inyectado de la siguiente guardia.
- Jueves 30 de mayo falta de energía por trabajos no programados y cambio de guardia retrasan la perforación. Turno noche sin áreas habilitadas para inyectado, labores en proceso de perforación. perdiendo un total de 153mts.
- Viernes 31 de mayo turno día, no se tiene áreas para habilitadas para perforación e inyectado, labores habilitadas hasta media gda, perdiendo un total de 108 mts.
- Sábado 01 de mayo turno día, scoop programado para habilitar área inoperativo. áreas programadas con restricciones de tablero eléctrico, shotcrete y rehabilitación.

Para cable bolting mecanizado:

- Martes 28 de mayo por falta tablero eléctrico no se inicia la perforación + cableado+ inyectado perdiendo un total de 180 mts.
- Miércoles 29 de mayo por falta de agua de 02:00pm hasta fin de gda se pierden un total de 270 mts.
- Jueves 30 de mayo mala coordinación de NEXA genera trabajos en simultaneidad programando un scoop para blending ocasionando una pérdida de 225mts.

Al finalizar la semana 22, se lleva a cabo la elaboración del plan semanal para la semana siguiente, garantizando la continuidad operativa y permitiendo una planificación estratégica basada en el análisis del desempeño y las oportunidades de mejora identificadas.

Tabla 5

Plan semanal Lookahead – semana 23

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa	2-jun.	3-jun.	4-jun.	5-jun.	6-jun.	7-jun.	8-jun.	RESTRICCIONES / OBSERVACIONES
.	Excavaciones												
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	287.00	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	- 3.5 SCOOP OPERATIVOS Y CONFIABLES - 03 DESATADORES - 06 EMPERNADORES - 03 TALADROS LARGOS"
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	16.40	4.1	0.0	4.1	0.0	4.1	0.0	4.1	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	77.00	11	11	11	11	11	11	11	
	Cable Bolting					800.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	
1	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2312	m.	1,400.00	200	200	200	200	200	200	200	
2	Cable Bolting Convencional	CBCO	2223	m.	5,400.00	600	800	800	800	800	800	800	

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Entregables semana 23

Tabla 6

Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 23

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa semana anterior	Ejecutado semana actual	2-jun.	3-jun.	4-jun.	5-jun.	6-jun.	7-jun.	8-jun.	% PPC	Cumplimiento (SI/NO)	Causas de No Cumplimiento (CNC)
	Excavaciones				380.40	386.20								102%		
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	287.00	238.50	40.80	36.00	34.10	17.60	47.20	28.80	34.00	83%	NO	FALTA SHOTCRETE CAIDA DE TENSION / FALTA DE ENERGIA
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	16.40	21.70	3.00	3.50	4.20	3.50	4.50	0.00	3.00	132%	SI	JUMBO INOPERATIVO
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	77.00	126.00	10.00	16.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	164%	SI	FALTA DE AIRE
	Cable Bolting				6,800.00	4,241.00	907.00	787.00	673.00	370.00	496.00	396.00	612.00	62%		
1	Cable Bolting Convencional	CBCO	2312	m.	5,400.00	3,129.00	538.00	436.00	439.00	370.00	496.00	396.00	454.00	58%	NO	EQUIPO DE TALADROS LARGOS INOPERATIVO
2	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2223	m.	1,400.00	1,112.00	369.00	351.00	234.00	0.00	0.00	0.00	158.00	79%	NO	CAIDA DE TENSION / FALTA DE ENERGIA
	Sostenimiento Avances				0.00	4,727.00	823.00	599.00	622.00	621.00	578.00	810.00	674.00	-		
1	Instalación de Pernos	PMME	2322	Und.	16.40	4,727.00	823.00	599.00	622.00	621.00	578.00	810.00	674.00	0%		

Fuente: Elaboración propia

Descripción de las causas de no cumplimiento

Excavación in-situ

- 01-06 Demoras en sostenimiento con malla y lanzado de shotcrete.
- 05-06 Labor queda perforada al 100%, geomecánica restringe el carguío por falta de lanzado de shotcrete y reforzar el sostenimiento.
- 05-06 -Frente queda perforado, no se tiene energía de 3:45am a 4:45am generando retrasos en la perforación con equipo jumbo.
- 05-06 -Frente queda en proceso de perforación porque se tiene corte de energía no programado por empalme de cable para que ingrese el simba de nexa de 11:00am a 1:30am, jumbo se traslada al Nv 1770 Ga 002 para perforación de frentes.

Excavación relleno

- Labor queda en proceso de perforación en un 50%, demoras por jumbo 17 inoperativo por manguera #12*0.8m de 01:45pm a 03:40pm.

Rehabilitación

- Labor queda en proceso de perforación en un 60%, labor sin aire para realizar el lanzado de shotcrete de 08:00am a 11:20am, labor sin agua de 04:20pm a fin de guardia.

Al finalizar la semana 23, se lleva a cabo la elaboración del plan semanal para la semana siguiente, garantizando la continuidad operativa y permitiendo una planificación estratégica basada en el análisis del desempeño y las oportunidades de mejora identificadas.

Tabla 7

Plan semanal Lookahead – semana 24

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa	9-jun.	10-jun.	11-jun.	12-jun.	13-jun.	14-jun.	15-jun.	RESTRICCIONES / OBSERVACIONES
.	Excavaciones												
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	315.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	- 4 SCOOP'S OPERATIVOS. - EN ZONA ALTA SE PROGRAMA 02 DISPAROS Y 03 DISPAROS INTERDIARIO.
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	16.40	4.1	0.0	4.1	0.0	4.1	0.0	4.1	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	77.00	11	11	11	11	11	11	11	
	Cable Bolting					800.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	
1	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2312	m.	1,400.00	200	200	200	200	200	200	200	- 1 EQUIPO OPERATIVO
2	Cable Bolting Convencional	CBCO	2223	m.	5,400.00	600	800	800	800	800	800	800	- 1.5 EQUIPOS OPERATIVOS
	Sostenimiento					349.00	349.00	349.00	349.00	349.00	349.00	349.00	
1	Instalación de Pernos	PMME	2322	Und.	2443.00	349	349	349	349	349	349	349	
	Sostenimiento Enmalladores					223.00	223.00	223.00	223.00	223.00	223.00	223.00	
1	Instalación de Pernos	PMME	2322	Und.	1561.0	223	223	223	223	223	223	223	

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Entregables semana 24

Tabla 8

Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 24

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa semana anterior	Ejecutado semana actual	9-jun.	10-jun.	11-jun.	12-jun.	13-jun.	14-jun.	15-jun.	% PPC	Cumplimiento (SI/NO)	Causas de No Cumplimiento (CNC)
	Excavaciones				408.80	426.70	41.30	43.50	41.90	42.00	45.60	43.10	49.20	104%	SI	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	315.40	236.20	32.90	39.50	31.30	38.10	28.60	26.40	39.40	75%	NO	FALTA DE AIRE FALTA SHOTCRETE SCOOP INOPERATIVO EMPERNADOR INOPERATIVO JUMBO INOPERATIVO
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	16.40	74.50	8.40	4.00	10.60	3.90	17.00	16.70	13.90	454%	SI	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	77.00	116.00	20.00	20.00	16.00	16.00	12.00	12.00	20.00	151%	SI	
	Cable Bolting				6,800.00	4,650.00	783.00	780.00	629.00	420.00	673.00	880.00	485.00	68%		
1	Cable Bolting Convencional	CBCO	2312	m.	5,400.00	4,020.00	783.00	780.00	440.00	339.00	538.00	655.00	485.00	74%	NO	EQUIPO DE TALADROS LARGOS INOPERATIVO FALTA DE PERSONAL
2	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2223	m.	1,400.00	630.00	0.00	0.00	189.00	81.00	135.00	225.00	0.00	45%	NO	
	Sostenimiento Avances				2,443.00	2,492.00	355.50	280.80	265.50	353.70	301.50	535.00	400.00	1.02		
1	Instalación de Pernos	PMME	2322	Und.	2,443.00	2,492.00	355.50	280.80	265.50	353.70	301.50	535.00	400.00	102%	SI	
	Sostenimiento Enmalladores				1,563.10	2,160.30	270.00	394.70	309.20	340.00	302.40	321.00	223.00	1.38		
1	Instalación de Pernos	PMME	2322	Und.	1,563.10	2,160.30	270.00	394.70	309.20	340.00	302.40	321.00	223.00	138%	SI	

Fuente: Elaboración propia

Descripción de las causas de no cumplimiento

Excavación in-situ

- 11/06: Labor queda en proceso de carguío por falta de aire, se prioriza el carguío del Nv 1770 T-725.
- 12/06: No se tiene aire para el lanzado, aire direccionado para el carguío del tajo 101.
- 12/06: Se tuvo problemas con agua desde la media gdia a 4:12am, generando demoras para la perforación del frente, no se tuvo aire para el carguío.
- 13/06: Se tuvo problemas con la llegada de equipos de unicon, mixkret llegó a la labor 2:15pm y alpha 3:15pm, se termina el lanzado 3:50pm.
- 14/06: Demoras en el sostenimiento con malla falta raspado, scoop queda inoperativo.
- 09/06: Frente queda en proceso de sostenimiento. Bolter 13 queda inoperativo por unidad de giro, Bolter 14 tambien inoperativo y no se tiene Bolter operativo para zona alta.
- 11/06: Labor queda en proceso de perforación, jumbo 13 ingresa a mantenimiento de 12:00pm a fin de guardia.

Cable Bolting Convencional

- Rendimiento de los Equipos Taladros Largos.
- No se cuenta con un ayudante de equipo de Taladros Largos.

Al concluir la semana 24, se procede a la elaboración del plan semanal para la siguiente semana, asegurando la continuidad de las operaciones y facilitando una planificación estratégica fundamentada en el análisis del rendimiento y las oportunidades de optimización detectadas.

Tabla 9

Plan semanal Lookahead – semana 25

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa	16-jun.	17-jun.	18-jun.	19-jun.	20-jun.	21-jun.	22-jun.	RESTRICCIONES / OBSERVACIONES
	Excavaciones				360.80	53.30	49.20	53.30	49.20	53.30	49.20	53.30	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	332.10	49.2	45.1	49.2	45.1	49.2	45.1	49.2	- 4 SCOOP'S OPERATIVOS. - EN ZONA ALTA SE PROGRAMA 02 DISPAROS Y 03 DISPAROS INTERDIARIO.
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	28.70	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	105.00	15	15	15	15	15	15	15	
	Cable Bolting					700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	
1	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2312	m.	1,050.00	150	150	150	150	150	150	150	- 1 EQUIPO OPERATIVO
2	Cable Bolting Convencional	CBCO	2223	m.	3,850.00	550	550	550	550	550	550	550	- 1.5 EQUIPOS OPERATIVOS

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Entregables semana 25

Tabla 10

Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 25

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa semana anterior	Ejecutado semana actual	16-jun.	17-jun.	18-jun.	19-jun.	20-jun.	21-jun.	22-jun.	% PPC	Cumplimiento (SI/NO)	Causas de No Cumplimiento (CNC)
	Excavaciones				465.80	430.40	40.20	39.10	26.60	44.70	44.50	42.00	49.20	92%	NO	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	332.10	219.60	27.70	24.80	22.40	27.20	44.50	33.60	39.40	66%	NO	MALA COORDINACION BAJA PRESION / FALTA DE AGUA SCOOP INOPERATIVO ANFOLOADER INOPERATIVO
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	28.70	70.80	12.50	14.30	4.20	17.50	0.00	8.40	13.90	247%	SI	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	105.00	140.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	133%	SI	
	Cable Bolting				4,900.00	4,101.00	686.00	495.00	711.00	320.00	954.00	450.00	485.00	84%		
1	Cable Bolting Convencional	CBCO	2312	m.	3,850.00	3,570.00	596.00	360.00	540.00	185.00	954.00	450.00	485.00	93%	NO	BAJA PRESION / FALTA DE AGUA BAJA PRESION / FALTA DE AGUA SIMULTANEIDAD
2	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2223	m.	1,050.00	531.00	90.00	135.00	171.00	135.00	0.00	0.00	0.00	51%	NO	EQUIPO DE TALADROS LARGOS INOPERATIVO FALTA HABILITAR AREA DEMORAS EN EL TRASLADO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Plan semanal Lookahead – semana 26

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa	23-jun.	24-jun.	25-jun.	26-jun.	27-jun.	28-jun.	29-jun.	RESTRICCIONES / OBSERVACIONES
	Excavaciones Zona Baja				311.60	41.00	41.00	41.00	45.10	45.10	49.20	49.20	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	266.50	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	41.0	41.0	
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	45.10	4.1	4.1	4.1	8.2	8.2	8.2	8.2	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	105.00	15	15	15	15	15	15	15	
	Excavaciones Zona Alta				98.40	12.30	16.40	16.40	16.40	12.30	12.30	12.30	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	82.00	8.2	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	16.40	4.1	4.1	4.1	4.1	0.0	0.0	0.0	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	56.00	8	8	8	8	8	8	8	
	Cable Bolting					700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	
1	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2312	m.	1,050.00	150	150	150	150	150	150	150	
2	Cable Bolting Convencional	CBCO	2223	m.	3,850.00	550	550	550	550	550	550	550	

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Entregables semana 26

Tabla 12

Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 26

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa semana anterior	Ejecutado semana actual	23-jun.	24-jun.	25-jun.	26-jun.	27-jun.	28-jun.	29-jun.	% PPC	Cumplimiento (SI/NO)	Causas de No Cumplimiento (CNC)
	Excavaciones Zona Baja				416.60	301.70	36.90	40.40	24.80	38.70	26.90	40.00	35.90	72%	NO	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	266.50	217.90	28.90	30.60	24.80	38.70	26.90	36.00	32.00	82%	NO	JUMBO INOPERATIVO FALTA DE VOLQUETES SCOOP INOPERATIVO
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	45.10	29.80	8.00	9.80				4.00	8.00	66%	NO	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	105.00	54.00	7.00	8.00	10.00	4.00	8.00	8.00	9.00	51%	NO	DESATADOR INOPERATIVO FALTA DE VOLQUETES
	Excavaciones Zona Alta				154.40	124.50	11.50	16.60	11.60	12.80	8.00	16.00	15.90	81%	NO	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	82.00	66.00	11.50	16.60	8.10	5.80	8.00	8.00	8.00	80%	NO	
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	16.40	30.50			3.50	7.00		8.00	12.00	186%	SI	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	56.00	28.00	4.00	4.00	0.00	4.00	4.00	8.00	4.00	50%	NO	FALTA DE PERSONAL FALTA DE VOLQUETES
	Cable Bolting				4,900.00	3,468.00	570.00	810.00	180.00	420.00	396.00	642.00	450.00	71%	NO	
1	Cable Bolting Convencional	CBCO	2312	m.	1,050.00	3,153.00	390.00	675.00	180.00	420.00	396.00	642.00	450.00	300%	SI	FALTA HABILITAR AREA EQUIPO DE TALADROS LARGOS INOPERATIVO
2	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2223	m.	3,850.00	315.00	180.00	135.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8%	NO	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Plan semanal Lookahead – semana 27

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa	30-jun.	01-jul.	02-jul.	03-jul.	04-jul.	05-jul.	06-jul.	RESTRICCIONES / OBSERVACIONES
	Excavaciones Zona Baja				299.30	41.00	41.00	41.00	41.00	45.10	45.10	45.10	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	270.60	36.9	36.9	36.9	36.9	41.0	41.0	41.0	
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	28.70	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	105.00	15	15	15	15	15	15	15	
	Excavaciones Zona Alta				124.70	16.10	16.10	16.10	16.10	20.10	20.10	20.10	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	96.00	12.0	12.0	12.0	12.0	16.0	16.0	16.0	
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	28.70	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	28.00	4	4	4	4	4	4	4	
	Cable Bolting					700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	
1	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2312	m.	1,050.00	150	150	150	150	150	150	150	
2	Cable Bolting Convencional	CBCO	2223	m.	3,850.00	550	550	550	550	550	550	550	

Fuente: Elaboración propia

3.3.6 Entregables semana 27

Tabla 14

Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 27

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa semana anterior	Ejecutado semana actual	30-jun.	01-jul.	02-jul.	03-jul.	04-jul.	05-jul.	06-jul.	% PPC	Cumplimiento (SI/NO)	Causas de No Cumplimiento (CNC)
	Excavaciones Zona Baja				404.30	423.10	42.90	29.60	27.40	31.00	34.00	41.30	32.80	105%	SI	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	270.60	181.20	29.40	21.40	23.90	31.00	16.80	34.10	24.60	67%	NO	BAJA PRESION / FALTA DE AGUA FALTA VENTILACION CAMBIO RECOMENDACIÓN GEOMECANICA
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	28.70	61.90	13.50	8.20	3.50	0.00	17.20	7.20	12.30	216%	SI	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	105.00	180.00	26	26	26	26	26	26	26	171%	SI	
	Excavaciones Zona Alta				152.70	166.60	20.20	16.00	7.70	8.20	12.20	20.00	8.20	109%	SI	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	96.00	53.90	4.00	9.00	4.20	4.00	4.50	20.00	8.20	56%	NO	BAJA PRESION / FALTA DE AGUA CONDICION GEOMECANICA COMUNICACIÓN DEFICIENTE
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	28.70	42.70	16.20	7.00	3.50	4.20	7.70	0.00	4.10	149%	SI	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	28.00	70.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	250%	SI	
	Cable Bolting				4,900.00	3,897.00	585.00	613.00	504.00	490.00	240.00	840.00	625.00	80%		
1	Cable Bolting Convencional	CBCO	2312	m.	1,050.00	3,897.00	585.00	613.00	504.00	490.00	240.00	840.00	625.00	80%	NO	BAJA PRESION / FALTA DE AGUA SIMULTANEIDAD EQUIPO DE TALADROS LARGOS INOPERATIVO
2	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2223	m.	3,850.00	0.00								0%	NO	FALTA HABILITAR AREA

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Plan semanal Lookahead – semana 28

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa	07-jul.	08-jul.	09-jul.	10-jul.	11-jul.	12-jul.	13-jul.	RESTRICCIONES / OBSERVACIONES
	Excavaciones Zona Baja				315.70	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	287.00	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	28.70	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	140.00	20	20	20	20	20	20	20	
	Excavaciones Zona Alta				172.20	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	172.20	24.6	24.6	24.6	24.6	24.6	24.6	24.6	- FALTA DE PERSONAL - FALTA DE EQUIPOS, JUMBO
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	70.00	10	10	10	10	10	10	10	
	Cable Bolting				4,900.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	
1	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2312	m.	1,050.00	150	150	150	150	150	150	150	
2	Cable Bolting Convencional	CBCO	2223	m.	3,850.00	550	550	550	550	550	550	550	
	Sostenimiento					-	-	-	-	-	-	-	
1	Instalación de Pernos	PMME	2322	Und.	-								

Fuente: Elaboración propia

3.3.7 Entregables semana 28

Tabla 16

Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 28

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa semana anterior	Ejecutado semana actual	07-jul.	08-jul.	09-jul.	10-jul.	11-jul.	12-jul.	13-jul.	% PPC	Cumplimiento (SI/NO)	Causas de No Cumplimiento (CNC)
	Excavaciones Zona Baja				455.70	341.70	47.70	33.70	36.60	34.70	35.30	32.80	38.80	75%	NO	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	287.00	195.90	24.00	23.00	28.40	17.50	27.30	32.80	42.90	68%	NO	EMPERNADOR INOPERATIVO EMPERNADOR INOPERATIVO TAJO EN RELLENO
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	28.70	67.80	23.70	10.70	8.20	17.20	8.00	0.00	0.00	236%	SI	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	140.00	78.00	12	11	11	10	10	12	12	56%	NO	
	Excavaciones Zona Alta				213.50	157.30	21.90	17.50	12.50	12.30	10.30	12.30	16.40	74%	NO	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	143.50	95.00	21.90	17.50	12.50	12.30	10.30	12.30	8.20	66%	NO	FALTA DE PERSONAL EMPERNADOR INOPERATIVO
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	0.00	12.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.30	100%	SI	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	70.00	50.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	7.00	7.00	71%	NO	
	Cable Bolting				4,900.00	3,143.00	495.00	885.00	319.00	441.00	198.00	405.00	400.00	64%	NO	
1	Cable Bolting Convencional	CBCO	2312	m.	1,050.00	2,759.00	495.00	645.00	265.00	441.00	108.00	405.00	400.00	56%	NO	FALTA HABILITAR AREA EQUIPO DE TALADROS LARGOS INOPERATIVO
2	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2223	m.	3,850.00	384.00	0.00	240.00	54.00	0.00	90.00	0.00	0.00	10%	NO	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

Plan semanal Lookahead – semana 29

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa	14-jul.	15-jul.	16-jul.	17-jul.	18-jul.	19-jul.	20-jul.	RESTRICCIONES / OBSERVACIONES
Excavaciones Zona Baja					315.70	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	287.00	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	28.70	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	140.00	20	20	20	20	20	20	20	
Excavaciones Zona Alta					159.90	24.60	20.50	24.60	20.50	24.60	20.50	24.60	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	159.90	24.6	20.5	24.6	20.5	24.6	20.5	24.6	- FALTA DE PERSONAL - FALTA DE EQUIPOS, JUMBO
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	70.00	10	10	10	10	10	10	10	
Cable Bolting					4,900.00	857.75	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	
1	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2312	m.	1,050.00	150	150	150	150	150	150	150	
2	Cable Bolting Convencional	CBCO	2223	m.	3,850.00	550	550	550	550	550	550	550	

Fuente: Elaboración propia

3.3.8 Entregables semana 29

Tabla 18

Porcentaje de planificación cumplida y causas de no cumplimiento – semana 29

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa semana anterior	Ejecutado semana actual	14-jul.	15-jul.	16-jul.	17-jul.	18-jul.	19-jul.	20-jul.	% PPC	Cumplimiento (SI/NO)	Causas de No Cumplimiento (CNC)
	Excavaciones Zona Baja				315.70	135.20	16.20	14.50	0.00	11.40	13.30	37.80	37.90	43%	NO	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	287.00	109.40	11.20	14.50	0.00	11.40	9.30	29.40	33.60	38%	NO	CAIDA DE TENSION / FALTA DE ENERGIA PARADA DE SEGURIDAD FALTA DE PERSONAL
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	28.70	25.80	5.00	0.00	0.00	0.00	4.00	8.40	8.40	90%	NO	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	140.00	69.00	10	10	5	10	10	12	12	49%	NO	CAIDA DE TENSION / FALTA DE ENERGIA PARADA DE SEGURIDAD FALTA DE PERSONAL
	Excavaciones Zona Alta				285.90	126.60	16.20	14.50	0.00	11.40	13.30	8.40	12.70	44%	NO	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	159.90	75.60	11.20	14.50		11.40	13.30	8.40	16.80	47%	NO	FALTA DE PERSONAL PARADA DE SEGURIDAD CAIDA DE TENSION / FALTA DE ENERGIA
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	56.00	5.00	5.00							9%	NO	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	70.00	46.00	7.00	7.00	5.00	5.00	8.00	7.00	7.00	66%	NO	
	Cable Bolting				4,900.00	2,331.00	451.00	0.00	435.00	185.00	255.00	495.00	510.00	48%		
1	Cable Bolting Convencional	CBCO	2312	m.	1,050.00	1,746.00	216.00	0.00	375.00	135.00	120.00	495.00	405.00	36%	NO	FALTA HABILITAR AREA EQUIPO DE TALADROS LARGOS INOPERATIVO EXTRACCION DE TAJO
2	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2223	m.	3,850.00	585.00	235.00	0.00	60.00	50.00	135.00	0.00	105.00	15%	NO	FALTA REHABILITACION CAIDA DE TENSION / FALTA DE ENERGIA FALTA TABLERO ELÉCTRICO

Fuente: Elaboración propia

Descripción de las causas de no cumplimiento

Excavación In Situ – Zona Baja

- Falta de energía por seccionamiento de cable / Parada de seguridad (Operador de Bolter) / Falta de personal.

Rehabilitación – Zona Baja

- Falta de energía por seccionamiento de cable / Parada de seguridad / Falta de personal.

Excavación In Situ – Zona Alta

- Falta de Personal (Servicios).
- Segundo equipo Empernador sin operador en una guardia.

Cable Bolting Convencional

- Falta habilitar área para los 3 equipos taladros largos (limpieza, rehabilitación, falta instalación de tablero eléctrico).
- Raptor 04 en mantenimiento programado 17/08 y Cabolt 01 inoperativo de inicio a media gda el 16/08 turno noche.

Cable Bolting Mecanizado

- Falta de energía 13/08 turno día y noche hasta media guardia.

Tabla 19

Plan semanal Lookahead – semana 30

Ítem	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa	21-jul.	22-jul.	23-jul.	24-jul.	25-jul.	26-jul.	27-jul.	RESTRICCIONES / OBSERVACIONES
	Excavaciones Zona Baja				315.70	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	287.00	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	FALTA DE PERSONAL
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	28.70	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	140.00	20	20	20	20	20	20	20	
	Excavaciones Zona Alta				159.50	24.50	20.40	24.50	20.40	24.60	20.50	24.60	
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	143.50	20.5	16.4	20.5	16.4	24.6	20.5	24.6	FALTA DE PERSONAL
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	16.00	4.0	4.0	4.0	4.0	0.0	0.0	0.0	
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	70.00	10	10	10	10	10	10	10	
	Cable Bolting				4,900.00	857.75	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	
1	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2312	m.	1,050.00	150	150	150	150	150	150	150	FALTA HABILITAR ÁREA
2	Cable Bolting Convencional	CBCO	2223	m.	3,850.00	550	550	550	550	550	550	550	FALTA HABILITAR ÁREA

Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Análisis de resultados

La Tabla siguiente presenta el indicador de disparos por día a lo largo del año 2024, reflejando la evolución en la cantidad de disparos realizados antes, durante y después de la implementación del LPS. Este análisis permite evaluar el impacto del sistema en la productividad y eficiencia operativa, proporcionando una visión clara de su efectividad y su influencia en la optimización de los proyectos de desarrollo y preparación de la mina.

Tabla 20

Resultados de disparos por semana durante el año 2024

SEMANA	DISPAROS POR DIA		TOTAL	OBSERVACIONES
	EMIS	EMRE		
W01	73	11	84	SIN UTILIZAR METODOLOGIA LPS
W02	83	5	88	
W03	72	22	94	
W04	76	19	95	
W05	75	17	92	
W06	82	8	90	
W07	76	18	94	
W08	73	18	91	
W09	85	9	94	
W10	70	14	84	
W11	65	24	89	
W12	64	22	86	
W13	82	10	92	
W14	65	21	86	
W15	65	24	89	
W16	46	23	69	
W17	74	11	85	
W18	76	7	83	
W19	78	11	89	
W20	71	6	77	
W21	91		91	

SEMANA	DISPAROS POR DIA		TOTAL	OBSERVACIONES
	EMIS	EMRE		
W22	86	5	91	PERIODO DE PRUEBA DE METODOLOGIA LPS
W23	84	5	89	
W24	75	20	95	
W25	77	21	98	
W26	81	22	103	
W27	101	14	115	
W28	109	4	113	
W29	100	15	115	
W30	111	24	135	UTILIZANDO METODOLOGIA LPS
W31	92	32	124	
W32	110	23	133	
W33	106	132	238	
W34	110	16	126	
W35	116	16	132	
W36	96	30	126	
W37	101	34	135	
W38	100	35	135	
W39	82	56	138	
W40	92	40	132	
W41	118	13	131	
W42	124	10	134	
W43	109	20	129	
W44	127	15	142	
W45	122	12	134	
W46	106	20	126	
W47	117	14	131	
W48	110	27	137	
W49	120	26	146	
W50	124	21	145	
W51	98	34	132	
W52	108	27	135	

Fuente: Elaboración propia

A partir de la semana 31, se incorporan en los indicadores de seguimiento la eficiencia por disparo y los metros de avance por día, con el objetivo de evaluar de manera más integral el desempeño operativo. Estos valores, presentados en las siguientes tablas, permitirán analizar el impacto del LPS en la optimización de los procesos y en la mejora de la productividad, facilitando la toma de decisiones basada en datos precisos.

Tabla 21

Resultados de eficiencia por disparo durante el año 2024 (W31)

SEMANA	EFICIENCIA POR DISPARO
W31	1.41
W32	2.7
W33	2.34
W34	2.55
W35	3.08
W36	3.24
W37	3.43
W38	3.17
W39	3.43
W40	2.46
W41	2.85
W42	2.83
W43	2.83
W44	2.94
W45	2.49
W46	2.91
W47	3.05
W48	3.27
W49	3.1
W50	3.11
W51	3.32
W52	3.08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22

Resultados de metros de avance por semana durante el año 2024 (W31)

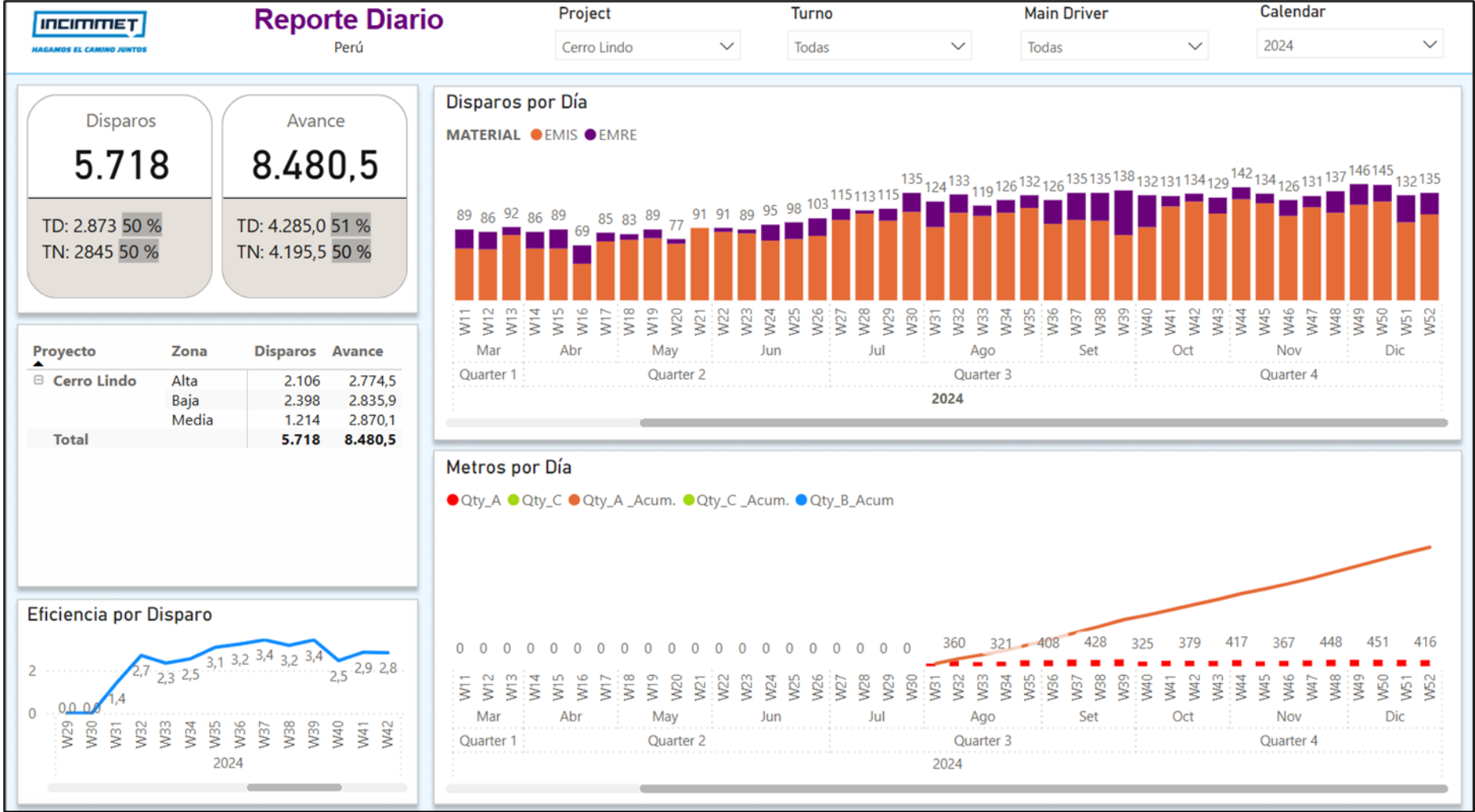
SEMANA	AVANCE SEMANAL
W31	175.2
W32	359.6
W33	278.7
W34	321.2
W35	407.2
W36	407.8
W37	463.6
W38	428.4
W39	473.3
W40	325.0
W41	373.9
W42	379.4
W43	364.9
W44	417.3
W45	333.8
W46	366.6
W47	399.3
W48	448.1
W49	452.0
W50	450.8
W51	438.0
W52	416.4

Fuente: Elaboración propia

Para visualizar de manera clara y detallada las mejoras obtenidas, utilizamos el programa Power BI, el cual permite generar gráficos dinámicos e interactivos. Esta herramienta facilita el análisis de datos, proporcionando una representación visual efectiva de los indicadores clave y permitiendo identificar tendencias, patrones y oportunidades de optimización en el desempeño operativo.

Figura 2

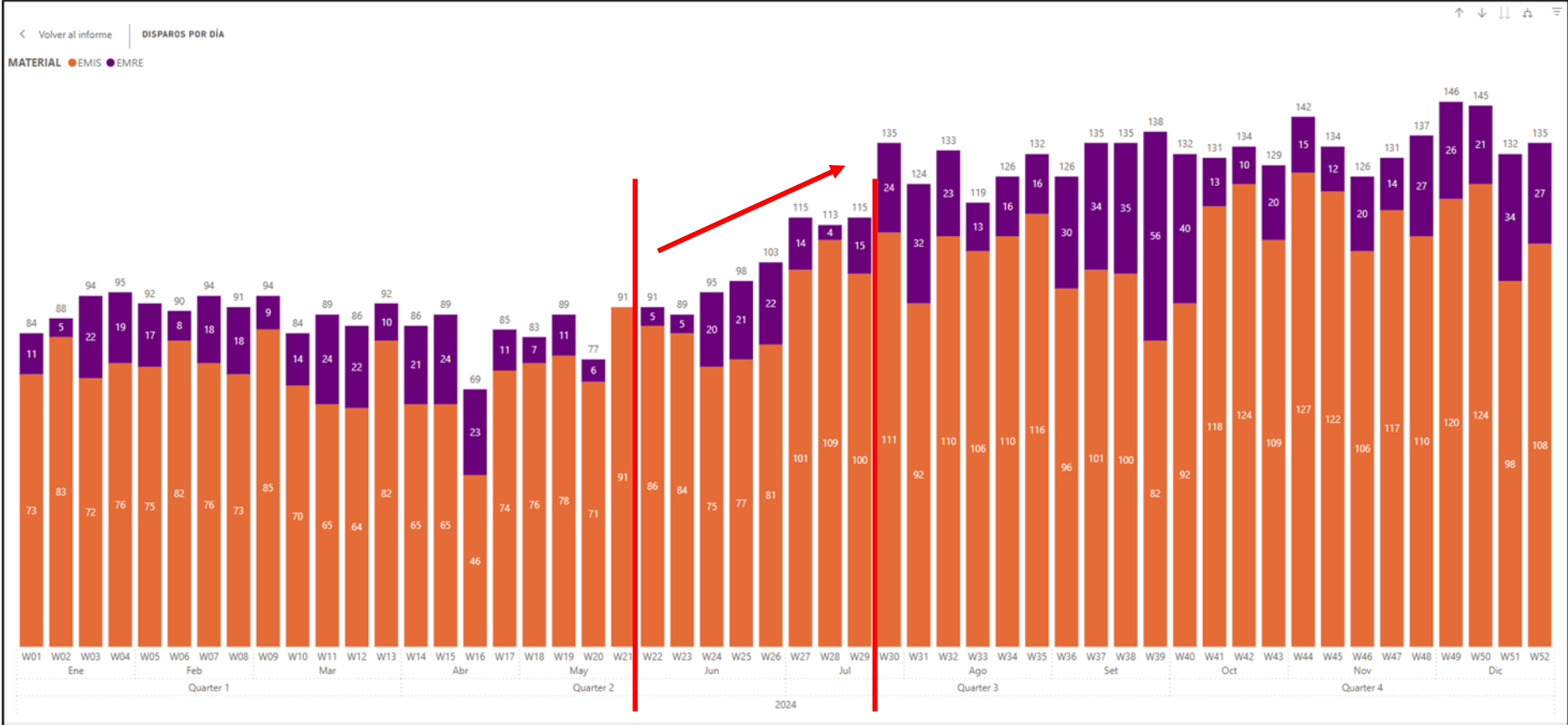
Interfaz de reporte diario – Power BI



Fuente: Elaboración propia

Figura 3

Detalle de cantidad de disparos por semana – Power BI

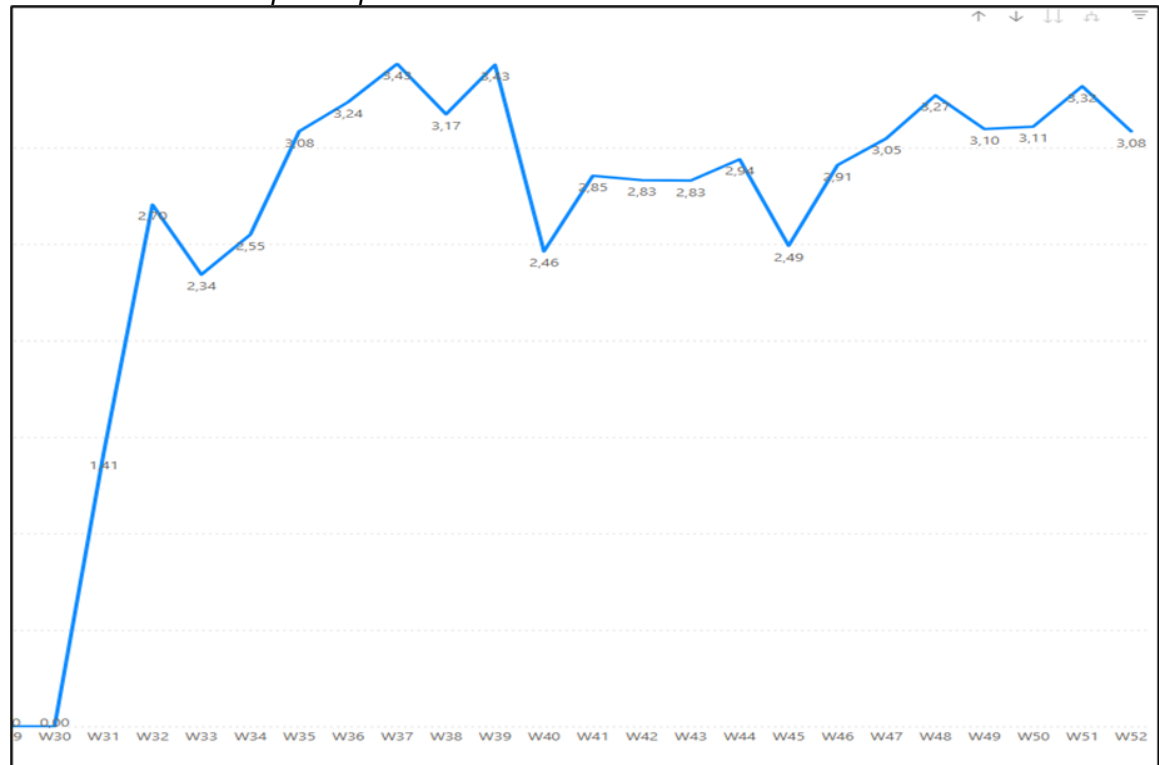


Fuente: Elaboración propia

Durante el período de implementación del LPS, que abarcó siete semanas, se observó una mejora significativa en la cantidad de disparos por día. Este incremento refleja una mayor eficiencia en la planificación y ejecución de los trabajos.

Figura 4

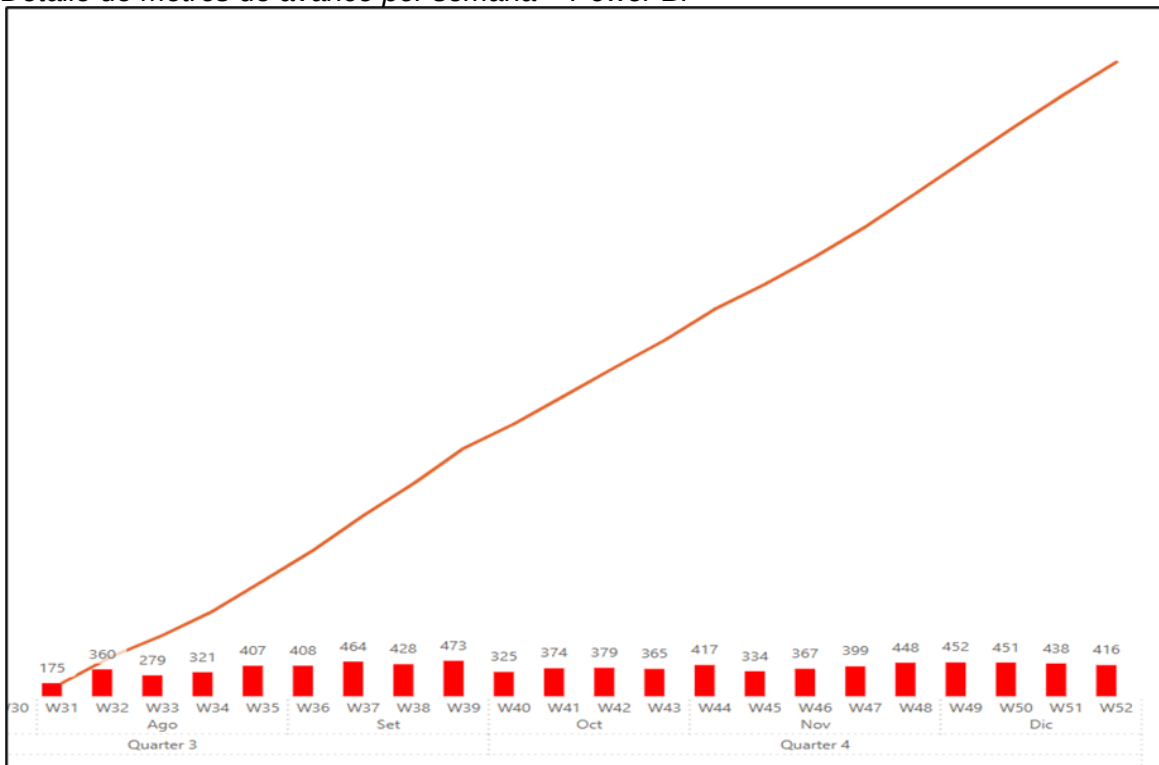
Detalle de eficiencia por disparo – Power BI



Fuente: Elaboración propia

Figura 5

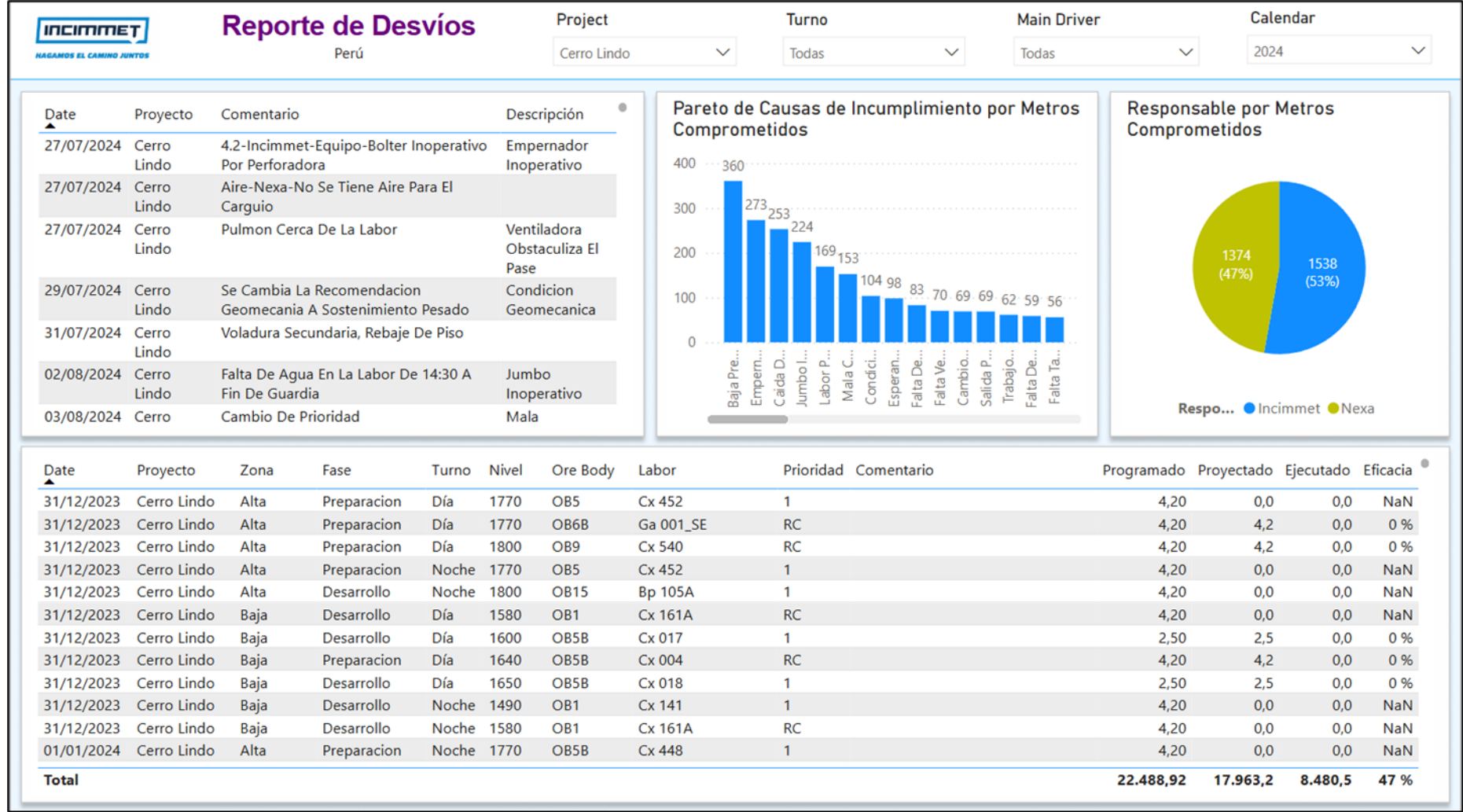
Detalle de metros de avance por semana – Power BI



Fuente: Elaboración propia

Figura 6

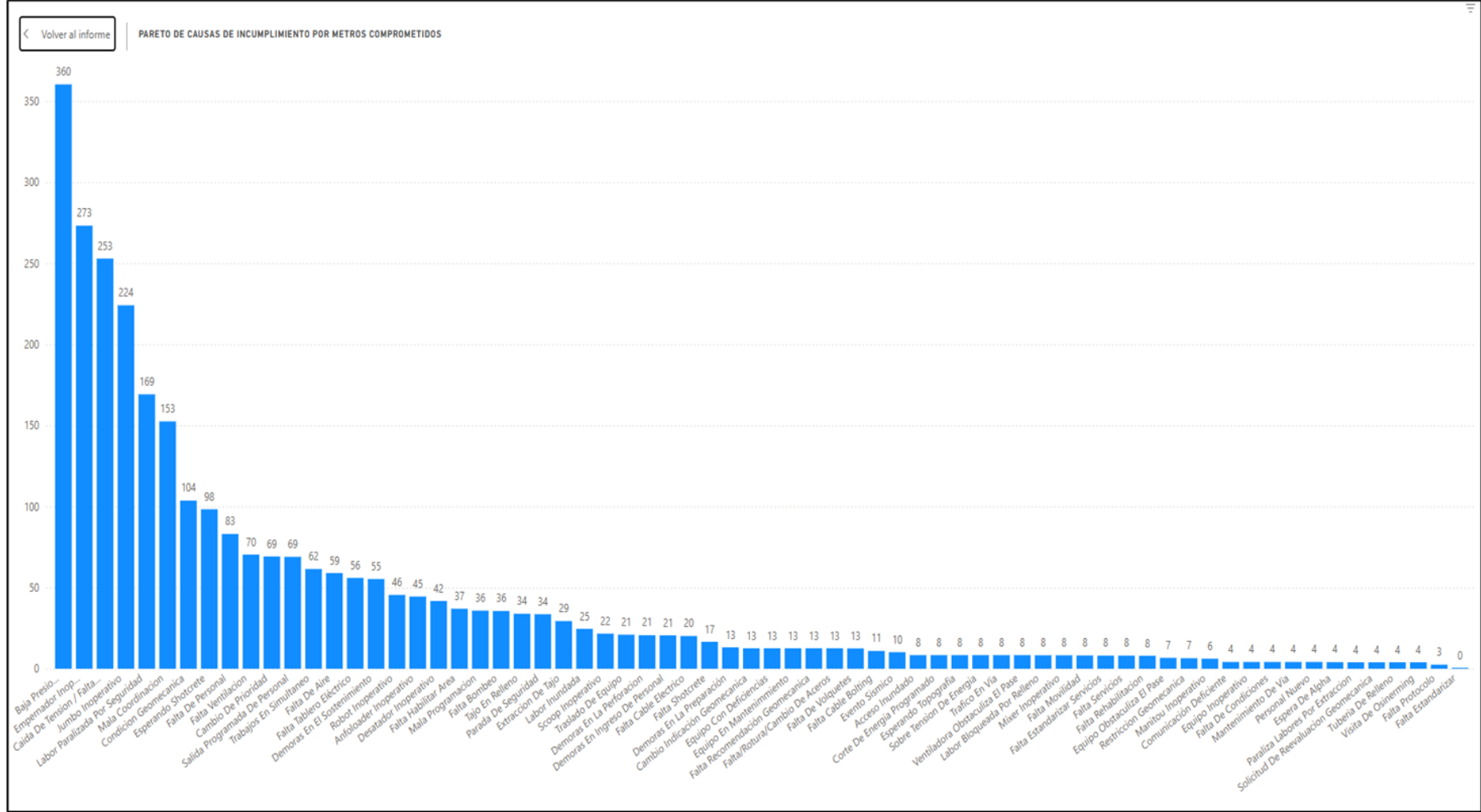
Interfaz de reporte de desvíos – Power BI



Fuente: Elaboración propia

Figura 7

Pareto de causas de no cumplimiento – Power BI



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5 se presenta la recopilación de Causas de No Cumplimiento (CNC), acompañada del diagrama de Pareto correspondiente. Este análisis permite identificar y priorizar las principales causas que afectan el desempeño operativo, facilitando el seguimiento y la implementación de acciones correctivas para mejorar la eficiencia y minimizar impactos negativos en la operación.

La Figura 6 muestra en detalle el diagrama de Pareto de las Causas de No Cumplimiento (CNC), permitiendo visualizar y priorizar los factores que generan mayor impacto

En este caso, las principales causas de no cumplimiento identificadas en el diagrama de Pareto son:

- Baja presión o ausencia de agua, lo que afecta el proceso de inyectado y otras operaciones críticas.
- Caída de tensión o falta de energía, impactando directamente la continuidad de las actividades mineras.
- Inoperatividad de equipos clave, como el Empernador o el jumbo, lo que retrasa la ejecución de labores programadas.

4.2 Validación de hipótesis

Para la validación de hipótesis, se evaluará el indicador de cantidad de disparos y rendimiento de disparos, comparando los datos de mina antes de implementar el LPS y después de. Se usará el software Minitab para la evaluación. En la Tabla 20 y 21, mostrada anteriormente, se aprecian los datos a analizar.

Empezamos planteando la hipótesis nula y alternativa para cada variable a analizar, con un grado de significancia de 5%.

4.2.1 Variable – cumplimiento de plazos

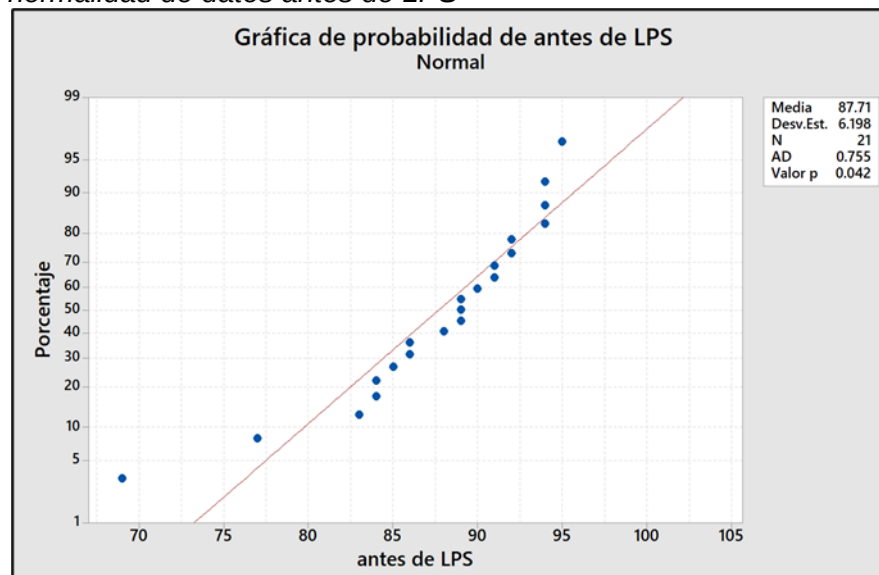
- Hipótesis Nula (H0) La implementación del sistema Last Planner no permitirá, en el futuro, un mayor cumplimiento de los plazos establecidos en proyectos de avances en minería.

- Hipótesis Alternativa (HA): La implementación del sistema Last Planner permitirá, en el futuro, un mayor cumplimiento de los plazos establecidos en proyectos de avances en minería.

Se realiza la prueba de normalidad en ambos grupos de datos, si es que el valor de p es menor a 0.05, se concluye que los datos son normales y podemos continuar con la prueba de hipótesis.

Figura 8

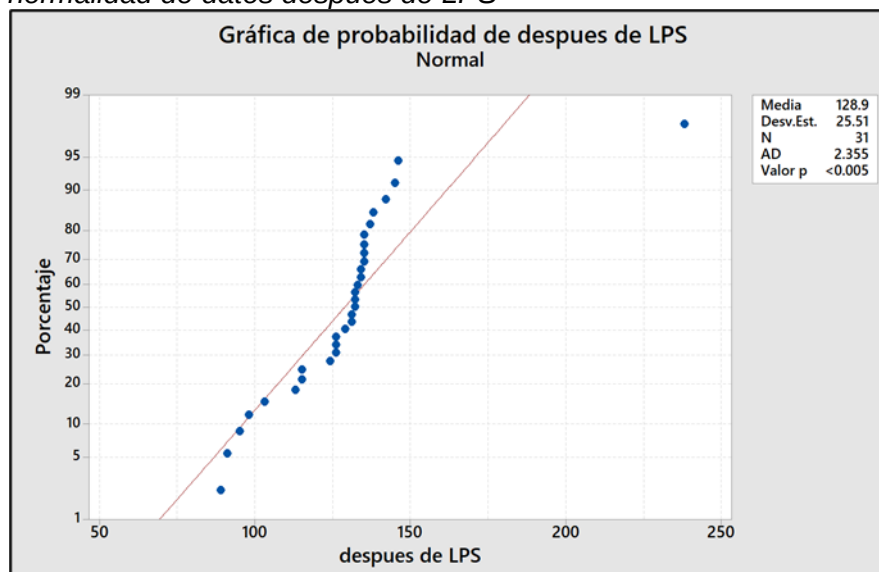
Prueba de normalidad de datos antes de LPS



Fuente: Elaboración propia con software Minitab

Figura 9

Prueba de normalidad de datos después de LPS



Fuente: Elaboración propia con software Minitab

Dado que en ambos casos el valor p es menor a 0.05, se concluye que ambas muestras siguen una distribución normal, lo que valida la aplicabilidad de pruebas estadísticas paramétricas. Con esta premisa, se procede a realizar el análisis de varianza (ANOVA) con el objetivo de comparar las medias de los grupos y determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. A través de este análisis, se obtendrá un nuevo valor p, el cual permitirá evaluar la existencia de variabilidad significativa en los datos y sustentar las conclusiones del estudio.

Figura 10

Análisis ANOVA de un solo factor

ANALISIS ANOVA de un solo factor:

ANOVA de un solo factor: antes de LPS; despues de LPS

Método

Hipótesis nula

Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna

No todas las medias son iguales

Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	2	antes de LPS; despues de LPS

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	21206	21206.0	52.26	0.000
Error	50	20290	405.8		
Total	51	41496			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
20.1444	51.10%	50.13%	47.73%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
antes de LPS	21	87.71	6.20	(78.88; 96.54)
despues de LPS	31	128.87	25.51	(121.60; 136.14)

Desv.Est. agrupada = 20.1444

Fuente: Elaboración propia con software Minitab

Dado que el valor-p calculado es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo que indica que la implementación del sistema Last Planner tiene un impacto significativo en el cumplimiento de los plazos establecidos. Por lo tanto, su aplicación en proyectos de avances en minería contribuirá a mejorar la planificación y ejecución de las actividades, optimizando los tiempos y reduciendo las desviaciones en el cronograma.

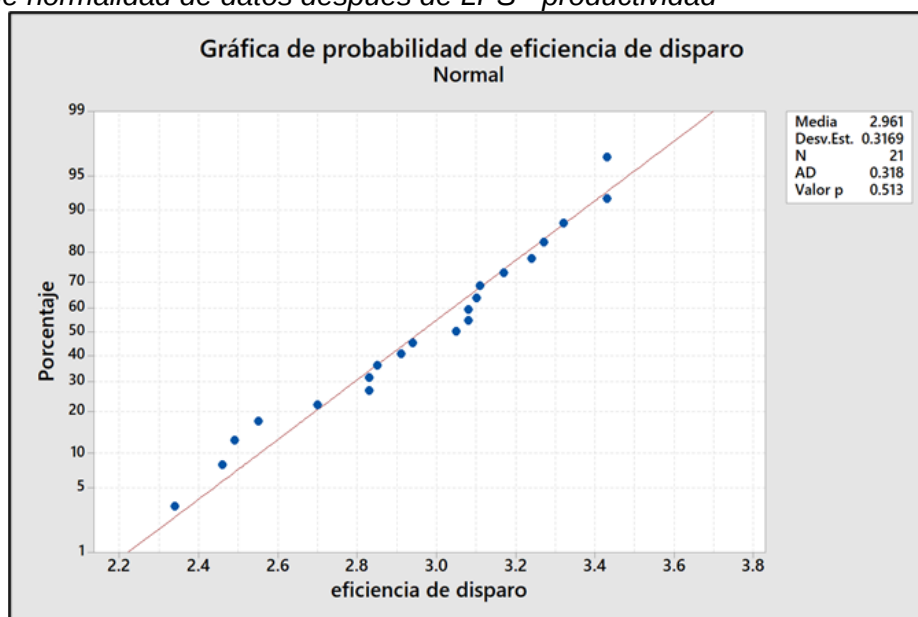
4.2.2 Variable – productividad

- Hipótesis Nula (H_0) En el futuro, la aplicación del sistema Last Planner no contribuirá a aumentar la productividad en las actividades de avances, reduciendo la variabilidad y optimizando los recursos disponibles.
- Hipótesis Alternativa (H_A): En el futuro, la aplicación del sistema Last Planner contribuirá a aumentar la productividad en las actividades de avances, reduciendo la variabilidad y optimizando los recursos disponibles.

Se realiza la prueba de normalidad en ambos grupos de datos, si es que el valor de p es menor a 0.05, se concluye que los datos son normales y podemos continuar con la prueba de hipótesis.

Figura 11

Prueba de normalidad de datos después de LPS - productividad



Fuente: Elaboración propia con software Minitab

Dado que el valor p es menor a 0.05, se concluye que la muestra sigue una distribución normal, lo que valida la aplicabilidad de pruebas estadísticas paramétricas. Con esta premisa, se procede a realizar el análisis Z comparando con el promedio antes de LPS.

Figura 12

Análisis Z de una muestra



Fuente: Elaboración propia con software Minitab

Dado que el valor-p calculado es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo que indica que la implementación del sistema Last Planner tiene un impacto significativo en el cumplimiento de los plazos establecidos. Por lo tanto, la aplicación del sistema Last Planner contribuirá a aumentar la productividad en las actividades de avances, reduciendo la variabilidad y optimizando los recursos disponibles.

Conclusiones

El realizar el desglose del plan mensual a un plan semanal permite realizar el Análisis de Pareto identificando cuáles son las causas principales de no cumplimiento como la operatividad de los equipos y un mal ciclo de las labores, impactando significativamente en los metros de avance y las metas físicas en general.

Mantener un registro detallado de las Causas de No Cumplimiento (CNC) es fundamental para diferenciar aquellas atribuibles al contratista de las que corresponden al cliente. Esta segmentación permite una asignación clara de responsabilidades y facilita la implementación de estrategias específicas para mitigar las incidencias que afectan el cronograma.

La identificación sistemática de las CNC posibilita la generación de planes de acción efectivos, dirigidos a resolver los problemas detectados y minimizar los retrasos en la ejecución de los trabajos. Esto contribuye a fortalecer la confiabilidad del cronograma y mejorar la eficiencia operativa en los proyectos de avances.

La implementación del sistema Last Planner ha demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar la planificación y ejecución de actividades en minería. Su aplicación ha permitido reducir la incertidumbre en la programación de voladuras y otras tareas críticas, logrando una mayor adherencia a los plazos establecidos.

La aplicación del Last Planner no solo mejora la planificación temporal, sino que también optimiza el uso de recursos como equipos, insumos y mano de obra. La reducción de tiempos ociosos y la eliminación de desperdicios operativos se traducen en una mayor eficiencia y rentabilidad del proyecto.

Durante las semanas de implementación del Last Planner, se logró una mejora en la productividad de la cantidad de disparos por día, pasando de 88 a 102, lo que representa un incremento del 16%. En las semanas posteriores, esta tendencia positiva continuó, alcanzando una productividad total de 138 disparos por día, lo que equivale a un incremento adicional del 35%.

Recomendaciones

Es importante tener reuniones con el Cliente para hacer sinergia y levanten las causas que son de su responsabilidad, como la falta de volquetes, deficiente mantenimiento de vías, problemas con el abastecimiento de agua, aire, entre otros.

Los problemas que son responsabilidad del Contratista deben ser comunicados al Cliente de manera oportuna para ver la posibilidad de que se trabaje en conjunto con el objetivo de no afectar la producción.

Es importante dimensionar adecuadamente y tener clara la capacidad de captar personal para no tener incumplimientos con los servicios que se ofrece al Cliente.

La inoperatividad de equipos clave, como el jumbo y el Empernador, ha sido una de las principales CNC identificadas. Se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo más riguroso y garantizar la disponibilidad de equipos de respaldo para reducir tiempos de inactividad.

Para garantizar la sostenibilidad de los avances logrados, se recomienda realizar evaluaciones periódicas del impacto del Last Planner en la operación minera. Esto permitirá ajustar estrategias y reforzar aquellas acciones que han demostrado ser más efectivas en la mejora del cumplimiento del cronograma.

Referencias bibliográficas

- Alarcón, L. F. (1997). *Lean construction*. CRC Press.
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. Ph.D. Dissertation, University of Birmingham.
- Ballard, G. et al. (1998). *Shielding production: Essential step in production control*. Journal of Construction Engineering and Management, 124(1), 11-17.
- Cortez, J (2020) *Planificación integrada de mediano/largo plazo para obras interior mina en proyecto andes norte – nuevo nivel mina – Chile*.
- Fernández, E. (2019). *Aplicación de Last Planner y el PMI en la dirección de proyectos de instalación de tuberías de relave*, empresa minera Los Quenuales.
- Hamzeh, F. et al. (2012). *Is the Last Planner System Applicable to Design? A Case Study*. Lean Construction Journal.
- Howell, G. et al. (2000). *Reforming project management: The role of Lean Construction*. Journal of Construction Research, 6(3), 47-61.
- Howell, G. et al. (2005). *Construction Engineering—Reinvigorating the Discipline*. Journal of Construction Engineering and Management.
- Larsson, J. et al. (2021). *Planning for reliability: The role of Lookahead Planning in project execution*. Project Management Journal, 52(4), 290-300.
- Liu, M. et al. (2020). *Improving Construction Planning and Control: A Lean Approach*. CRC Press.
- Mamani, J. (2022). *Aplicación del sistema Last Planner en la planificación y control de la etapa constructiva del proyecto: urbanización Concentradora Toquepala, Tacna – 2022*.
- Rodríguez, F. (2016) *Implementación de sistema Last Planner en ciclo minero – proyecto nuevo nivel mina*, Codelco Chile
- Sacks, R. et al. (2013). *Building Information Modeling (BIM) for Lean Construction*. Lean Construction Journal.

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Máster Causas de No Cumplimiento.....	1
Anexo 2: Log de Restricciones	2
Anexo 3: Porcentaje de Planificación Cumplida y Causas de No Cumplimiento	3
Anexo 4: Plan Semanal	4
Anexo 5: Dashboard Lookahead Planning	5
Anexo 6: Acta de Reunión	6

Anexo 1: Máster Causas de No Cumplimiento

COD	CATEGORIA	SUB CATEGORIA	DESVIOS	AREA	RESPONSABLE
MQ01	MAQUINARIA	TRACKLESS	DESATADOR INOPERATIVO	MANTENIMIENTO	INCIMMET
MQ02	MAQUINARIA	TRACKLESS	EMPERNADOR INOPERATIVO	MANTENIMIENTO	INCIMMET
MQ03	MAQUINARIA	TRACKLESS	JUMBO INOPERATIVO	MANTENIMIENTO	INCIMMET
MQ04	MAQUINARIA	TRACKLESS	SCOOP INOPERATIVO	MANTENIMIENTO	INCIMMET
MQ05	MAQUINARIA	TRACKLESS	ANFOLOADER INOPERATIVO	MANTENIMIENTO	INCIMMET
MQ06	MAQUINARIA	TRACKLESS	MANITOU INOPERATIVO	MANTENIMIENTO	INCIMMET
MQ07	MAQUINARIA	TRACKLESS	FALTA DE VOLQUETES	CCOI	NEXA
MQ08	MAQUINARIA	TRACKLESS	ALPHA INOPERATIVO	GEOMECANICA	NEXA
MQ09	MAQUINARIA	TRACKLESS	MIXER INOPERATIVO	GEOMECANICA	NEXA
MQ10	MAQUINARIA	UNIDAD DE TRANSPORTE DE PERSONA	FALTA MOVILIDAD	AVANCES INCIMMET	INCIMMET
MO01	MANO DE OBRA	PROCEDIMIENTO	CAMBIO DE ORDEN	AVANCES INCIMMET	INCIMMET
MO02	MANO DE OBRA	GESTION DE PERSONAL	MALA COORDINACION	ADMINISTRACION INCIMMET	INCIMMET
MO03	MANO DE OBRA	GESTION DE PERSONAL	COMUNICACIÓN DEFICIENTE	AVANCES INCIMMET	INCIMMET
MO04	MANO DE OBRA	GESTION DE PERSONAL	FALTA DE PERSONAL	ADMINISTRACION INCIMMET	INCIMMET
MT01	MATERIALES	SERVICIOS	BAJA PRESION / FALTA DE AGUA	SERVICIOS MINA	NEXA
MT02	MATERIALES	SERVICIOS	CAIDA DE TENSION / FALTA DE ENERGIA	MANTTO ELECTRICO	NEXA
MT03	MATERIALES	SERVICIOS	FALTA DE AIRE	SERVICIOS MINA	NEXA
MT04	MATERIALES	SERVICIOS	FALTA VENTILACION	VENTILACION	NEXA
MT05	MATERIALES	INSUMOS	FALTA/ROTURA/CAMBIO DE ACEROS	SANDVIK	INCIMMET
MT06	MATERIALES	INSUMOS	FALTA/ROTURA/CAMBIO DE ACEROS	AVANCES INCIMMET	INCIMMET
MT07	MATERIALES	INSUMOS	FALTA/ROTURA/CAMBIO DE ACEROS	MANTENIMIENTO	INCIMMET
MT08	MATERIALES	INSUMOS	FALTA MATERIALES DE SOSTENIMIENTO	LOGISTICA INCIMMET	INCIMMET
MT09	MATERIALES	INSUMOS	FALTA DE COMBUSTIBLE	LOGISTICA INCIMMET	INCIMMET
MT10	MATERIALES	INSUMOS	FALTA TABLERO ELÉCTRICO	MANTTO ELECTRICO	NEXA
MT11	MATERIALES	INSUMOS	FALTA TABLERO ELÉCTRICO	AVANCES INCIMMET	NEXA
MT12	MATERIALES	INSUMOS	CABLE ELECTRICO SECCIONADO	MANTTO ELECTRICO	NEXA
MT13	MATERIALES	INSUMOS	FALTA ILUMINACION DE CAMARA	MANTTO ELECTRICO	NEXA
ME01	METODO	ESTANDARES DE PRODUCCION	SIMULTANEIDAD	PRODUCCION	NEXA
ME02	METODO	ESTANDARES DE SOSTENIMIENTO	CAMBIO RECOMENDACIÓN GEOMECANICA	GEOMECANICA	NEXA
ME03	METODO	ESTANDARES DE SOSTENIMIENTO	CONDICION GEOMECANICA	GEOMECANICA	NEXA
ME04	METODO	ESTANDARES DE SERVICIOS	ACCESO INUNDADO	SERVICIOS MINA	NEXA
ME05	METODO	ESTANDARES DE PRODUCCION	TRAFICO EN VÍA	PRODUCCION	NEXA
ME06	METODO	ESTANDARES DE PRODUCCION	EXTRACCION DE TAJO	PRODUCCION	NEXA
ME07	METODO	ESTANDARES DE PRODUCCION	TAJO EN RELLENO	RELLENO	NEXA
ME08	METODO	ESTANDARES DE PRODUCCION	FUGA DE RELLENO	RELLENO	NEXA
ME09	METODO	ESTANDARES DE SOSTENIMIENTO	FALTA REHABILITACION	AVANCES	INCIMMET
ME10	METODO	ESTANDARES DE SOSTENIMIENTO	FALTA SHOTCRETE	AVANCES	NEXA
ME11	METODO	ESTANDARES DE SEGURIDAD	FALTA PROTOCOLO	GEOMECANICA	NEXA
ME12	METODO	ESTANDARES DE SOSTENIMIENTO	FALTA CABLE BOLTING	GEOMECANICA	NEXA
ME13	METODO	ESTANDARES DE SEGURIDAD	LABOR PARALIZADA POR SEGURIDAD	SEGURIDAD	INCIMMET
ME14	METODO	ESTANDARES DE SOSTENIMIENTO	FALTA CORTE DE PERNOS	SERVICIOS MINA	NEXA
ME15	METODO	ESTANDARES DE SEGURIDAD	FALTA SEÑAL DE RADIO	MANTTO ELECTRICO	NEXA
MA01	MEDIO AMBIENTE	EVENTO SISMICO	EVENTO SISMICO	GEOMECANICA	NEXA
MA02	MEDIO AMBIENTE	EVENTO CLIMATICO	LLUVIAS	MEDIO AMBIENTE	NEXA

Anexo 2: Log de Restricciones

INCIMMET

INTEGRANDO EL CAMINO AVANZADO

LOG DE RESTRICCIONES

Código: P-PER-CPROY-01-F-02

Fecha: 19/10/2023

Revisión: 01

Proyecto:

SISTEMA INTEGRADO DE GESTION

Página: 1 de 1

Elaborado por: Oficina Técnica

Revisado por: Gerente de Obra

Fecha:

Fecha:

Status

3

6

9

Restricciones

A Empezar 6

Concluido -

En Proceso 3

Fecha Actualización:

19/10/2023

ID	Actividad Afectada	Labor Afectada	CAPE	Tipo de Restricción	Descripción de Restricción	Prioridad	Area / Responsable	Fecha Ident. Restricción	Fecha Compromiso de Liberación	Estado	Plan de Acción	Comentarios / Observaciones/Plan de Acción	ESTADO	DIAS ACUMULADOS	PRIMERIA
1	Avance	Rp 050(-) Nv1540	EMIS	Falta de labor	Extracción de mineral	Alta	Oficina Técnica David Vargas	7/10/2023	9/10/2023	300%	Enviar carta al cliente con la falta de labor de la semana.		Se cumple	12	URGENTE
2	Avance	Cx 448 Nv1770	EMIS	Falta de labor	Evaluación cambio de proyecto	Alta	Oficina Técnica David Vargas	7/10/2023	9/10/2023	300%	Enviar carta al cliente con la falta de labor de la semana.		Se cumple	12	URGENTE
3	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Logística	Falta de empalme rápido	Alta	Administración Asid Vitorie	7/10/2023	9/10/2023	300%	Adquisición local de 10 empalmes.		Se cumple	12	EMERGENCIA
4	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Logística	Falta de empalme rápido	Alta	Logística Elva Salazar	7/10/2023	12/10/2023	300%	Se está considerando el cuadro de reposición automática y envío a sede.		Se cumple	12	URGENTE
5	Avances	Zone Baja	EMIS	Logística	Falta de empalme rápido	Media	Seguridad Giancarlo Soria	7/10/2023	9/10/2023	60%	Evaluación de bridas en reemplazo de empalme rápido.	Si es factible el cambio, no se tiene observación por parte del cliente. Pendiente el sustento técnico para realizar el cambio.	A Empezar	12	URGENTE
6	Avances	Zone Alta	EMIS	Mano de obra	Falta de 3 ayudantes de mina	Media	Administración Asid Vitorie	7/10/2023	19/10/2023	60%	Completar los puestos mencionados. Ayudante subió el 07/10. Los 2 pendientes suben el 12/10 y 19/10.	Actualmente se tiene 02 ayudante en mina, el tercer Ayudante va a subir el 26/10	En Proceso	12	URGENTE
7	Avances	Zone Alta	EMIS	Mano de obra	Falta operador de desabridor	Alta	Administración Asid Vitorie	7/10/2023	19/10/2023	30%	Generar RO y gestor sube CL.	Se genero el Ro, se encuentra en proceso de evaluación de CV - Lima	A Empezar	12	URGENTE
8	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Equipos	Disponibilidad mecánica <65%	Alta	Mantenimiento Cesar Romero	7/10/2023	8/10/2023	73%	J 7, J 12, J 13, Jumbo 17. Se garantiza la disponibilidad de 4 jumbos para la semana 41.	Se trabajo durante la semana 41, con el J 7, J 12, J 13 y 16, alcanzando un DW de 67%	En Proceso	12	URGENTE
9	Avances	Zone Alta y Zone Baja	PMME	Equipos	Disponibilidad mecánica <65%	Alta	Mantenimiento Cesar Romero	7/10/2023	8/10/2023	71%	Bolero1, Bolero6, Bolero11, Bolero10. Se garantiza la disponibilidad de 4 boleros para la semana 41.	Se trabajo durante la semana 41, con el J 6, J 8, J 10 y 12, alcanzando un DW de 84%	En Proceso	12	URGENTE
10	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Equipos	Disponibilidad mecánica <65%	Alta	Mantenimiento Cesar Romero	7/10/2023	8/10/2023	72%	Paus1, Scaeboss2, Paus4, BT11. Se garantiza la disponibilidad de 4 desabridores para la semana 41.	Durante la semana alcanza una DW de 72%	En Proceso	12	URGENTE
11	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Equipos	Disponibilidad mecánica <65%	Alta	Mantenimiento Cesar Romero	7/10/2023	8/10/2023	87%	Scoop16, Scoop19, Scoop23 y Scoop34. Se garantiza la disponibilidad de 4 scoobers para la semana 41.	Durante la semana alcanza una DW de 86%	En Proceso	12	URGENTE
13	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Equipos	Inicio de operaciones del Pscalo B4	Alta	Mantenimiento Cesar Romero	15/10/2023	15/10/2023		Generalizar 03 equipos en operaciones.		A Empezar		
12	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Equipos	Equipo Desabridor hiperativo por aire acondicionado Paus 4	Alta	Mantenimiento Cesar Romero	15/10/2023	17/10/2023		Realizar el mantenimiento correctivo.		A Empezar		
14	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Mano de obra	Inicio de operaciones del Pscalo B4	Alta	Administración David Pahuacho	15/10/2023	15/10/2023		Gestionar el ingreso de los terceros, (EN con cupos de NCMMET.)		En Proceso		
15	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Mano de obra	Personal jefe de guardia para cable Bolling	Media	Administración David Pahuacho	15/10/2023	18/10/2023		Gestionar y generalizar la eflicación del jefe de guardia		En Proceso		
16	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Mano de obra	Reposición de 01 conductor para el área de mantenimiento	Media	Administración David Pahuacho	15/10/2023	15/10/2023		Coordinar la reunión de conductores para el mantenimiento y operaciones.		En Proceso		
17	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Mano de obra	Evaluación de seguridad al Operador Cocoro	Media	Seguridad Johnny Vargas	15/10/2023	18/10/2023		Acompañamiento en labor al operador Cocoro por 04 días.		A Empezar		
18	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Logística	Falta de Válvulas Z	Media	Almacén Luis Ovalle	15/10/2023	18/10/2023		Generar requerimiento de urgencia.		A Empezar		
19	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Desabastecimiento de consumibles	Desabastecimiento de consumibles e insumos de mantenimiento	Alta	Mantenimiento Cesar Romero	15/10/2023	15/10/2023		Evaluación de lista de consumibles para reposición automática.		A Empezar		
20	Avances	Zone Alta y Zone Baja	EMIS	Desabastecimiento de manguera	Gestionar la reunión con el proveedor DIMAHGAC para evaluar la mayor cantidad y diversidad de conectores así como el incremento de personal.	Media	Almacén Luis Ovalle	15/10/2023	17/10/2023		Coordinar con Antonio Peña la reunión con la gerencia de DIMAHGAC, para evaluar la mayor cantidad y diversidad de conectores.		A Empezar		

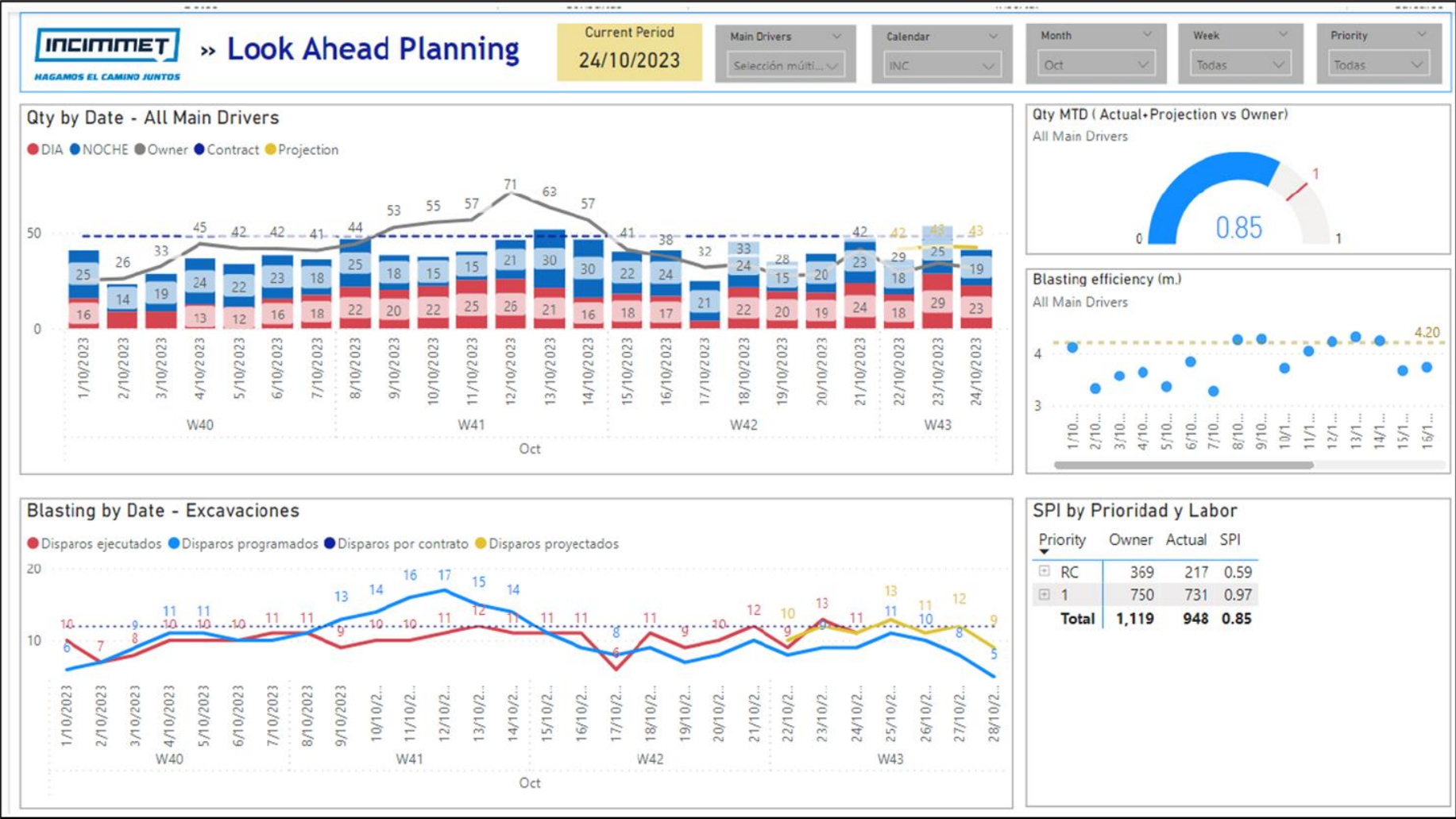
Anexo 3: Porcentaje de Planificación Cumplida y Causas de No Cumplimiento

														PORCENTAJE DE PLANIFICACIÓN CUMPLIDA Y CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO- SEMANA 42										P-PER-CPROY-01-F-03									
																								19/10/2023									
																								01									
																								1 de 1									
Proyecto: Cerro Lindo																								13/10/2024									
Semana: 42																								19/10/2024									
Item	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa semana anterior	Ejecutado semana actual	D 13-oct	L 14-oct	M 15-oct	W 16-oct	J 17-oct	V 18-oct	S 19-oct	% PPC	Cumplimiento (Ratío)	Causas de No Cumplimiento (CNC)	Descripción de las causas	Responsable															
Excavaciones																			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	NO			
1	Excavación Mecanizado In Situ	EMIS	2221	m.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	NO	Personal Apoyo Faja 3																	
2	Exc. Hrz. Mecanizado Relleno	EMRE	2222	m.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	NO																		
3	Exc. Hrz. Mecanizado Rehabilitación	EMRH	2223	m.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	NO																		
Sostentimiento Convencional																			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	NO				
1	Cable Botting Convencional	CBCO	2312	Und.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	NO																		
Sostentimiento Mecanizado																			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	NO				
1	Sostenimiento Perno y Malla Mecanizado	PMME	2322	Und.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	NO																		
2	Cable Botting Mecanizado	CBME	2323	Und.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	NO																		
Explotación																			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	NO				
1	Breasting	BRTS	3201	m³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	NO																		
														PAC		0.00%																	
Gerente de Proyecto/Residente																			Gerente de Seguridad				Superintendente de Mantenimiento										
Jefe de Oficina Técnica																																	

4

		PLAN SEMANAL LOOK AHEAD - SEMANA 39										CÓDIGO:	
												FECHA: 21/10/2023	
												VERSIÓN: 01	
												PÁGINA: 1 de 1	
Proyecto: Cerro Lindo												Fecha Inicio: 22/09/2024	
Semana: 39												Fecha Fin: 28/09/2024	
Item	Actividades	Main Driver	CAP	UoM	Programa	D 22-sep.	L 23-sep.	M 24-sep.	W 25-sep.	J 26-sep.	V 27-sep.	S 28-sep.	RESTRICCIONES / OBSERVACIONES
Excavaciones Zona Baja													
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	-								
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	-								
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	-								
Excavaciones Zona Alta													
1	Excavación In Situ	EMIS	2221	m.	-								
2	Excavación Relleno	EMRE	2222	m.	-								
3	Rehabilitación	EMRH	2223	m.	-								
Cable Bolting													
1	Cable Bolting Mecanizado	CBME	2312	m.	-								
2	Cable Bolting Convencional	CBCO	2223	m.	-								LA MAYORIA DE LAS AREAS A INGRESAR NECESITAN HABILITACIÓN Y ENERGIA (CABLE Y TABLERO ELÉCTRICO)
Gerente de Proyecto/Residente Gerente de Seguridad Superintendente de Mantenimiento Jefe de Oficina Técnica													

Anexo 5: Dashboard Lookahead Planning



Anexo 6: Acta de Reunión

 HAGAMOS EL CAMINO JUNTOS	ACTA DE REUNIÓN		Código: P-CORP-SIG-06-F-04	
			F. Vigencia: 01/07/2023	
			Versión: 01	
			Página 12 de 14	
SISTEMA INTEGRADO DE GESTION				

REALIZADO POR:				
ASUNTO DE REUNIÓN:				
NÚMERO DE ACTA	FECHA	HORA DE INICIO	HORA DE TÉRMINO	LUGAR

I. AGENDA
1. Tema 1
2. Tema 2
3. Tema 3

II. DESARROLLO DE LA AGENDA
1. Tema 1
2. Tema 2
3. Tema 3