

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

**Mejora operativa de la flota de equipos de sostenimiento
mediante la implementación de una planta de shotcrete en
interior mina**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Juan Brian Marchena Gil

 [0009-0004-6241-4564](https://orcid.org/0009-0004-6241-4564)

Asesor

M.Sc. Jose Antonio Corimanya Mauricio

 [0000-0003-1078-4155](https://orcid.org/0000-0003-1078-4155)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Marchena Gil [1]
Referencia/Reference	[1] J. Marchena Gil, " <i>Mejora operativa de la flota de equipos de sostenimiento mediante la implementación de una planta de shotcrete en interior mina</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Marchena, 2025)
Referencia/Reference	Marchena, J. (2025). <i>Mejora operativa de la flota de equipos de sostenimiento mediante la implementación de una planta de shotcrete en interior mina</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Esta tesis se lo dedico a mi padre Juan y a mi madre Imelda, que está en el cielo, ellos me han guiado en la parte profesional y en valores que poseo. A mis hermanos Jhoanna y Diego que has sido un ejemplo en mi vida. A mi esposa Susy que me ha dado la oportunidad de ser padre; y se lo dedico sobre todo a Dios por las oportunidades que se han cruzado en mi camino.

Agradecimientos

Quiero agradecer a los profesionales que he logrado conocer desde que entre a trabajar en el rubro de la minería. Agradecer a la empresa Catalina Huanca Sociedad Minera SAC que me ha brindado muchas oportunidades de crecer y sobre todo agradecer al ingeniero Francois García Antezano el cual me ha apoyado en mi desarrollo profesional y en el cual hemos tenido un crecimiento mutuo.

Resumen

La presente investigación aborda la mejora operativa de la flota de equipos de sostenimiento mediante la implementación de una planta de shotcrete en interior mina, con el objetivo de mejorar la eficiencia y productividad en las operaciones mineras subterráneas. La instalación de la planta de shotcrete permite reducir los tiempos de espera y aplicación del concreto proyectado, eliminando retrasos asociados al transporte desde la superficie y mejorando la continuidad del ciclo operativo.

Los resultados obtenidos demuestran que el tiempo por ciclo de los equipos de sostenimiento se reduce de 3.0 horas a 1.6 horas aproximadamente, logrando un incremento del 15% en la utilización efectiva de la flota. Asimismo, la producción de shotcrete en interior mina disminuye significativamente los costos asociados al acarreo de material, consumo de combustible y desgaste de los equipos de transporte. La dosificación controlada del shotcrete permite mejorar el uso de cemento y aditivos, reduciendo desperdicios y costos de insumos, lo que se traduce en un ahorro de 6.98 USD por metro cúbico producido.

Además, al reducir los tiempos de traslado y espera de material, se mejora la disponibilidad de los equipos de proyección de shotcrete, lo que permite una mayor cobertura en las labores de sostenimiento y evita cuellos de botella en el ciclo operativo. La aplicación inmediata del shotcrete también contribuye a la seguridad de la operación, reduciendo la exposición de las labores subterráneas a riesgos geomecánicos y mejorando la estabilidad de los frentes de trabajo.

Palabras clave — Shotcrete, sostenimiento, mejora operativa, reducción de costos, eficiencia productiva, planta de shotcrete.

Abstract

This research addresses the operational improvement of the ground support equipment fleet through the implementation of a shotcrete plant inside the mine, aiming to improve efficiency and productivity in underground mining operations. The installation of the shotcrete plant reduces waiting and application times for sprayed concrete, eliminating delays associated with transportation from the surface and improving the continuity of the operational cycle.

The results obtained show that the cycle time of the support equipment is reduced from 3.0 hours to approximately 1.6 hours, achieving a 15% increase in the effective utilization of the fleet. Additionally, the production of shotcrete inside the mine significantly reduces costs associated with material hauling, fuel consumption, and wear of transport equipment. The controlled dosing of shotcrete improves the use of cement and additives, reducing waste and supply costs, which translates into a savings of 6.98 USD per cubic meter produced. Furthermore, by reducing material transfer and waiting times, the availability of shotcrete projection equipment improves, allowing for greater coverage in support tasks and preventing bottlenecks in the operational cycle. The immediate application of shotcrete also contributes to operational safety by reducing underground workings' exposure to geomechanical risks and improving the stability of work fronts.

Keywords — Shotcrete, ground support, operational improvement, cost reduction, productive efficiency, shotcrete plant.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.3 Objetivo	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Hipótesis	2
1.4.1 Hipótesis general.....	2
1.4.2 Hipótesis específicas.....	2
1.5 Variables	3
1.5.1 Variable independiente (V.I)	3
1.5.2 Variable dependiente (V.D)	3
1.6 Antecedentes referenciales	5
1.6.1 Antecedentes internacionales.....	5
1.6.2 Antecedentes nacionales	5
1.6.3 Antecedentes locales	6
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	8
2.1 Marco Teórico	8
2.1.1 Sostenimiento.....	8
2.1.2 Shotcrete.....	10
2.1.3 Tipos de plantas de concreto.....	15
2.1.4 Elementos de planta de concreto	17
2.2 Marco conceptual	19

2.2.1	Shotcrete	19
2.2.2	Aditivo	20
2.2.3	Slump	20
2.2.4	Resistencia	20
2.2.5	Adherencia	20
2.2.6	Acelerante	20
2.2.7	Boquilla	20
2.2.8	Arena	20
2.2.9	Capa	20
2.2.10	Rebote.....	20
2.2.11	Normativa.....	21
2.2.12	Cemento.....	21
2.2.13	Agregados.....	21
2.2.14	Retardadores.....	21
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación		22
3.1	Recolección de datos	22
3.1.1	Unidad de estudio	22
3.1.2	Información del sistema actual	28
3.2	Procesamiento de información	36
3.2.1	Disponibilidad y utilización.....	36
3.2.2	Horas inoperativas.....	41
3.3	Planta de shotcrete en interior mina	45
3.3.1	Planta dosificadora de concreto de 20 m ³ /hr.....	47
3.4.2	Componentes de planta	49
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados		52
4.1	Análisis de alternativas.....	52
4.2	Validación de hipótesis.....	56
4.2.1	Variable productividad.....	56

4.2.2 Variable costos.....	58
Conclusiones	59
Recomendaciones	60
Referencias bibliográficas.....	61
Anexos	62

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Matriz de consistencia.....	4
Tabla 2 : Suma de shotcrete (m3) por tipo de labor	28
Tabla 3 : Suma de shotcrete (m3) total	28
Tabla 4 : Porcentaje de cumplimiento de producción de shotcrete (m3)	28
Tabla 5 : Ciclo de equipo Mixkret N°01	30
Tabla 6 : Ciclo de equipo Mixkret N°02	31
Tabla 7 : Ciclo de equipo Shotcrete Tornado N°04	32
Tabla 8 : Ciclo de equipo Shotcrete Tornado N°05	33
Tabla 9 : Disponibilidad y utilización – octubre.....	36
Tabla 10: Disponibilidad y utilización – noviembre	37
Tabla 11: Disponibilidad y utilización – diciembre	38
Tabla 12: Disponibilidad y utilización – enero	39
Tabla 13: Disponibilidad y utilización – febrero	40
Tabla 14: Total de horas inoperativas – octubre	41
Tabla 15: Total de horas inoperativas – noviembre.....	41
Tabla 16: Total de horas inoperativas – diciembre	42
Tabla 17: Total de horas inoperativas – enero	43
Tabla 18: Total de horas inoperativas – febrero	43
Tabla 19: Horas inoperativas por equipo.....	44
Tabla 20: Costo de inversión de planta y montaje.....	49
Tabla 21: Flota actual de equipos	52
Tabla 22: Ciclo actual de equipos	52
Tabla 23: Ciclo de equipos con planta de shotcrete en interior mina.....	52
Tabla 24: Escenario actual.....	53
Tabla 25: Costos operativos actual	53
Tabla 26: Escenario alternativa A	53

Tabla 27: Inversión – alternativa A.....	54
Tabla 28: Costos operativos – alternativa A.....	54
Tabla 29: Escenario alternativa B	55
Tabla 30: Inversión – alternativa B.....	55
Tabla 31: Costos operativos – alternativa B.....	55
Tabla 32: Comparación de alternativas.....	56
Tabla 33: Comparación de resultados de utilización y productividad	57
Tabla 34: Comparación de resultados de costos operativos	58

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Elementos de refuerzo	10
Figura 2 : Esquema de pistola de lanzado de concreto vía seca.....	11
Figura 3 : Esquema de pistola de lanzado de concreta vía húmeda	12
Figura 4 : Vía seca.....	13
Figura 5 : Vía húmeda	14
Figura 6 : Diseño de planta de concreto.....	19
Figura 7 : Ubicación de mina Catalina Huanca	22
Figura 8 : Modelo geológico de los depósitos epitermales	23
Figura 9 : Transporte de shotcrete a interior mina.....	29
Figura 10: Ciclo (Hr) Mixkret N°01	34
Figura 11: Ciclo (Hr) Mixkret N°02	34
Figura 12: Ciclo (Hr) Shotcrete Tornado N°04.....	35
Figura 13: Ciclo (Hr) Shotcrete Tornado N°05.....	35
Figura 14: Disponibilidad y utilización – octubre.....	36
Figura 15: Disponibilidad y utilización – noviembre	37
Figura 16: Disponibilidad y utilización – diciembre	38
Figura 17: Disponibilidad y utilización – enero	39
Figura 18: Disponibilidad y utilización – febrero	40
Figura 19: Total de horas inoperativas – octubre	41
Figura 20: Total de horas inoperativas – noviembre	42
Figura 21: Total de horas inoperativas – diciembre.....	42
Figura 22: Total de horas inoperativas – enero	43
Figura 23: Total de horas inoperativas – febrero.....	44
Figura 24: Total de horas inoperativas – febrero.....	44
Figura 25: Ubicación propuesta para instalar planta de shotcrete	45
Figura 26: Plano isométrico de rutas de transporte de shotcrete	46

Figura 27: Planta dosificadora de concreto de 20 m ³ /hr	47
Figura 28: Prueba de Wilcoxon para variable productividad.....	57
Figura 29: Prueba de Wilcoxon para variable costos	58

Introducción

El estudio se estructura en cuatro capítulos principales.

En el primer capítulo se plantea el problema de investigación, estableciendo los objetivos, la hipótesis, las variables a considerar y una revisión de antecedentes bibliográficos relevantes. Este capítulo proporciona el marco inicial para entender la problemática y la justificación de la investigación.

El segundo capítulo desarrolla el marco teórico y conceptual, abordando aspectos fundamentales del sostenimiento en minería subterránea, el uso de shotcrete y los diferentes tipos de plantas de concreto utilizadas en este tipo de operaciones. Se presentan conceptos clave y fundamentos técnicos que respaldan la implementación de la planta de shotcrete en interior mina.

El tercer capítulo describe la unidad de estudio y detalla la metodología empleada en la recolección y procesamiento de la información. Asimismo, se presenta la descripción técnica de la planta de shotcrete a implementar, especificando sus características y componentes. Este apartado es clave para comprender el diseño y la viabilidad del sistema propuesto.

En el cuarto capítulo se realiza un análisis de alternativas, comparando la opción de adicionar un mixer en la operación actual con la implementación de la planta de shotcrete en interior mina. Finalmente, se valida la hipótesis planteada mediante la evaluación de los resultados obtenidos. A partir de este análisis, se establecen las ventajas y desventajas de cada alternativa, brindando un sustento técnico y económico para la toma de decisiones.

Los hallazgos de esta investigación permitirán demostrar los beneficios operativos y económicos de contar con una planta de shotcrete en interior mina. Las conclusiones y recomendaciones finales ofrecerán un marco de referencia para futuras implementaciones de este tipo de infraestructura en la industria minera.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

En la minería subterránea, el sostenimiento de las labores mineras es un aspecto fundamental para garantizar la seguridad y eficiencia operativa. El shotcrete, o concreto proyectado, es una de las técnicas más utilizadas para el sostenimiento de estructuras subterráneas, ya que proporciona una rápida consolidación del terreno y reduce el riesgo de desprendimientos. Sin embargo, en muchas operaciones mineras, la aplicación de shotcrete se ve afectada por tiempos prolongados de espera debido al transporte del material desde la superficie, lo que impacta negativamente en la productividad y los costos operativos.

En este contexto, la presente investigación plantea la mejora operativa de la flota de equipos de sostenimiento mediante la implementación de una planta de shotcrete en interior mina. La instalación de esta planta permitirá optimizar los tiempos de aplicación, reducir los costos asociados al acarreo de material y mejorar la disponibilidad de los equipos de proyección, logrando una mayor eficiencia en el proceso de sostenimiento.

1.2 Descripción del problema de investigación

La minería ha sido una actividad clave para el desarrollo de la civilización como la conocemos hoy en día y esta ha ido evolucionando según han ido apareciendo nuevas tecnologías a lo largo de los años y nuevos controles, sin embargo, implementar esta nueva ingeniería en las operaciones siempre ha estado sujeto al costo-beneficio.

En la unidad minera subterránea se presentan problemas debido a la baja eficiencia en el lanzamiento de shotcrete hacia los labores mineros, se ve severamente comprometido por un cuello de botella crítico: la incapacidad de satisfacer la demanda de shotcrete, lo que resulta en retrasos significativos en la producción.

La planta de shotcrete actual, ubicada en la superficie a 3200 msnm, impone un ciclo de transporte prolongado de aproximadamente 3 horas debido a la distancia de 5.5 a

7 km hasta los frentes de trabajo. Esta situación limita la capacidad de respuesta y la productividad.

Para abordar esta problemática, nos lleva a realizarnos las siguientes preguntas:

- ¿En qué medida, una inadecuada ubicación de la planta de shotcrete en superficie repercute en el cumplimiento de la producción?
- ¿En qué medida, una inadecuada ubicación de la planta de shotcrete en superficie incide en la productividad de la flota de equipos?
- ¿En qué medida, una inadecuada ubicación de la planta de shotcrete en superficie incrementa los costos operativos asociados en el proceso de sostenimiento de los laboreos mineros?

(Fuente. Cía. Minera Catalina Huanca)

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo general

Instalación de una Planta de Shotcrete en interior mina, para generar un impacto positivo en la eficiencia y productividad de las operaciones de sostenimiento.

1.3.2 Objetivos específicos

- Incremento en los rendimientos operativos y utilización efectiva de la flota de equipos de sostenimiento, con la instalación de planta de shotcrete en interior mina.
- Reducción de costos al reducir flota de equipos de sostenimiento, con la instalación de la planta de shotcrete en interior mina.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La reubicación de la planta de shotcrete al interior de la mina, resultará en una mejora significativa de la aplicación del shotcrete, manifestándose en un incremento medible de la eficiencia y productividad de las operaciones de sostenimiento.

1.4.2 Hipótesis específicas

- La implementación de la planta de shotcrete en interior mina; conllevara a reducir tiempos de inactividad, mejorar la disponibilidad de los equipos y su productividad.

- La implementación de una planta de shotcrete en interior mina resultará en una reducción de los costos operativos asociados a los equipos de sostenimiento.

1.5 Variables

1.5.1 *Variable independiente (V.I)*

Planta de Shotcrete en Interior Mina.

1.5.2 *Variable dependiente (V.D)*

- Y1: Productividad.
 - KPIs Operacionales.
 - Dimensionamiento de Flota.
- Y2: Flota de Equipos.
 - Disponibilidad Mecánica.
 - Utilización Operativa.
 - MTTR.
 - MTBF.
 - Confiabilidad.
- Y3: Costos.
 - Costo/Beneficio.
 - TIR.
 - VAN.

Tabla 1

Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
Problema general ¿En qué medida, una inadecuada ubicación de la planta de shotcrete en superficie, impactaría en la eficiencia y productividad de las operaciones de sostenimiento?	Objetivo general Instalación de una Planta de Shotcrete en interior mina, para generar un impacto positivo en la eficiencia y productividad de las operaciones de sostenimiento.	Hipótesis general La reubicación de la planta de shotcrete al interior de la mina, resultará en una mejora significativa de la aplicación del shotcrete, manifestándose en un incremento medible de la eficiencia y productividad de las operaciones de sostenimiento.	Y1: Dependiente / Efecto Productividad	KPIs Operacionales Dimensionamiento de Flota
Problema específico 1 ¿En qué medida, una inadecuada ubicación de la planta de shotcrete en superficie, repercutiría en la productividad de los equipos de sostenimiento, tales como el rendimiento operativo y la utilización efectiva?	Objetivo específico 1 Incremento en los rendimientos operativos y utilización efectiva de la flota de equipos de sostenimiento, con la instalación de planta de shotcrete en interior mina.	Hipótesis específica 1 La implementación de la planta de shotcrete en interior mina; conllevará a reducir tiempos de inactividad, mejorar la disponibilidad de los equipos y su productividad.	X1: Independiente / Causa Planta de Shotcrete en Interior Mina	Y2: Dependiente / Efecto Flota de Equipos Disponibilidad Mecánica Utilización Operativa MTTR MTBF Confiabilidad
Problema específico 2 ¿En qué medida, una inadecuada ubicación de la planta de shotcrete en superficie, incrementaría los costos operativos asociados a la flota de equipos de sostenimiento?	Objetivo específico 2 Reducción de costos al reducir flota de equipos de sostenimiento, con la instalación de la planta de shotcrete en interior mina.	Hipótesis específica 2 La implementación de una planta de shotcrete en interior mina resultará en una reducción de los costos operativos asociados a los equipos de sostenimiento.	Y3: Dependiente / Efecto Costos	Costo/Beneficio TIR VAN

Fuente: Elaboración propia

1.6 Antecedentes referenciales

1.6.1 Antecedentes internacionales

García A. (2021) en su tesis titulada, "Implementación de Plantas de Shotcrete Móviles en Minas Subterráneas de Roca Dura"; este proyecto describió la implementación de plantas de shotcrete móviles y automatizadas en minas de roca dura, destacando los beneficios en términos de seguridad, eficiencia y costos. Su relevancia proporciona un ejemplo de la viabilidad y los beneficios de implementar plantas de shotcrete en interior mina.

Smith R. et al (2020) en su tesis doctoral titulada, "Optimización de Flotas de Equipos de Minería Subterránea Mediante Simulación Discreta de Eventos"; este estudio investigó el uso de modelos de simulación para optimizar la utilización y el rendimiento de flotas de equipos en minas subterráneas. Se enfocó en la reducción de tiempos de inactividad y la mejora de la eficiencia general. Su relevancia se da dado que proporciona un marco metodológico para analizar y optimizar el rendimiento de la flota de shotcrete.

Lee R. et al (2019) en su tesis titulada, "Implementación de Sistemas de Gestión de Flotas en Tiempo Real para la Minería Subterránea"; este trabajo exploró la implementación de sistemas de gestión de flotas basados en GPS y sensores para monitorear y controlar la ubicación y el rendimiento de los equipos en tiempo real. Su relevancia se da dado que ofrece información sobre tecnologías que pueden mejorar la gestión y el control de la flota de shotcrete.

1.6.2 Antecedentes nacionales

Cárdenas J. et al (2020) en su tesis de maestría titulada "Análisis de la Viabilidad de la Implementación de Plantas de Shotcrete Móviles en Minas Subterráneas de la Sierra Peruana"; esta tesis evaluó la viabilidad técnica y económica de la implementación de plantas de shotcrete móviles en minas subterráneas de la sierra peruana, considerando las condiciones geológicas y operativas específicas de la región. Su relevancia se da dado que estudia la viabilidad de implementar plantas de shotcrete dentro de la mina, que es el tema central de la tesis. Los resultados de la investigación fue identificar una solución

viable que puede mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y aumentar la seguridad en las minas subterráneas, promoviendo el desarrollo sostenible de las operaciones mineras en la región.

Barreda R. (2016) en su tesis titulada “Diseño de Planta Subterránea para optimizar y reducir costos en mina Chipmo Cía. De Minas Buenaventura”; El presente proyecto de investigación tiene como objetivo diseñar y construir una planta de preparación de shotcrete en interior mina; la cual mejorara la metodología del proceso de concreto lanzado en las labores de desarrollo, preparación, exploración y explotación de labores subterráneas en la mina Chipmo, con el fin de optimizar los procesos de sostenimiento. Por último, la rentabilidad asegurada del proyecto dada por los indicadores económicos mencionados y garantizar la seguridad al personal y equipos que transiten por el área debida al correcto sostenimiento de las labores en interior mina, podría generar ahorros significativos, aumentar la productividad, mejorar la seguridad y reducir los costos operacionales a largo plazo, lo que contribuiría al éxito y sostenibilidad de las operaciones de la mina.

1.6.3 Antecedentes locales

Universidad Nacional de Ingeniería (2022) en su estudio titulado “Optimización de la Gestión de Equipos de Minería Subterránea en la Región Andina: Un Enfoque en la Reducción de Tiempos de Inactividad”, este estudio analizó los desafíos específicos de la gestión de equipos en minas subterráneas de la región andina, con un enfoque en la reducción de tiempos de inactividad y la mejora de la eficiencia operativa. La relevancia se da dado que proporciona un contexto nacional sobre los problemas y desafíos relacionados con la gestión de equipos en minería subterránea. Se demostró que mediante la optimización de la gestión de los equipos de minería subterránea en la región andina, enfocándose en la reducción de los tiempos de inactividad, es posible aumentar la productividad, reducir costos y mejorar la eficiencia operativa en las minas subterráneas, lo que contribuye a una operación más sostenible y competitiva.

Revista de Ingeniería de Minas (2021) en su artículo titulado “Optimización del Mantenimiento de Equipos de Shotcrete en Minas Subterráneas Peruanas: Un Enfoque en el Mantenimiento Predictivo”, este artículo exploró el uso de técnicas de mantenimiento predictivo para mejorar la disponibilidad y la utilización de equipos de shotcrete en minas subterráneas peruanas. La relevancia es porque ofrece información sobre cómo mejorar la eficiencia del mantenimiento de los equipos de shotcrete. Así mismo demostró que la optimización del mantenimiento de equipos de shotcrete mediante el uso del mantenimiento predictivo en las minas subterráneas peruanas ofrece una estrategia efectiva para mejorar la disponibilidad de los equipos, reducir los costos operacionales, prolongar la vida útil de los equipos y aumentar la seguridad y productividad en las operaciones mineras.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco Teórico

2.1.1 *Sostenimiento*

En la minería subterránea, el sostenimiento es crucial debido a la inestabilidad inherente de los espacios excavados, ya sea por la naturaleza de la roca o por las actividades de extracción. Para restablecer la estabilidad, se requiere redistribuir las tensiones mediante un refuerzo o soporte adecuado, considerando las características de la roca y la presencia de fallas.

Las vetas en Catalina Huanca presentan una variada calidad de roca, clasificada según el GSI desde fracturamiento bueno hasta pobre, lo que se traduce en valores de RMR entre 40 y 50. Esto requiere un sostenimiento que va desde pernos puntuales hasta una instalación sistemática de pernos de fricción Split Set de 5 pies, con malla electrosoldada y espaciamiento de 1.2x1.2 metros.

(Fuente. Unidad Minera Catalina Huanca)

El tiempo que una excavación subterránea puede permanecer estable sin sostenimiento varía entre 5 y 15 días, dependiendo de las condiciones geomecánicas y el tipo de roca presente.

- **De Soporte:**

El sostenimiento de contacto implica el uso de materiales que se aplican directamente sobre la superficie de la roca para estabilizarla. Esto incluye elementos como maderas, mallas, cables, cintas de acero, shotcrete (con o sin fibras), cimbras de acero, gatos hidráulicos, relleno y otros métodos para reforzar el macizo rocoso.

- **De esfuerzo:**

Este tipo de sostenimiento utiliza elementos de refuerzo que se anclan a la roca, como pernos de roca. Estos pernos pueden ser anclajes mecánicos de varillas de

acero o barras helicoidales, reforzados con cemento o resina, así como sistemas Split Set y Swellex.

- **En Tajos:**

En los tajos mineros, el sostenimiento debe ser cuidadosamente evaluado, considerando tanto los estándares de seguridad como la minimización de la dilución del mineral. Especialmente en tajos donde el personal ingresa para realizar trabajos (como en el minado por corte y relleno), el sostenimiento es esencial para garantizar la seguridad y controlar la dilución.

- **Concreto lanzado:**

El concreto lanzado, o shotcrete, es un material compuesto por cemento, agregados, aditivos y refuerzos, aplicado a alta velocidad sobre superficies mediante equipos especializados. Su aplicación se realiza a través de dos métodos principales: vía seca y vía húmeda.

- **Mezcla seca:**

En este método, los materiales secos o ligeramente humedecidos se mezclan en una tolva con agitación continua. El concreto se transporta a través de una manguera mediante aire comprimido, y el agua se añade en la boquilla justo antes de la proyección.

- **Mezcla húmeda:**

En este método, los materiales del shotcrete y el agua se mezclan antes de la proyección. La mezcla se transporta y homogeneiza en un equipo giratorio (mixer) y luego se proyecta sobre la superficie mediante un equipo robotizado. Es crucial utilizar agua libre de impurezas, preferiblemente potable o ensayada, para evitar daños en las propiedades del shotcrete.

- **Aditivos:** Se incorporan aditivos al shotcrete para mejorar sus propiedades. Entre ellos, se encuentran los acelerantes de fragua, que deben limitarse al 2% del volumen total del concreto, así como los retardantes y reductores de agua. Además,

la microsílica, un aditivo cementante, se utiliza en proporciones del 8 al 15% para incrementar significativamente la resistencia del shotcrete.

- **Elementos de refuerzo:**

Esta categoría de refuerzos incluye fibras de acero y mallas electrosoldadas, las cuales se fijan firmemente a la superficie de la roca. Como se muestra en la Figura 1.

(Fuente. Handbook)

Figura 1

Elementos de refuerzo



Fuente: Unidad Minera Catalina Huanca

2.1.2 Shotcrete

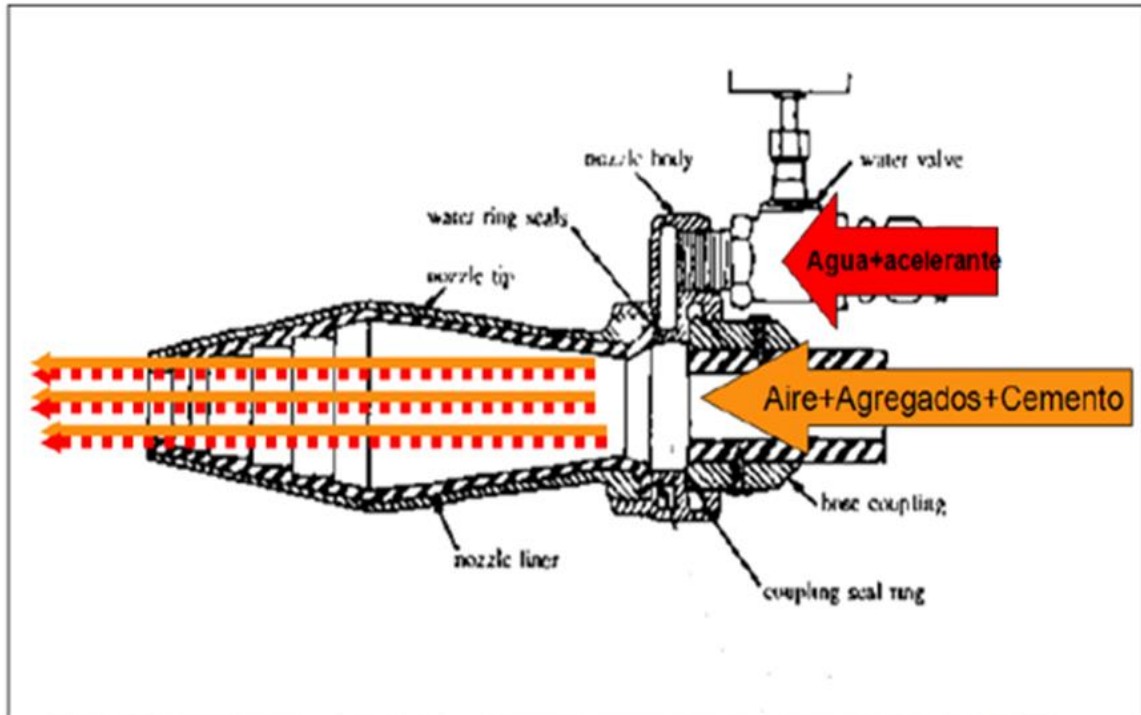
El shotcrete, o concreto lanzado, es una mezcla de cemento, agregados, agua, aditivos y refuerzos, que se proyecta neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie, compactándose dinámicamente.

Existen dos métodos de shotcrete: el método seco, donde el agua se añade en la boquilla durante la proyección, y el método húmedo, donde la mezcla ya contiene el agua necesaria antes de ser transportada. Como se muestra en la Figura 2.

(Fuente. Handbook)

Figura 2

Esquema de pistola de lanzado de concreto vía seca



Fuente: Unidad Minera Catalina Huanca

La elección entre los métodos de shotcrete seco y húmedo depende de las necesidades específicas del proyecto y de la experiencia del equipo de trabajo. Aunque históricamente se prefería la vía seca, actualmente se observa una tendencia hacia la vía húmeda, especialmente en el sostenimiento de rocas.

El método de shotcrete por vía húmeda se perfila como el dominante en el futuro, gracias a sus beneficios en términos de ambiente de trabajo, calidad, uniformidad y producción.

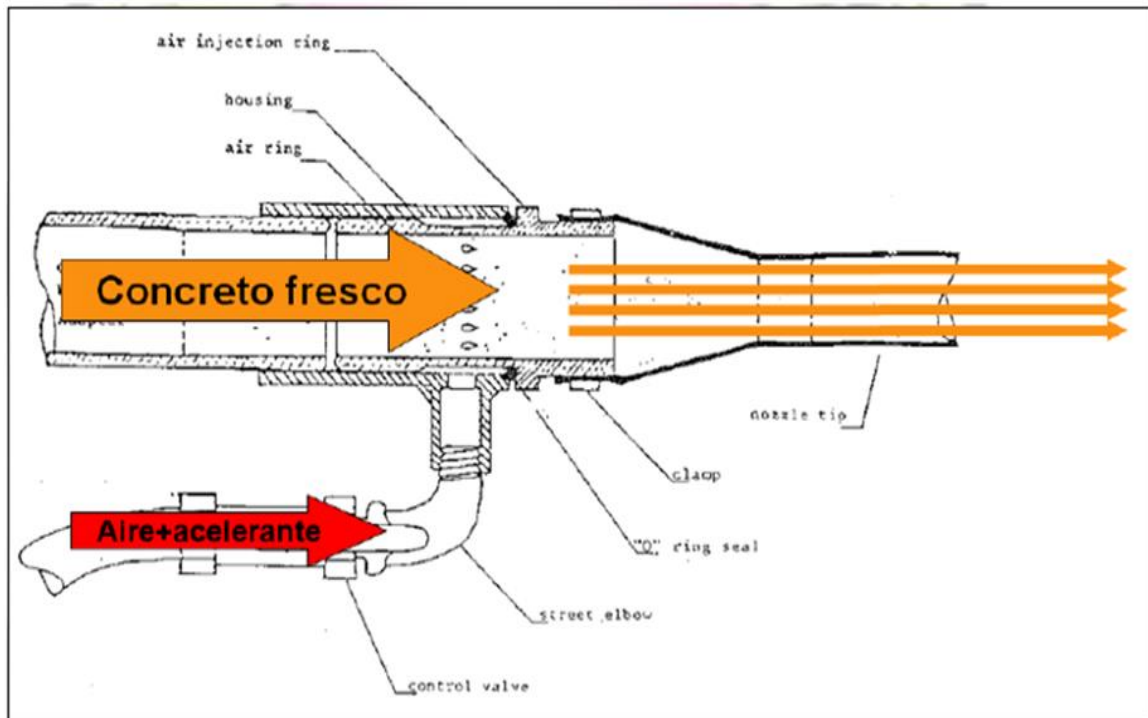
Los avances en la tecnología del shotcrete se centran principalmente en el método de vía húmeda.

Entre los desarrollos recientes destacan la incorporación de aditivos de nueva generación, curadores internos de concreto, microsílice y fibras metálicas. Como se muestra en la Figura 3.

(Fuente. Handbook)

Figura 3

Esquema de pistola de lanzamiento de concreto vía húmeda



Fuente: Unidad Minera Catalina Huanca

2.1.2.1 Vía seca. En el proceso por vía seca los insumos son mezclados al seco, y el cemento es transportado en mangueras por medio de aire comprimido, el agua se agrega por la boquilla, el aditivo de igual manera, pero al momento del lanzado y a través de una válvula de control.

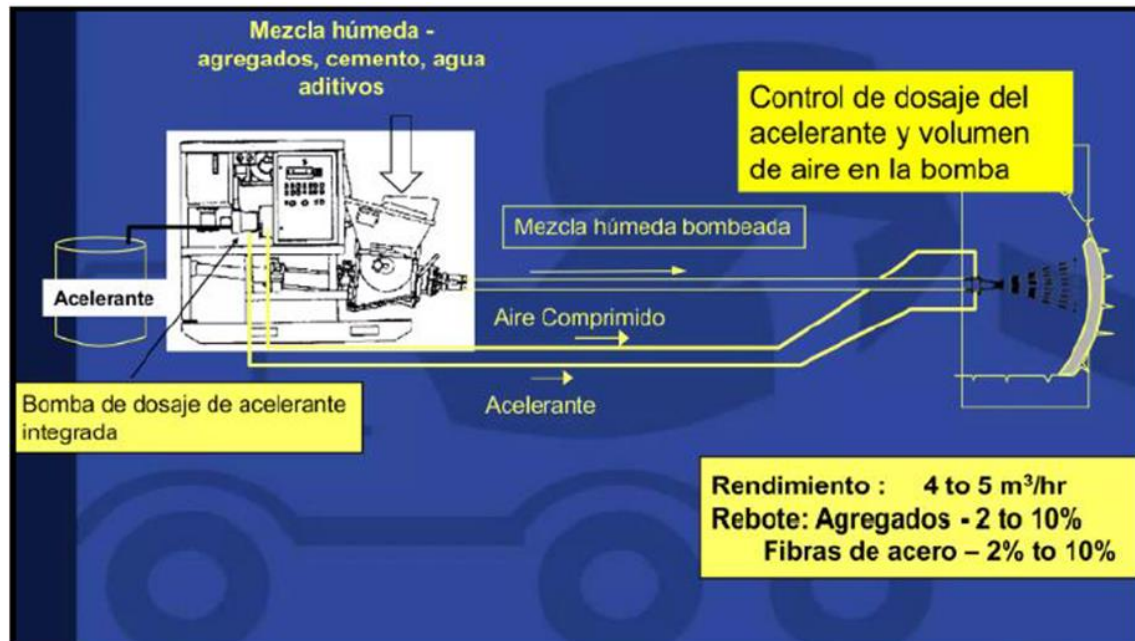
La virtud de este lanzado es económica y la máquina se transporta por otro equipo debido a su pequeño tamaño.

Para este proceso la arena y el cemento son mezclados manualmente (con palas) para luego echarse en el equipo en seco y se proyecten por una manguera de 2", en la boquilla se efectúa una premezcla con el agua y aditivo, la contra de esto es que el personal está expuesto a peligros por lo que los estándares de seguridad deben aplicarse al máximo. Como se muestra en la Figura 4.

(Fuente. Handbook)

Figura 4

Vía seca



Fuente: Guzmán, 2008

2.1.2.2 Vía húmeda. En la década de 1980, se produjo un cambio significativo en la industria del shotcrete en Escandinavia, con una transición completa del método de vía seca al de vía húmeda.

Este cambio, que se completó en Noruega entre 1978 y 1980, marcó el paso de la aplicación manual a la mecanizada con equipos trackless. Además, se intensificó la investigación para mejorar el uso de polvo de sílice, ya que la vía húmeda redujo la contaminación asociada con este material. Hoy en día, el shotcrete por vía húmeda se aplica con equipos robotizados, que incorporan fibras metálicas para aumentar la resistencia, reduciendo así los costos al minimizar el rebote de la mezcla y acelerar la aplicación.

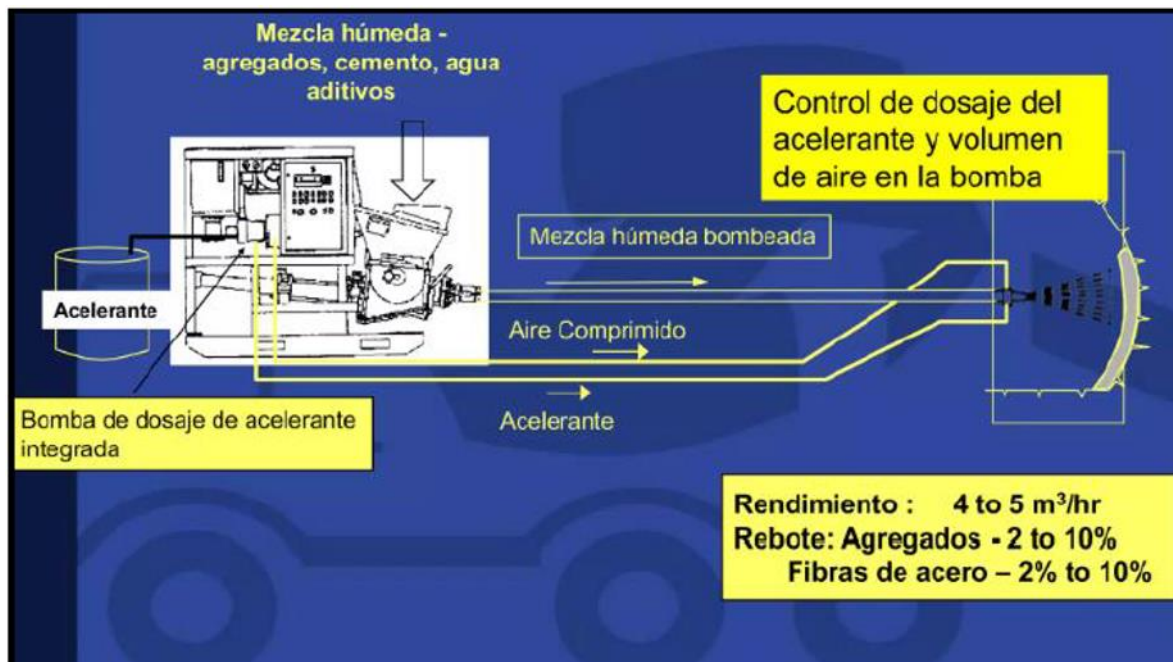
Una de las desventajas de la vía húmeda es la necesidad de utilizar un mixer para transportar el concreto, y la importancia de minimizar el tiempo entre la mezcla y la proyección.

En este método, el concreto se mezcla y transporta en un mixer, y se proyecta con un equipo robotizado Putzmeister SPM 4210. Como se muestra en la Figura 5.

(Fuente. Handbook)

Figura 5

Vía húmeda



Fuente: Guzmán, 2008.

Características:

- **Aspecto:**

La apariencia final del shotcrete proyectado es de superficie áspera, esta rugosidad dependerá del volumen del agregado, pero también de la destreza del operador.

- **Adherencia:**

Se le denomina a la impregnación de la roca sostenida, es recomendable limpiar o echar agua al sitio donde se proyectará el shotcrete.

- **Porosidad:**

El concreto que será proyectado contiene una cierta cantidad de arena fina y mayor proporción de cemento que el hormigón tradicional, por lo tanto, la porosidad es menor.

La porosidad es un aspecto que se crea por el aire encerrado durante el proceso de lanzado.

- **Densidad:**

Se define, como la masa por unidad de volumen del material, en kg/m³ (lb/pie³).

- **Resistencia:**

La resistencia a la compresión alcanzó los 300 kg. /cm² o más al llegar a los 28 días. El shotcrete tiene la ventaja de que la adquisición de resistencia se eleva con el tiempo debido a su alto contenido de cemento; 400 kg/cm² en 12 meses y 500 kg/cm² en 4 años; en algunos casos se registró hasta 700 kg/cm². También sucede que al usar aditivos acelerantes de fragua se consigue alta resistencia inicial.

- **Resistencia a tracción:**

(La resistencia del concreto a la tracción es mucho menor que su resistencia a la compresión constituyendo aproximadamente entre un 8% a 15% de ésta.

- **Permeabilidad:**

Para lograr la permeabilidad la mezcla es preparada usando arena con gran cantidad de huecos entre las partículas y con ausencia de los finos. La presencia de la permeabilidad del shotcrete poroso en el volumen de poros permeables, el porcentaje de la totalidad de absorción, las características mecánicas de resistencia a la compresión y el tiempo de tracción de 28 días.

2.1.3 Tipos de plantas de concreto

La Planta de concreto es una instalación utilizada para la fabricación de mezclas a partir de la materia prima que lo compone: árido, cemento y agua (también puede incluir otros componentes como fibras de refuerzo o aditivos). Estos componentes que previamente se encuentran almacenados, son dosificados en las proporciones adecuadas, para ser mezclados en el caso de centrales amasadoras o directamente descargados a un camión hormigonera en el caso de las centrales dosificadoras.

Tenemos actualmente los siguientes tipos de plantas:

2.1.3.1 Según el tipo de concreto.

2.1.3.1.1 Plantas de mezclado o volumétricas. Para la producción de concreto amasado. Incluyen una amasadora, que es la encargada de homogeneizar la mezcla de hormigón.

2.1.3.1.2 Planta de dosificado. Para la producción de hormigón dosificado, a veces llamado hormigón seco. La principal característica de estas plantas, es que carecen de amasadora. La mezcla de componentes dosificados, se vierte en un camión hormigonera que es el encargado de homogeneizar la mezcla.

2.1.3.1.3 Planta de grava de cemento. Para la producción de una mezcla semiseca de grava con cemento. Normalmente este tipo plantas realizan la dosificación y pesaje de los componentes en modo continuo.

2.1.3.1.4 Plantas combinadas. Para la producción de concreto amasado y dosificado en una misma planta, mediante la utilización de un sistema de by-passes, que hacen que el hormigón pase por la amasadora o directamente se descargue en el camión hormigonera.

2.1.3.2 Según la movilidad de la planta.

2.1.3.2.1 Plantas fijas. Son las instalaciones destinadas a un centro productivo con una localización fija. La estructura de la planta se diseña e instala de con la idea de no ser trasladada a lo largo de la vida útil de la instalación.

2.1.3.2.2 Plantas móviles. Son las instalaciones destinadas a trabajar en una obra o proyecto concreto. Tras la finalización del mismo, la planta es desmontada, trasladada y ensamblada en otro lugar de trabajo. La estructura de la planta, suele incorporar un tren de rodadura, de manera que se necesita solamente una cabeza tractora para realizar el transporte de las principales partes de la planta. Producción hasta 30 m³/hora.

2.1.3.2.3 Plantas modulares. Aquellas instalaciones destinadas a trabajar en varias localizaciones diferentes a lo largo de su vida útil, al igual que las plantas móviles. En este caso, la planta no se fabrica con sistema de rodadura, sino que se diseña en diferentes módulos estructurales, fácilmente transportables mediante medios estandarizados (plataformas, contenedores, flat-racks...) El montaje de los diferentes módulos es rápido, ya que todos los elementos de la instalación están previamente preinstalados dentro de cada módulo. Producción hasta 100 m³/hora.

2.1.3.3 Según el sistema de acopio.

2.1.3.3.1 Plantas verticales. En este tipo de plantas, el acopio de áridos se realiza en la parte superior de la planta, de manera que debe hacerse una elevación de los mismos previa al almacenamiento. La ventaja de este sistema es que los áridos se encuentran justo por encima del nivel de amasado/dosificado, de manera que la descarga de los mismos en el momento justo en que se demandan es muy rápida, obteniendo de esta manera grandes producciones y buenos rendimientos sobre la capacidad máxima teórica de la amasadora (en el caso de producción de hormigón amasado).

2.1.3.3.2 Plantas horizontales. Mediante este otro tipo de planta, el acopio de áridos se realiza a nivel del suelo, y no sobre el nivel de amasado/dosificado de la planta. En el momento en que se demanda el árido para la producción de hormigón, éste se dosifica y eleva hasta la planta de hormigón. La ventaja de este sistema, es que el conjunto estructural de la central resulta más sencillo, al no tener que acopiar una gran cantidad de árido sobre la estructura de la planta. Existen medios para aumentar la producción y el rendimiento mediante este sistema, como puede ser el utilizar transportadores para el árido de mayor capacidad, o la incorporación de tolvas de espera sobre el nivel de amasado, que hacen un pre-stock de árido ya dosificado y pesado, con la cantidad justa que se va a utilizar en el ciclo de amasado.

2.1.4 Elementos de planta de concreto

2.1.4.1 Batería de tolvas. Se trata de conjunto de recipientes de gran capacidad (generalmente desde 10 m³ hasta 200 m³) en los que se almacena el árido que será utilizado en el proceso de fabricación. El número de recipientes será igual al número de áridos diferentes que se utilicen en la planta (normalmente entre 3 y 8)

2.1.4.2 Sistema de pesaje de áridos. Para la correcta dosificación del árido en la central de hormigón, es necesario un sistema que pese la cantidad programada. Lo más común es utilizar un sistema de cinta pesadora que pesa los diferentes tipos de árido por adición dentro de un mismo ciclo de pesaje, o un sistema de tolvas pesadoras independientes que pesan por separado cada tipo de árido. El elemento medidor más

utilizado la célula de carga, que va incorporado a cualquiera de los dos sistemas anteriormente mencionados.

2.1.4.3 Sistema de elevación y transporte de áridos. Para elevar y transportar los áridos bien sea antes del acopio, o después del mismo, se utilizan diferentes soluciones. Las más habituales son las cintas transportadoras, que es el sistema más fiable y con menor mantenimiento. Otra alternativa son los elevadores de cangilones, que ofrecen menos durabilidad, mayor mantenimiento, menor capacidad, aunque por contra presentan la ventaja de ocupar menor espacio en planta. Una tercera alternativa es la elevación por skip, que transporta el árido mediante ciclos de carga, y presenta una alternativa intermedia en lo referente a ocupación de espacio entre la cinta y el elevador de cangilones.

2.1.4.4 Silos de cemento. Es el elemento de almacenamiento del cemento y del filler. Sus capacidades van desde los 30 a los 1.000 m³. Incorporan sistemas de filtrado de cemento, válvulas de seguridad de sobrepresión, sistemas de niveles de cemento y sistemas fluidificadores, para evitar la aparición de bóvedas en la masa de cemento almacenado. La extracción del cemento, se realiza mediante alimentadores alveolares o directamente por gravedad.

2.1.4.5 Transportadores de cemento. El método más utilizado es el transportador de tornillo sinfín.

2.1.4.6 Sistema de pesaje de cemento. Se utiliza báscula o tolva pesadora con células de carga incorporadas.

2.1.4.7 Sistema de pesaje de agua. Se utiliza báscula o tolva pesadora con células de carga incorporadas. Como alternativa más económica puede utilizarse un contador de agua, que realiza una medición volumétrica.

2.1.4.8 Amasadora. Utilizada en las plantas de hormigón amasado. Dependiendo del tipo de hormigón a producir, de la viscosidad del mismo, del nivel de homogeneización deseado, del tamaño de los áridos, se utilizará un tipo u otro de amasadora de las disponibles en el mercado. Los principales tipos de amasadoras son: de doble eje horizontal, de eje vertical, planetaria, de tambor y continua.

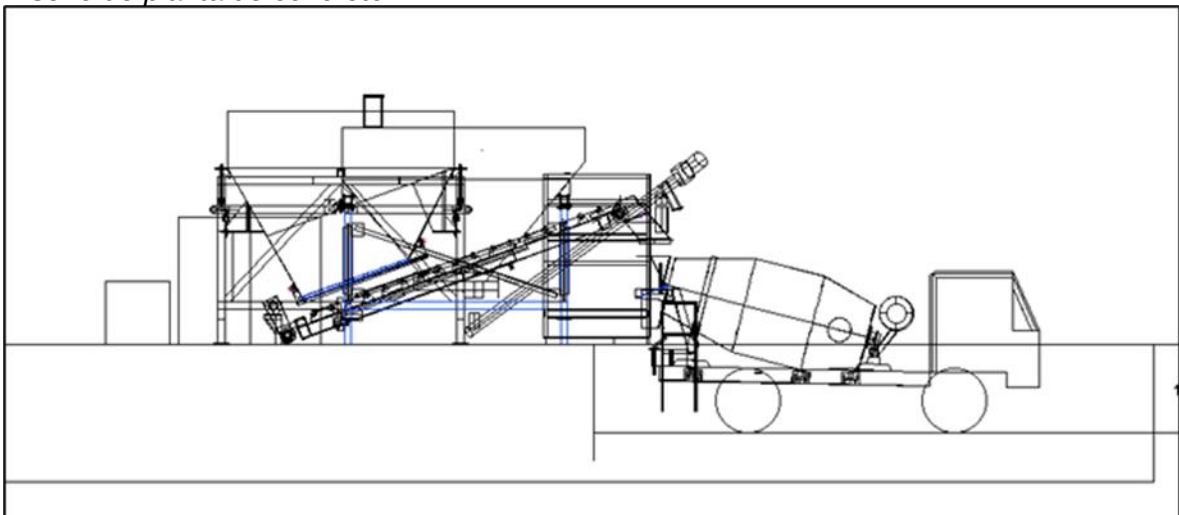
2.1.4.9 Sistema de control. Las plantas de hormigón son instalaciones completamente automatizadas, con sistemas integrados de control de peso y producciones. El gobierno de los elementos de la planta se realiza mediante sistemas PLC o mediante microprocesadores.

Existen otros elementos más o menos utilizados en las plantas de concreto, como pueden ser los sistemas de dosificación de aditivos, sistema de dosificación de fibras, sistemas neumáticos de carga de cemento, etc... Su incorporación o no dependerá de cada planta y del tipo de concreto a fabricar. Como se muestra en la Figura 6.

(Fuente. Handbook)

Figura 6

Diseño de planta de concreto



Fuente: Unidad Minera Catalina Huanca

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Shotcrete

El shotcrete es un concreto diseñado para el soporte de una excavación en un túnel o en una mina , el concreto contiene arena, cemento, agua, fibra, aditivos superplastificantes y acelerantes de fragua, todos estos componentes realizan una mezcla con una dosificación de diseño, una vez realizada toda esa mezcla se convierte en concreto o mortero y esto será bombeado con un equipo robot Alpha 2.0 utilizando aire a presión para que el concreto salga a una velocidad alta por la boquilla y este concreto se adhiera a la superficie de la roca.

2.2.2 Aditivo

Son aditivos reductores permite disminuir la cantidad de agua sin modificar su consistencia de un determinado hormigón ya que por natural tiene la humedad, esto incrementa el slump.

2.2.3 Slump

La prueba de asentamiento del concreto mide la consistencia del concreto fresco antes de fraguar. Se realiza para verificar la viabilidad del concreto recién hecho y, por lo tanto, la facilidad con que fluye el concreto.

2.2.4 Resistencia.

La resistencia a la compresión es aquella muestra que se somete a una fuerza ya sea uniaxial o triaxial que requiere un determinado tipo de concreto la podemos determinar de la siguiente forma ($f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) así como el ejemplo se determina la resistencia el cual debe alcanzar a los 28 días de su preparación.

2.2.5 Adherencia

Es aquel que se impregna el shotcrete proyectado neumáticamente a través de una boquilla a la superficie de la roca no teniendo impurezas de polvo

2.2.6 Acelerante

Aditivo que está diseñado para para la aceleración de fragua en el concreto y alcanzar altas resistencias a temprana edad.

2.2.7 Boquilla

Lugar por donde sale el shotcrete que es proyectado neumáticamente.

2.2.8 Arena

Hormigón con material fino, grueso con humedad propia; es importante para el preparado del shotcrete.

2.2.9 Capa

Incremento de espesor con varias pasadas de shotcrete lanzada.

2.2.10 Rebote

Desperdicio del shotcrete al ser lanzado sobre la superficie y esta cae lejos.

2.2.11 Normativa

Cumplir con las normativas ambientales y de seguridad aplicables.

2.2.12 Cemento

Producto fabricado con materias primas inertes (rocas calizas, areniscas y arcilla) además contiene calcio, sílice aluminio y hierro. Es un polvo fino que al mezclarse con agua se compacta y adquiere características resistentes y adherentes.

2.2.13 Agregados

También llamados son arena y ocupan el 75% del volumen de la mezcla aproximadamente. Se obtiene por la selección y clasificación de materia primas 28 naturales o que proceden de machaqueo o por la mezcla de ambos.

2.2.14 Retardadores

El uso de este material es circunscrito Su uso es muy limitado y en zonas de climas calurosos su empleo puede evitar la presencia de juntas frías en capas sucesivas, obteniéndose así propiedades impermeables.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Recolección de datos

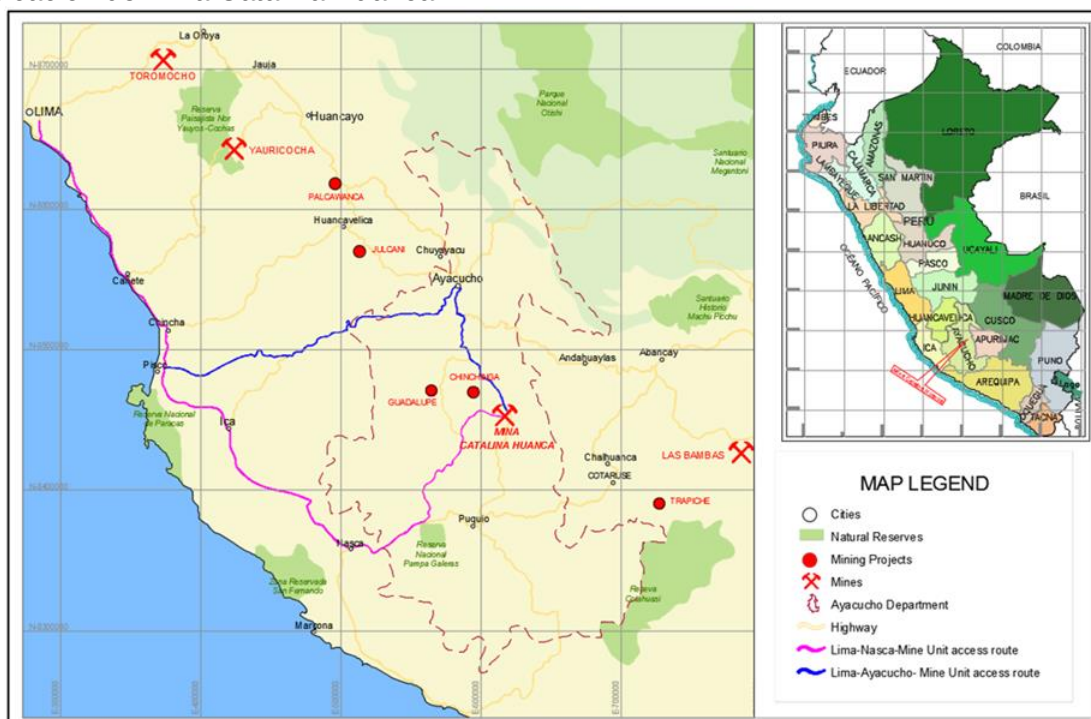
3.1.1 Unidad de estudio

Grupo TRAFIGURA – Unidad Minera: Catalina Huanca

Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C. opera la Unidad Minera Catalina Huanca, que abarca 5,400 hectáreas en los distritos ayacuchanos de Canaria y Apongo, a una altitud promedio de 3,400 metros sobre el nivel del mar. La empresa explota una mina subterránea polimetálica y la planta de beneficio San Jerónimo, con una capacidad de producción de 1,600 toneladas métricas diarias (TMD).

Figura 7

Ubicación de mina Catalina Huanca



Fuente: Unidad Minera Catalina Huanca

3.1.1.1 Accesibilidad y relieve. A la unidad minera se puede acceder a través de dos rutas: la primera y más usada es la ruta Lima-Nazca-Pampa Galeras-mina, con una longitud total de 715 km; y la segunda es la ruta Lima-Pisco-Ayacucho-Cangallo-mina, con una longitud total de 1,022 km. La Mina y alrededores presentan un relieve moderado, con

cumbres agrestes y profundos valles en “V” como consecuencia de la intensa erosión fluvial, con elevaciones de hasta 4,000 a 4,500 m.s.n.m.

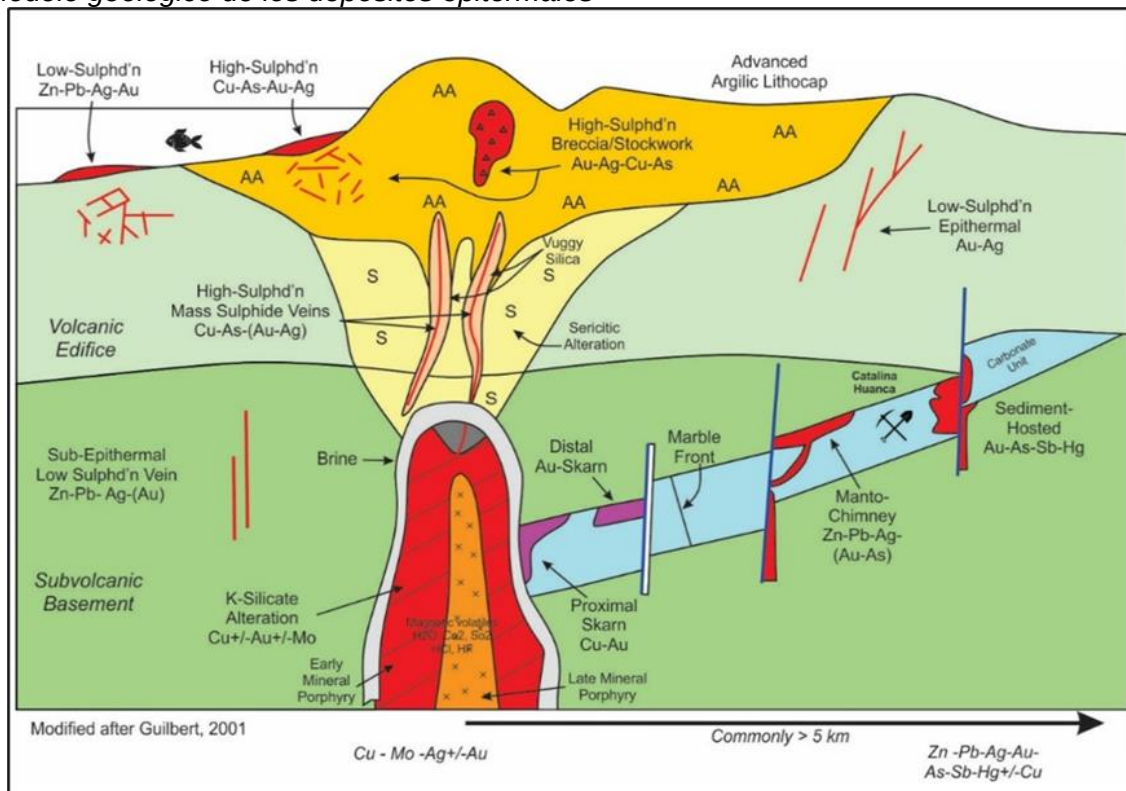
3.1.1.2 Tipo de yacimiento. Catalina Huanca es un yacimiento hidrotermal epitermal con fallas rellenas, caracterizado por vetas, cuerpos, mantos de reemplazo y stockwork.

En los niveles más profundos, se encuentran minerales como granates, ilvaita, diópsido y pyroxmangita, indicativos de reemplazo de carbonatos a temperaturas superiores a 400 °C, lo cual es típico de un ambiente skarn.

La falla principal (N 55° E, buzamiento 83° SE) controla un sistema de vetas en una estructura sigmoide. En el extremo NE, las vetas convergen, mientras que en el extremo SO se abren en sigmoides y fallas de cabalgamiento cerca del contacto con las calizas Pucará. El contacto entre el intrusivo riolítico y las calizas Pucará alberga fallas de mediana magnitud que favorecen la mineralización tipo stockwork con formación intensa de vetas.

Figura 8

Modelo geológico de los depósitos epitermales



Fuente: Unidad Minera Catalina Huanca

Según el informe del Dr. Antoine de Haller (septiembre 2023), la mineralización está controlada por una estructura en pull-apart con vetas feeders. La veta Principal (NE) y sus ramales E-W (Piedad, Luceros, Amanda 3 Techos y Vilma) presentan movimiento dextral. El potencial exploratorio sigue abierto al SO y posiblemente al O, pero es poco probable una extensión hacia el E.

3.1.1.3 Mineralización. La edad de la mineralización de Catalina Huanca está todavía desconocida, pero es por lo menos más joven que la edad de la Ignimbrita Superior, a 9 Ma. Como ya planteado en informes anteriores (de Haller 2021b, 2019, 2018), las aguas salinas presentes en profundidad en la mina corresponden a los remanentes de los fluidos hidrotermales magmáticos quienes depositaron la mineralización de Zn-Pb. El sistema hidrotermal está ahora apagado. Es difícil almacenar este tipo de fluidos por mucho tiempo sin tener una dilución/mezcla significativa con otros fluidos, inclusive en rocas muy impermeables.

Por esta razón, es probable que la mineralización y la actividad magmática asociada sean relativamente joven, posiblemente de edad Cuaternaria <2.6 Ma. (Fuente: Catalina Huanca Informe Final 2021 – Dr. Antonie de Haller.)

El proceso de mineralización se relaciona estrictamente con el ciclo orogénico andino que produce mineralización polimetálica (Cu, Zn, Pb, Ag).

El ensamble mineralógico está constituido por galena, esfalerita, calcopirita, cobre gris, enargita y ocasional marmatita entre los minerales mena, y fluorita, calcita rodocrosita, pirita, baritina, hematita y cuarzo como minerales de ganga.

En Catalina Huanca se distinguen cuatro tipos de mineralización:

3.1.1.3.1 Vetos. Constituida por Principal, Lucero, Piedad, Rocío, Vilma y Amanda 3 Techo. Esta mineralización consta de fracturas rellenadas con minerales metálicos y con anchos variables, desde centímetros hasta 5 m.

Su mineralogía es simple con ensambles de galena argentífera, esfalerita y calcopirita a profundidad. Los minerales de ganga son los siguientes: pirita, cuarzo, fluorita, rodocrosita y carbonatos.

3.1.1.3.2 Mantos. Se desarrollan en calizas como las Amandas; por ejemplo, en el cuerpo estratificado de Amanda 5, se desarrollan en las calizas de Pucará, asociados con diques volcánicos dacíticos, andesíticos, con esfalerita galena y minerales ganga como pirita rodocrosita rodonita calcita ankerita y siderita.

3.1.1.3.3 Cuerpos. Se desarrollan en las calizas, subvolcánicos, areniscas y conglomerados polimícticos con intercalación de limolita de la formación Mitu y en el contacto entre calizas y conglomerados. Se denominan Doña María, Doña María Piso - Marielas, Melissa, Silvia, Amanda 3 Techo Oeste, Luceros, Nancy1, Gloria y Milet. Su mineralogía consta principalmente de esfalerita, galena y gangas compuestas por pirita, calcita, fluorita, rodocrosita y cristales de especularita – hematita, con una alteración propilítica retrógrada de débil a moderada en profundidad, lo cual sugiere una posible presencia de skarn.

3.1.1.3.4 Stockwork. Se desarrolla en el stock intrusivo riolítico y está compuesto por intenso fracturamiento relleno con galena, esfalerita y trazas de calcopirita, con gangas de pirita y hematita–manganeso cerca de la superficie.

3.1.1.4 Estructuras mineralizadas. Entre las estructuras mineralizadas más importantes debemos destacar las siguientes:

3.1.1.4.1 Vetas principales.

Veta Principal:

Es la estructura más importante y continua, con espesores de 0.30 a 5.00 m y una longitud mineralizada de 600 m. Su mineralización está compuesta principalmente por Pb y Zn, con galena, esfalerita y fluorita. En niveles superiores se encuentra galena argentífera y blenda rubia, mientras que en los inferiores predominan marmatita y calcopirita con contenido aurífero.

Veta Vilma:

Ramal de la veta principal sin afloramiento en superficie, con una longitud de 600 m y control estructural por una falla. Presenta mayor concentración de galena sobre la esfalerita, junto con fluorita, calcopirita y hematita.

Veta Piedad:

Ramal importante de la Veta Principal con 680 m de longitud, compuesta por galena, blenda, fluorita y pirita. Su continuidad ha sido identificada en varios feeders que aportan mineralización a cuerpos como Mariela y Silvia.

Veta Luz:

Se ha identificado en 110 m y actúa como un alimentador de la estructura Amanda 5. Su mineralización está compuesta principalmente por esfalerita y galena.

Veta Lucero:

Extendiéndose por 950 m, se caracteriza por altas concentraciones de galena, esfalerita y pirita, con múltiples ramificaciones.

Presenta un plunge de mineralización hacia el suroeste, donde su intensidad aumenta.

Veta Amanda 3 Techo:

Ubicada entre 2,600 y 3,150 m.s.n.m., con una longitud de 700 m y mineralización de esfalerita, marmatita y galena. En algunos sectores presenta una veta de calcita con escaso contenido de zinc.

3.1.1.4.2 Cuerpos mineralizados**Cuerpo Nancy:**

Se desarrolla en conglomerados calcáreos y calizas del Pucará, con mineralización de galena, esfalerita y calcopirita. Está relacionado estructuralmente con las fallas de la veta Principal y Lucero.

Cuerpos Doña María:

Se encuentran en el conglomerado Mitu, con mineralización subhorizontal y un posible origen relacionado con Skarn. Se han identificado 10 estructuras hasta diciembre de 2024.

Cuerpos Doña María Piso:

Similar a Doña María, pero en niveles más bajos (2,750 - 2,850 m.s.n.m.), con sulfuros de Zn y Pb. Algunas zonas tienen leyes superiores a las estimadas.

Cuerpos Marielas:

Ubicados entre 2,950 y 3,050 m.s.n.m., con mineralización de esfalerita, marmatita y galena, con algunas zonas de Au. Se relacionan con los feeders de Amanda 3 Techo y Lucero.

Cuerpo Melissa:

Se encuentra entre 2,600 y 2,800 m.s.n.m., emplazado en arenisca y subvolcánico. Su mineral principal es la marmatita, con leyes de hasta 12.85 % Zn y potencias de 3 a 40 m.

Cuerpo Gloria:

Ubicado entre 2,300 y 2,690 m.s.n.m., presenta mineralización de marmatita con disseminaciones de pirita cúbica, magnetita y hematita.

Cuerpos Silvia:

Con inclinación subhorizontal de 5 a 15 grados, emplazados en el contacto entre subvolcánico y conglomerado. Predomina la mineralización de zinc con gangas de pirita y especularita.

Cuerpo Milet:

Localizado en el Nv. 3,050, con mineralización de esfalerita, marmatita y galena, con leyes entre 5.00 % y 12.00 % Zn y de 0.50 % a 3.00 % Pb.

3.1.1.4.3 Otras estructuras.**Mantos Amandas:**

Estructuras de reemplazamiento en calizas del Metalotecto Pucará, asociadas a fallas y diques riolíticos. Se extienden por 1,600 m, con un potencial económico significativo.

Stock work Keyko:

Brecha mineralizada con vetillas de galena, esfalerita y plata, correlacionada estructuralmente con la Veta Principal en profundidad y ramificándose hacia el suroeste.

3.1.2 Información del sistema actual

En esta sección se recolectará los valores de cubicaje de shotcrete que la planta fuera de mina logra abastecer a los distintos frentes, para tener una línea base y más adelante evaluar los posibles escenarios.

Tabla 2

Suma de shotcrete (m3) por tipo de labor

AÑO	MES	TIPO DE LABOR							
		Avance	Exploración	Rotura	Rehabilitación	Obras civiles	Arcos noruegos	Ventilación	desechado
2024	OCTUBRE	1,906	82	191	100	52			
	NOVIEMBRE	1,726	108	29	90	84	74		
	DICIEMBRE	1,406	172	79	272	39	60		
2025	ENERO	1,321	134	289	153	27			8
	FEBRERO	1,267	58	284	138	63		6	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3

Suma de shotcrete (m3) total

AÑO	MES	TOTAL
2024	OCTUBRE	2,331
	NOVIEMBRE	2,111
	DICIEMBRE	2,027
2025	ENERO	1,932
	FEBRERO	1,814

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4

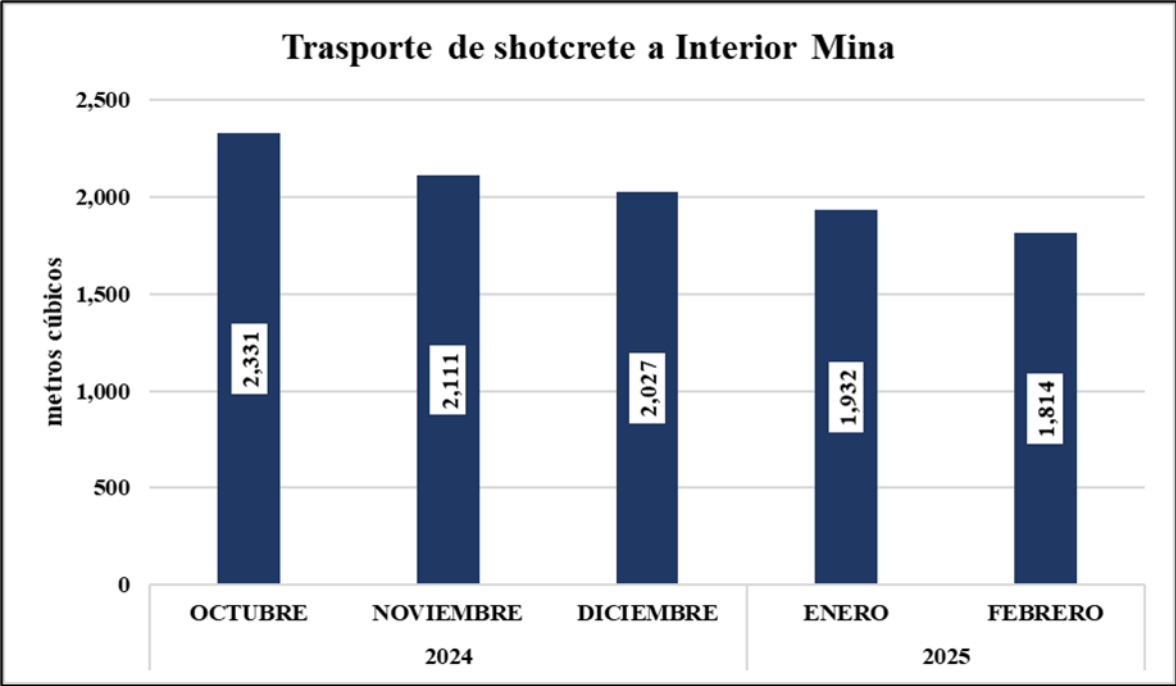
Porcentaje de cumplimiento de producción de shotcrete (m3)

AÑO	MES	EJECUTADO (M3)	BUDGET (M3)	% CUMPLIMIENTO
2024	OCTUBRE	2179	1954	112%
	NOVIEMBRE	1863	2180	85%
	DICIEMBRE	1657	2333	71%
2025	ENERO	1744	2428	72%
	FEBRERO	1608	2368	68%

Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Transporte de shotcrete a interior mina



Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior podemos concluir que debido a las mayores distancias para transportar el shotcrete a interior mina, la producción de este tiende a la baja

Para poder determinar el tiempo promedio por ciclo de cada equipo que interviene en el lanzado de shotcrete, se analizara los tiempos de los últimos tres meses del 2024.

Los equipos a analizar serán dos Mixers (Mixkrets Nª01 y Mixkrets Nª02) y dos robots (Shotcrete Tornado Nª04 y Tornado Nª05).

Tabla 5

Ciclo de equipo Mixkret Nª01

Fecha	Suma de DHM	# Labores	Ciclo (Hr)	Fecha	Suma de DHM	# Labores	Ciclo (Hr)	Fecha	Suma de DHM	# Labores	Ciclo (Hr)
1-Oct	10	3	3.3	1-Nov	0	0	0	1-Dic	7	2	3.5
2-Oct	7	2	3.5	2-Nov	18	6	3.0	2-Dic	18	5	3.6
3-Oct	9	3	3.0	3-Nov	18	6	3.0	3-Dic	13	4	3.3
4-Oct	10	3	3.3	4-Nov	11	5	2.2	4-Dic	16	5	3.2
5-Oct	16	5	3.2	5-Nov	0	0	0	5-Dic	4	2	2.0
6-Oct	19	6	3.2	6-Nov	12	4	3.0	6-Dic	16	5	3.2
7-Oct	19	6	3.2	7-Nov	16	5	3.2	7-Dic	20	6	3.3
8-Oct	19	5	3.8	8-Nov	11	3	3.7	8-Dic	16	5	3.2
9-Oct	17	6	2.8	9-Nov	17	5	3.4	9-Dic	16	5	3.2
10-Oct	18	6	3.0	10-Nov	12	4	3.0	10-Dic	15	5	3.0
11-Oct	17	5	3.4	11-Nov	16	5	3.2	11-Dic	17	5	3.4
12-Oct	18	6	3.0	12-Nov	18	6	3.0	12-Dic	8	3	2.7
13-Oct	8	2	4.0	13-Nov	15	5	3.0	13-Dic	0	0	0
14-Oct	18	6	3.0	14-Nov	9	3	3.0	14-Dic	8	3	2.7
15-Oct	19	6	3.2	15-Nov	18	6	3.0	15-Dic	16	5	3.2
16-Oct	17	6	2.8	16-Nov	18	6	3.0	16-Dic	8	3	2.7
17-Oct	17	5	3.4	17-Nov	19	6	3.2	17-Dic	9	3	3.0
18-Oct	19	6	3.2	18-Nov	8	3	2.7	18-Dic	12	4	3.0
19-Oct	11	3	3.7	19-Nov	18	6	3.0	19-Dic	16	5	3.2
20-Oct	19	6	3.2	20-Nov	16	6	2.7	20-Dic	13	4	3.3
21-Oct	17	5	3.4	21-Nov	4	1	4.0	21-Dic	11	3	3.7
22-Oct	18	6	3.0	22-Nov	9	3	3.0	22-Dic	17	5	3.4
23-Oct	17	5	3.4	23-Nov	0	0	0	23-Dic	15	5	3.0
24-Oct	17	6	2.8	24-Nov	14	5	2.8	24-Dic	14	5	2.8
25-Oct	18	6	3.0	25-Nov	17	6	2.8	25-Dic	15	5	3.0
26-Oct	17	6	2.8	26-Nov	16	6	2.7	26-Dic	10	3	3.3
27-Oct	18	6	3.0	27-Nov	16	6	2.7	27-Dic	13	3	4.3
28-Oct	17	8	2.1	28-Nov	16	6	2.7	28-Dic	16	5	3.2
29-Oct	19	6	3.2	29-Nov	19	6	3.2	29-Dic	15	5	3.0
30-Oct	0	0	0	30-Nov	17	7	2.4	30-Dic	14	5	2.8
31-Oct	0	0	0					31-Dic	16	5	3.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6

Ciclo de equipo Mixkret Nª02

Fecha	Suma de DHM	# Labores	Ciclo (Hr)	Fecha	Suma de DHM	# Labores	Ciclo (Hr)	Fecha	Suma de DHM	# Labores	Ciclo (Hr)
1-Oct	17	6	2.8	1-Nov	17	6	2.8	1-Dic	5	2	2.5
2-Oct	15	6	2.5	2-Nov	15	5	3.0	2-Dic	17	6	2.8
3-Oct	17	6	2.8	3-Nov	16	5	3.2	3-Dic	15	5	3.0
4-Oct	18	6	3.0	4-Nov	14	4	3.5	4-Dic	15	4	3.8
5-Oct	17	6	2.8	5-Nov	16	4	4.0	5-Dic	9	3	3.0
6-Oct	17	6	2.8	6-Nov	17	6	2.8	6-Dic	18	6	3.0
7-Oct	18	5	3.6	7-Nov	18	6	3.0	7-Dic	17	7	2.4
8-Oct	18	6	3.0	8-Nov	11	4	2.8	8-Dic	15	5	3.0
9-Oct	13	4	3.3	9-Nov	14	6	2.3	9-Dic	12	4	3.0
10-Oct	18	6	3.0	10-Nov	16	6	2.7	10-Dic	14	5	2.8
11-Oct	16	6	2.7	11-Nov	8	2	4.0	11-Dic	13	4	3.3
12-Oct	16	6	2.7	12-Nov	15	6	2.5	12-Dic	17	6	2.8
13-Oct	0			13-Nov	14	5	2.8	13-Dic	18	6	3.0
14-Oct	17	6	2.8	14-Nov	17	7	2.4	14-Dic	13	5	2.6
15-Oct	16	5	3.2	15-Nov	20	5	4.0	15-Dic	9	3	3.0
16-Oct	16	6	2.7	16-Nov	14	7	2.0	16-Dic	17	6	2.8
17-Oct	16	5	3.2	17-Nov	16	6	2.7	17-Dic	17	6	2.8
18-Oct	14	4	3.5	18-Nov	6	0	0	18-Dic	15	6	2.5
19-Oct	16	6	2.7	19-Nov	17	6	2.8	19-Dic	17	5	3.4
20-Oct	17	6	2.8	20-Nov	16	6	2.7	20-Dic	13	4	3.3
21-Oct	17	6	2.8	21-Nov	14	5	2.8	21-Dic	6	2	3.0
22-Oct	18	7	2.6	22-Nov	15	5	3.0	22-Dic	15	5	3.0
23-Oct	14	4	3.5	23-Nov	16	7	2.3	23-Dic	17	6	2.8
24-Oct	16	5	3.2	24-Nov	15	5	3.0	24-Dic	18	6	3.0
25-Oct	14	5	2.8	25-Nov	8	3	2.7	25-Dic	18	6	3.0
26-Oct	17	6	2.8	26-Nov	3	0	0	26-Dic	9	3	3.0
27-Oct	7	3	2.3	27-Nov	16	6	2.7	27-Dic	16	6	2.7
28-Oct	16	5	3.2	28-Nov	6	2	3.0	28-Dic	18	6	3.0
29-Oct	7	3	2.3	29-Nov	0	0	0	29-Dic	7	3	2.3
30-Oct	14	4	3.5	30-Nov	0	0	0	30-Dic	21	7	3.0
31-Oct	16	6	2.7					31-Dic	16	6	2.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

Ciclo de equipo Shotcrete Tornado Nª04

Fecha	Suma de DHM	# Labores	Ciclo (Hr)	Fecha	Suma de DHM	# Labores	Ciclo (Hr)	Fecha	Suma de DHM	# Labores	Ciclo (Hr)
1-Oct	16	6	2.7	1-Nov	14	5	2.8	1-Dic	19	7	2.7
2-Oct	17	6	2.8	2-Nov	15	5	3.0	2-Dic	10	3	3.3
3-Oct	16	6	2.7	3-Nov	16	5	3.2	3-Dic	15	6	2.5
4-Oct	8	3	2.7	4-Nov	16	6	2.7	4-Dic	9	3	3.0
5-Oct	0	0	0	5-Nov	17	6	2.8	5-Dic	0	0	0
6-Oct	15	6	2.5	6-Nov	15	5	3.0	6-Dic	18	6	3.0
7-Oct	18	7	2.6	7-Nov	8	3	2.7	7-Dic	0	0	0
8-Oct	17	6	2.8	8-Nov	14	5	2.8	8-Dic	0	0	0
9-Oct	13	5	2.6	9-Nov	16	6	2.7	9-Dic	0	0	0
10-Oct	7	3	2.3	10-Nov	8	3	2.7	10-Dic	14	5	2.8
11-Oct	8	2	4.0	11-Nov	18	6	3.0	11-Dic	3	1	3.0
12-Oct	0	0	0	12-Nov	8	4	2.1	12-Dic	8	3	2.7
13-Oct	6	3	2.0	13-Nov	0	0	0	13-Dic	13	6	2.2
14-Oct	8	3	2.7	14-Nov	16	6	2.6	14-Dic	12	5	2.4
15-Oct	15	7	2.1	15-Nov	15	5	3.0	15-Dic	14	6	2.3
16-Oct	15	6	2.5	16-Nov	0	0	0	16-Dic	14	5	2.8
17-Oct	14	5	2.8	17-Nov	0	0	0	17-Dic	14	6	2.3
18-Oct	15	5	3.0	18-Nov	10	3	3.3	18-Dic	16	5	3.2
19-Oct	16	5	3.2	19-Nov	17	6	2.8	19-Dic	8	3	2.7
20-Oct	17	6	2.8	20-Nov	16	5	3.2	20-Dic	8	2	4.0
21-Oct	15	6	2.5	21-Nov	16	6	2.7	21-Dic	12	5	2.4
22-Oct	19	6	3.2	22-Nov	18	8	2.3	22-Dic	13	4	3.3
23-Oct	8	3	2.7	23-Nov	16	5	3.2	23-Dic	10	3	3.3
24-Oct	0	0	0	24-Nov	0	0	0	24-Dic	12	4	3.0
25-Oct	15	5	3.0	25-Nov	14	7	2.0	25-Dic	14	4	3.5
26-Oct	17	6	2.8	26-Nov	16	6	2.7	26-Dic	12	4	3.0
27-Oct	0	0	0	27-Nov	16	6	2.6	27-Dic	12	4	3.0
28-Oct	8	2	4.0	28-Nov	17	5	3.5	28-Dic	12	4	3.0
29-Oct	8	3	2.7	29-Nov	17	6	2.9	29-Dic	15	7	2.1
30-Oct	12	4	3.0	30-Nov	16	6	2.6	30-Dic	14	4	3.5
31-Oct	17	7	2.4					31-Dic	14	4	3.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

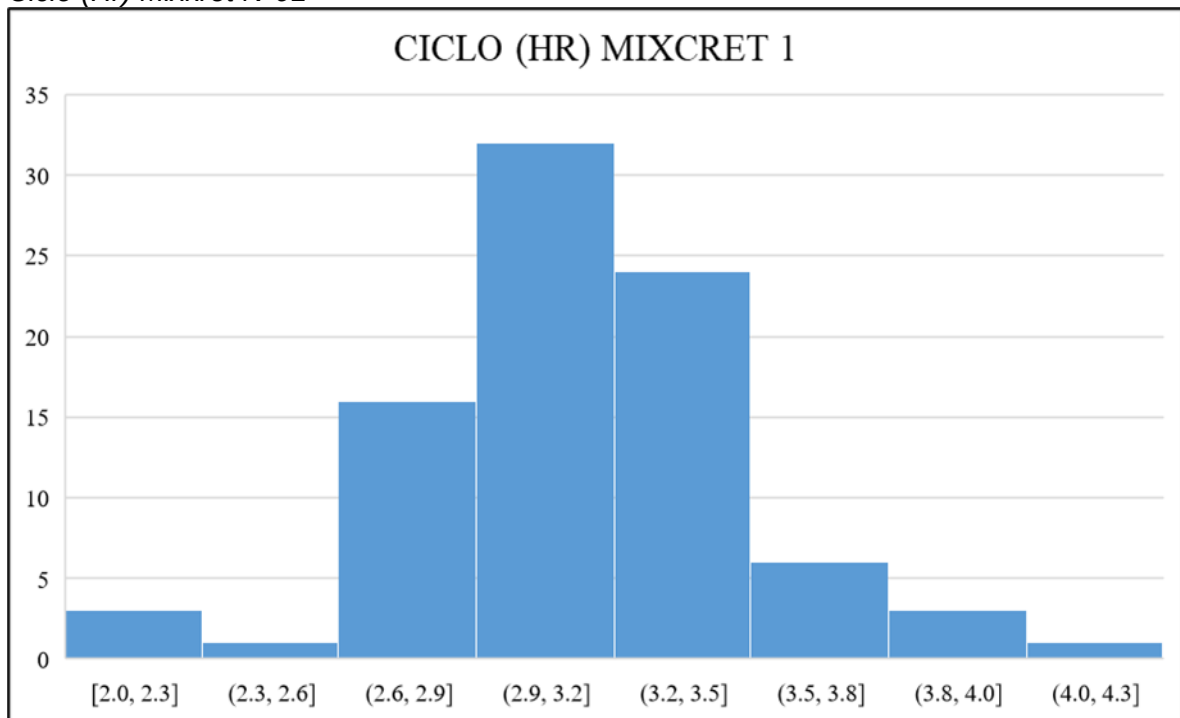
Ciclo de equipo Shotcrete Tornado Nª05

Fecha	Suma de DHM	# Labores	Ciclo (Hr)	Fecha	Suma de DHM	# Labores	Ciclo (Hr)	Fecha	Suma de DHM	# Labores	Ciclo (Hr)
1-Oct	8	3	2.7	1-Nov	12	4	3.0	1-Dic	15	6	2.5
2-Oct	8	3	2.7	2-Nov	0	0	0	2-Dic	6	2	3.0
3-Oct	8	4	2.0	3-Nov	0	0	0	3-Dic	0	0	0
4-Oct	17	6	2.8	4-Nov	0	0	0	4-Dic	9	3	3.0
5-Oct	15	6	2.5	5-Nov	16	6	2.7	5-Dic	9	3	3.0
6-Oct	0	0	0	6-Nov	8	3	2.7	6-Dic	0	0	0
7-Oct	0	0	0	7-Nov	8	3	2.7	7-Dic	18	7	2.6
8-Oct	0	0	0	8-Nov	0	0	0	8-Dic	16	6	2.7
9-Oct	0	0	0	9-Nov	0	0	0	9-Dic	14	5	2.8
10-Oct	8	3	2.7	10-Nov	7	2	3.5	10-Dic	0	0	0
11-Oct	7	3	2.3	11-Nov	7	2	3.5	11-Dic	12	4	3.0
12-Oct	14	5	2.8	12-Nov	7	2	3.5	12-Dic	15	6	2.5
13-Oct	6	2	3.0	13-Nov	13	5	2.6	13-Dic	15	6	2.5
14-Oct	7	3	2.3	14-Nov	3	1	3.0	14-Dic	11	4	2.8
15-Oct	0	0	0	15-Nov	0	0	0	15-Dic	7	3	2.3
16-Oct	0	0	0	16-Nov	17	6	2.8	16-Dic	8	3	2.7
17-Oct	4	2	2.0	17-Nov	15	5	3.0	17-Dic	7	3	2.3
18-Oct	3	1	3.0	18-Nov	0	0	0	18-Dic	0	0	0
19-Oct	5	3	1.7	19-Nov	0	0	0	19-Dic	7	3	2.3
20-Oct	0	0	0	20-Nov	0	0	0	20-Dic	13	4	3.3
21-Oct	4	1	4.0	21-Nov	10	4	2.5	21-Dic	6	2	3.0
22-Oct	3	1	3.0	22-Nov	7	3	2.3	22-Dic	4	0	0
23-Oct	10	3	3.3	23-Nov	15	6	2.5	23-Dic	6	2	3.0
24-Oct	16	6	2.7	24-Nov	19	7	2.7	24-Dic	0	0	0
25-Oct	0	0	0	25-Nov	13	5	2.6	25-Dic	0	0	0
26-Oct	0	0	0	26-Nov	8	4	2.0	26-Dic	0	0	0
27-Oct	12	3	4.0	27-Nov	0	0	0	27-Dic	0	0	0
28-Oct	8	3	2.7	28-Nov	8	3	2.7	28-Dic	0	0	0
29-Oct	0	0	0	29-Nov	7	3	2.3	29-Dic	0	0	0
30-Oct	7	3	2.3	30-Nov	15	6	2.5	30-Dic	0	0	0
31-Oct	6	3	2.0					31-Dic	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 10

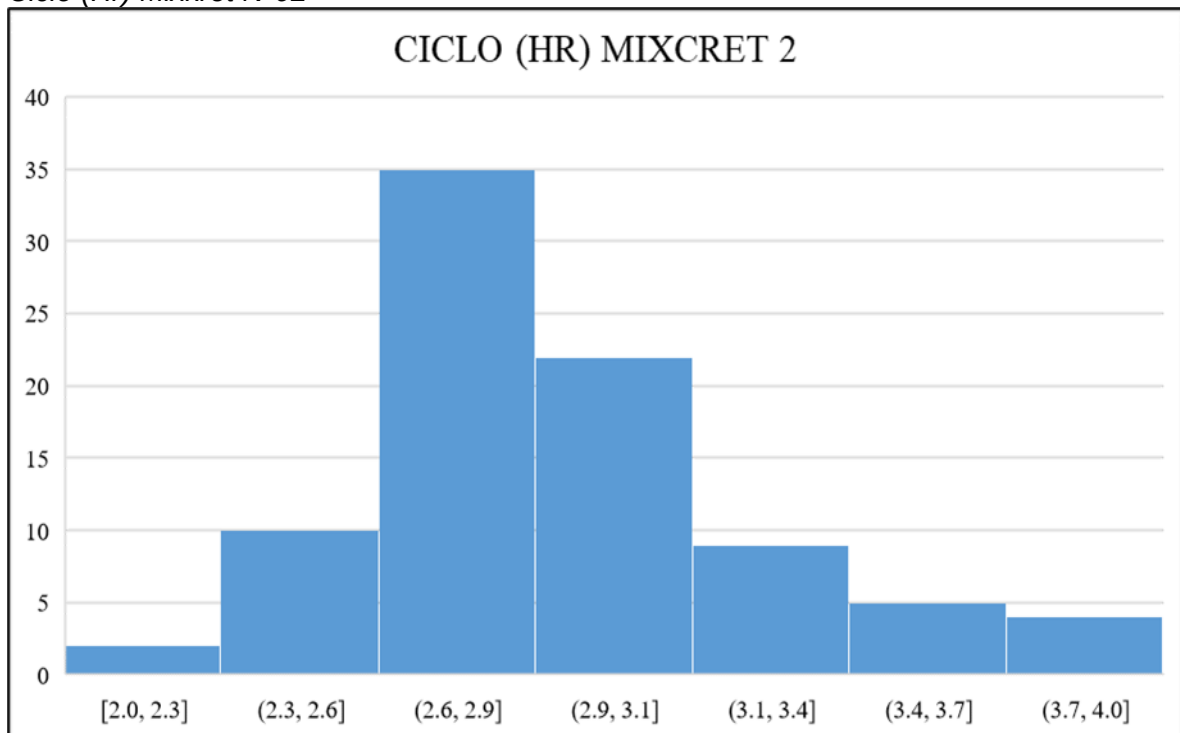
Ciclo (Hr) Mixkret N°01



Fuente: Elaboración propia

Figura 11

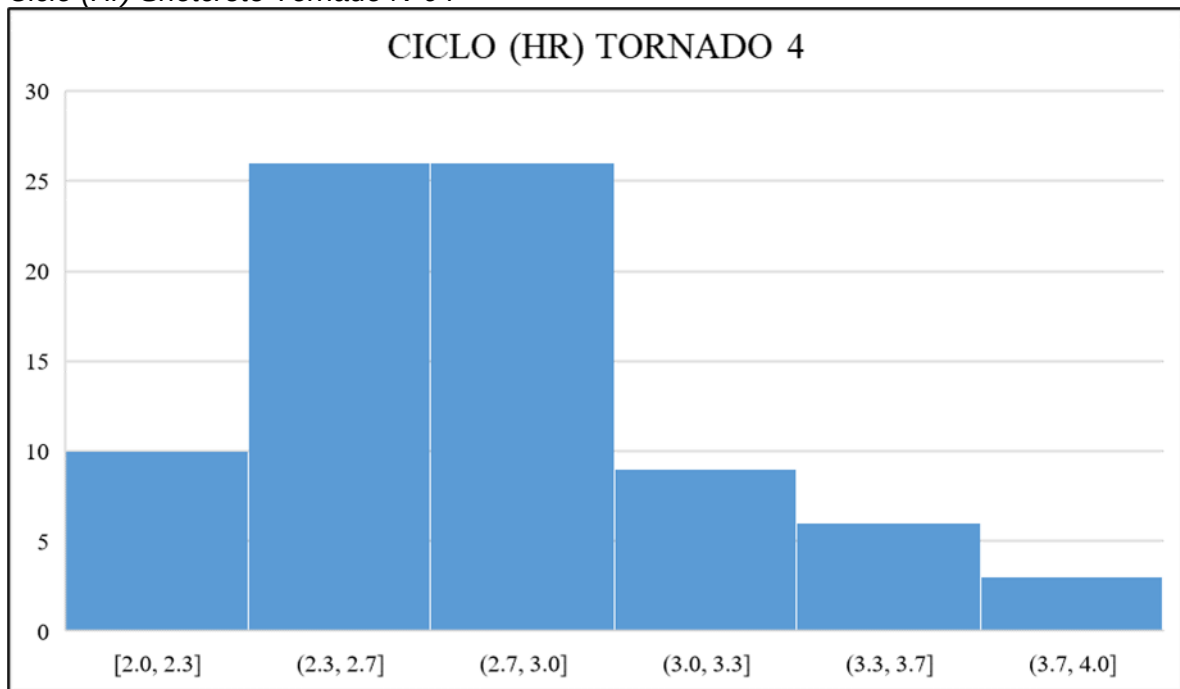
Ciclo (Hr) Mixkret N°02



Fuente: Elaboración propia

Figura 12

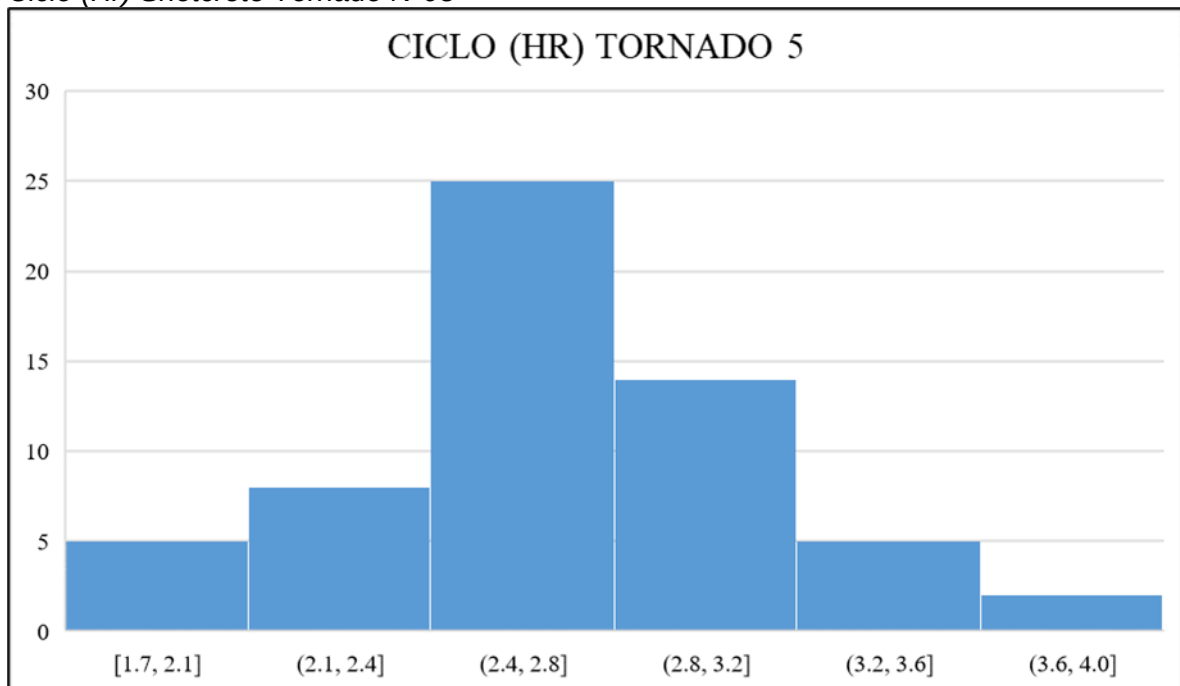
Ciclo (Hr) Shotcrete Tornado Nª04



Fuente: Elaboración propia

Figura 13

Ciclo (Hr) Shotcrete Tornado Nª05



Fuente: Elaboración propia

De las figuras anteriores podemos estandarizar que el ciclo promedio de los equipos 3.0 horas.

3.2 Procesamiento de información

Considerando la información mostradas de horas operativas e inoperativas de los equipos podemos determinar indicadores de productividad.

Considerar que en la operación se tenía hasta el mes de enero dos Mixers y dos Tornados operativos, además de un equipo en stand by por cada uno, dando un total de seis equipos. Para el mes de febrero se habilito un Mixer adicional para tratar de cumplir con el cubicaje de shotcrete planificado.

3.2.1 Disponibilidad y utilización

Tabla 9

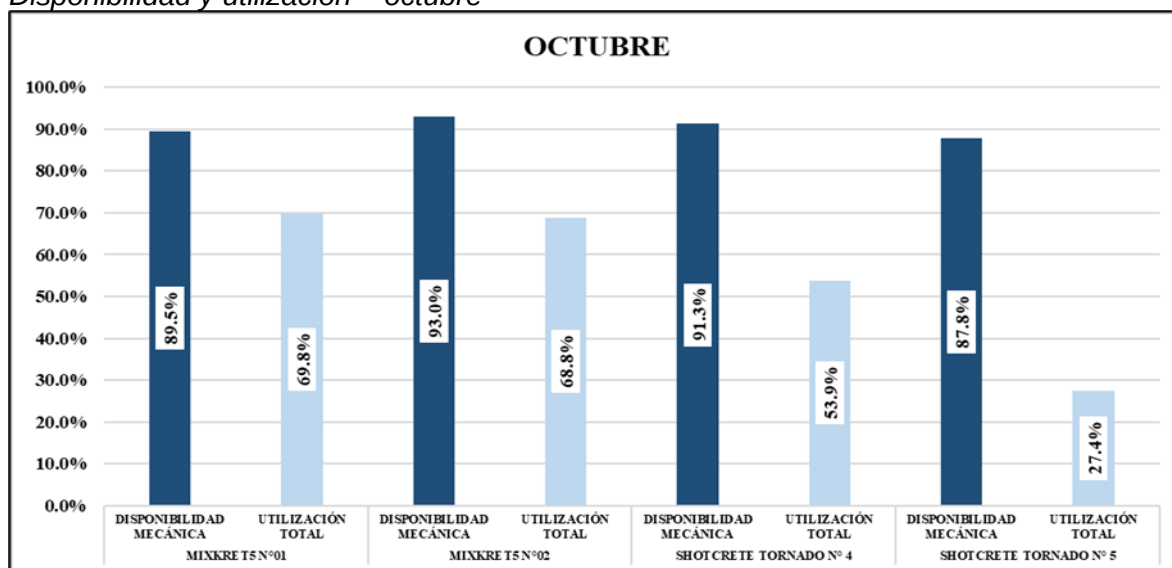
Disponibilidad y utilización – octubre

Mixkret5 N°01	
Disponibilidad mecánica	89.5%
Utilización total	69.8%
Mixkret5 N°02	
Disponibilidad mecánica	93.0%
Utilización total	68.8%
Shotcrete tornado N° 4	
Disponibilidad mecánica	91.3%
Utilización total	53.9%
Shotcrete tornado N° 5	
Disponibilidad mecánica	87.8%
Utilización total	27.4%

Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Disponibilidad y utilización – octubre



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

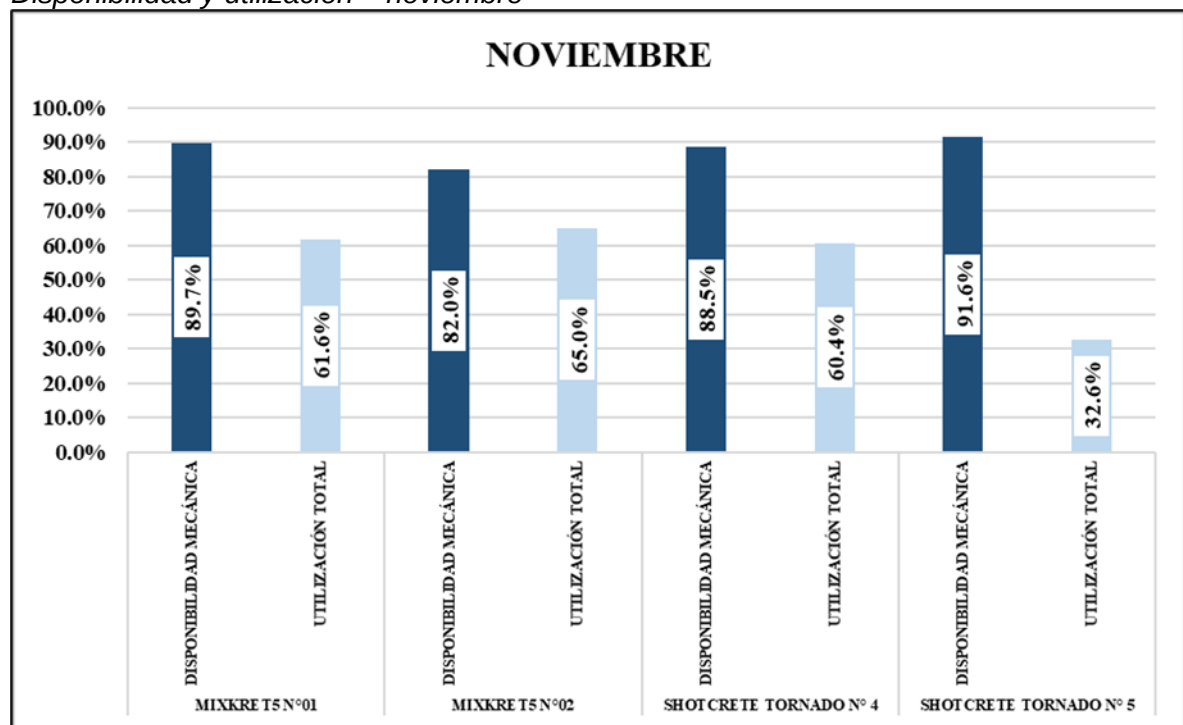
Disponibilidad y utilización – noviembre

Mixkret5 N°01	
Disponibilidad mecánica	89.7%
Utilización total	61.6%
Mixkret5 N°02	
Disponibilidad mecánica	82.0%
Utilización total	65.0%
Shotcrete tornado N° 4	
Disponibilidad mecánica	88.5%
Utilización total	60.4%
Shotcrete tornado N° 5	
Disponibilidad mecánica	91.6%
Utilización total	32.6%

Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Disponibilidad y utilización – noviembre



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

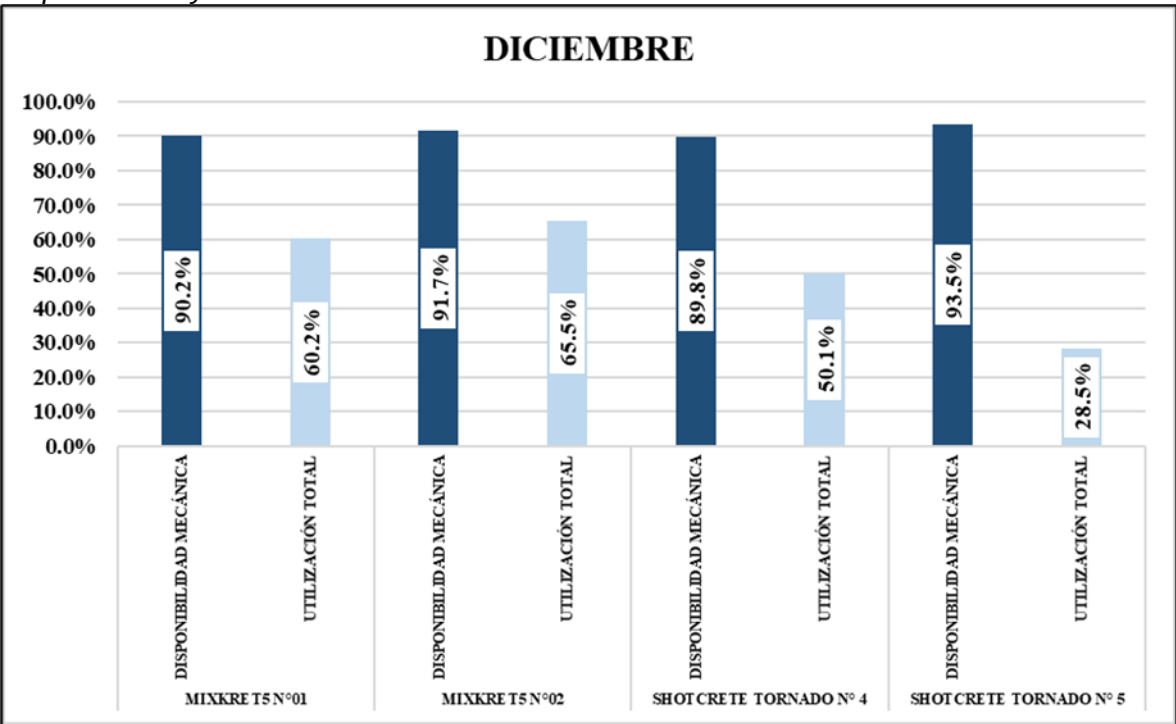
Disponibilidad y utilización – diciembre

Mixkret5 N°01	
Disponibilidad mecánica	90.2%
Utilización total	60.2%
Mixkret5 N°02	
Disponibilidad mecánica	91.7%
Utilización total	65.5%
Shotcrete tornado N° 4	
Disponibilidad mecánica	89.8%
Utilización total	50.1%
Shotcrete tornado N° 5	
Disponibilidad mecánica	93.5%
Utilización total	28.5%

Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Disponibilidad y utilización – diciembre



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

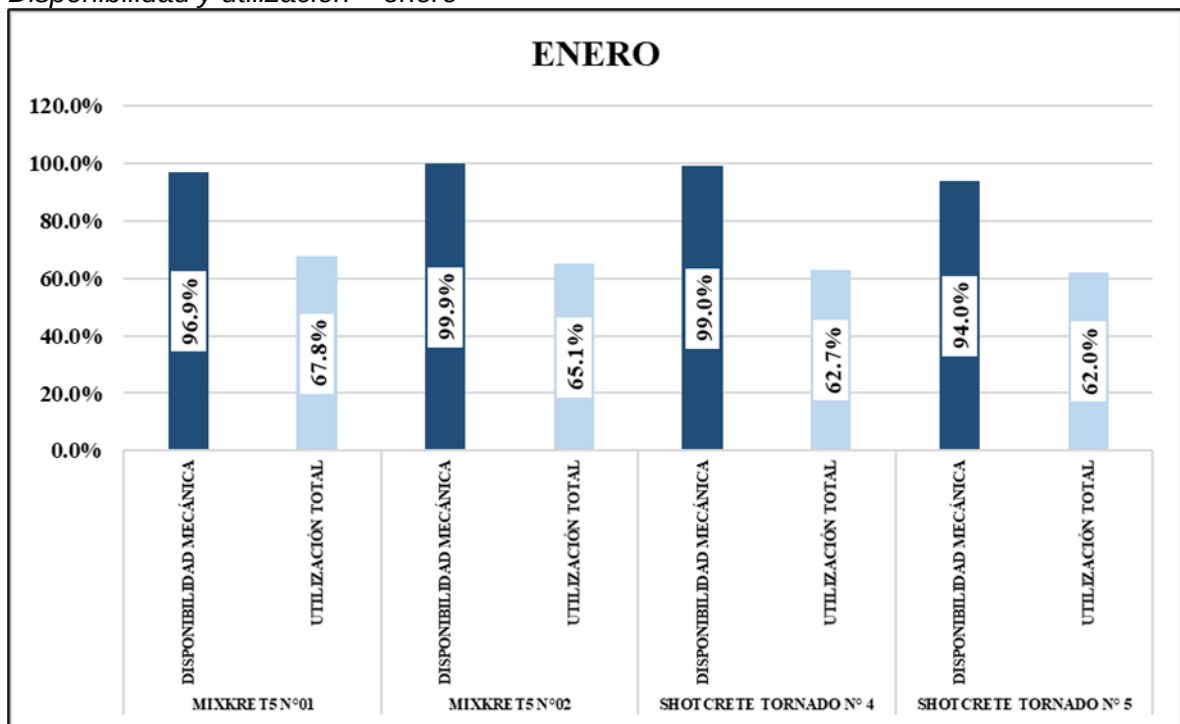
Disponibilidad y utilización – enero

Mixkret5 N°01	
Disponibilidad mecánica	96.9%
Utilización total	67.8%
Mixkret5 N°02	
Disponibilidad mecánica	99.9%
Utilización total	65.1%
Shotcrete tornado N° 4	
Disponibilidad mecánica	99.0%
Utilización total	62.7%
Shotcrete tornado N° 5	
Disponibilidad mecánica	94.0%
Utilización total	62.0%

Fuente: Elaboración propia

Figura 17

Disponibilidad y utilización – enero



Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

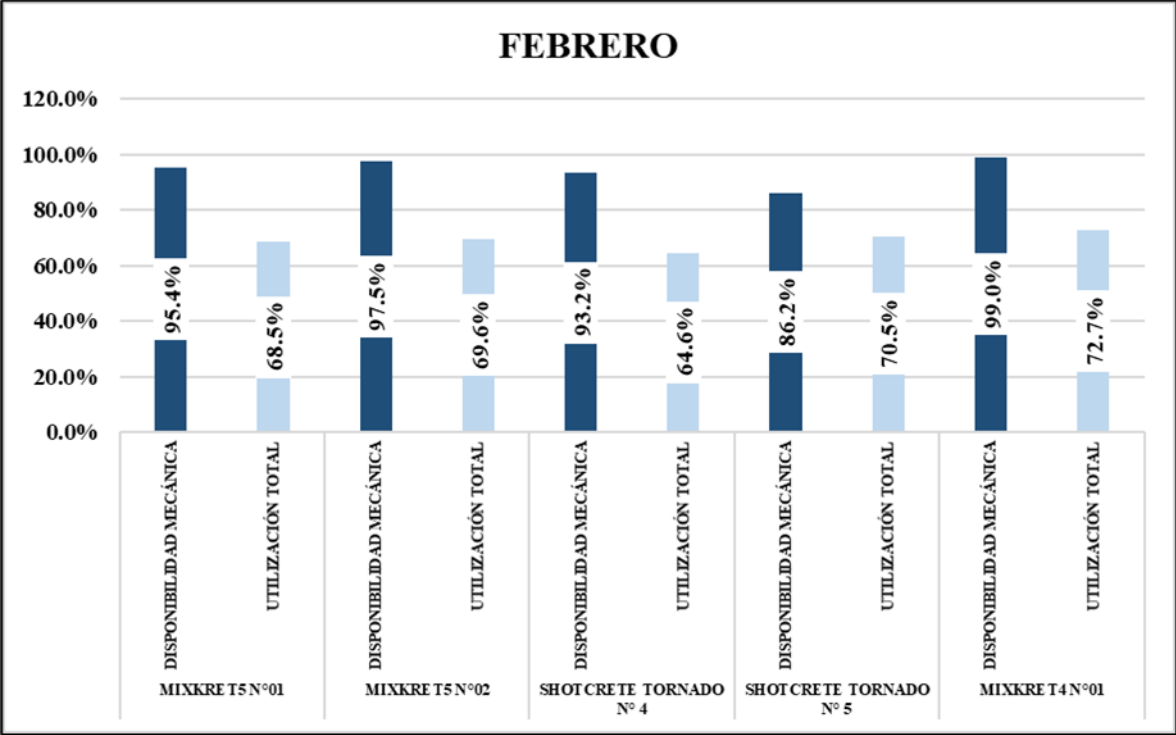
Disponibilidad y utilización – febrero

Mixkret5 N°01	
Disponibilidad mecánica	95.4%
Utilización total	68.5%
Mixkret5 N°02	
Disponibilidad mecánica	97.5%
Utilización total	69.6%
Shotcrete tornado N° 4	
Disponibilidad mecánica	93.2%
Utilización total	64.6%
Shotcrete tornado N° 5	
Disponibilidad mecánica	86.2%
Utilización total	70.5%
Mixkret4 N°01	
Disponibilidad mecánica	99.0%
Utilización total	72.7%

Fuente: Elaboración propia

Figura 18

Disponibilidad y utilización – febrero



Fuente: Elaboración propia

De las figuras anteriores se puede observar que durante octubre a enero, los dos Mixers operativos no daban abasto a los dos Robots, por lo que la utilización del Tornado

Nº05 era muy baja. En febrero al habilitar un Mixer adicional, se logra incrementar la utilización de ambos Tornados.

3.2.2 Horas inoperativas

Tabla 14

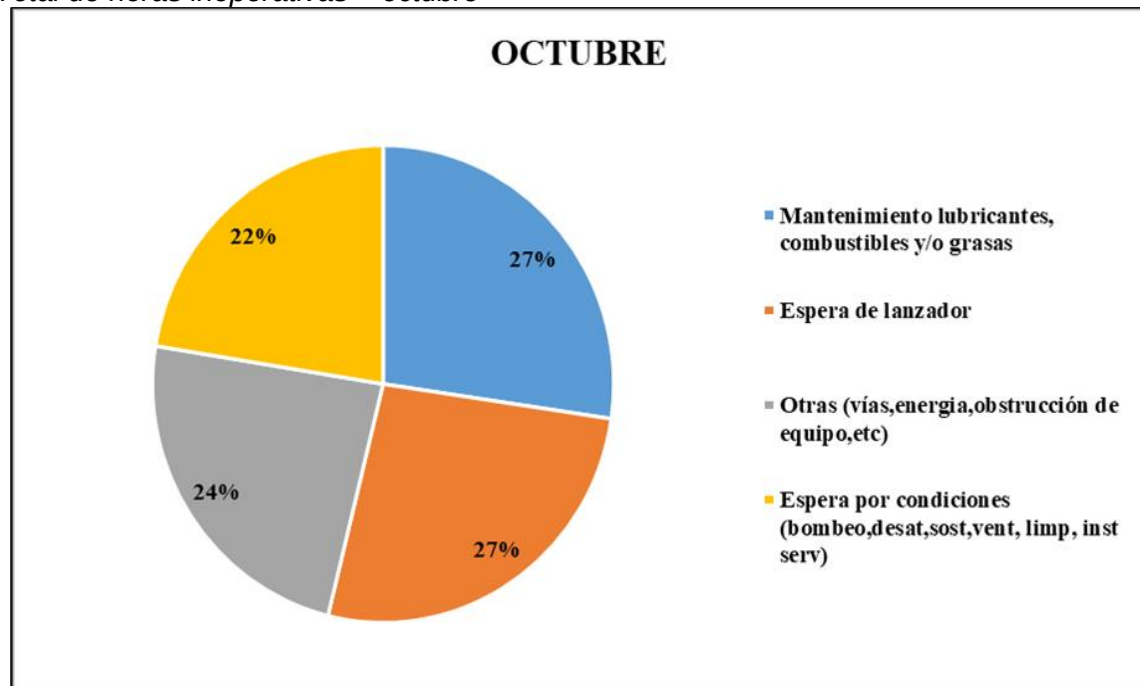
Total de horas inoperativas – octubre

	SUMA DE HORAS
Mantenimiento lubricantes, combustibles y/o grasas	116.2
Espera de lanzador	112.7
Otras (vías, energía, obstrucción de equipo, etc.)	100.8
Espera por condiciones (bombeo, desat, sost, vent, limp, inst serv)	95.4

Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Total de horas inoperativas – octubre



Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

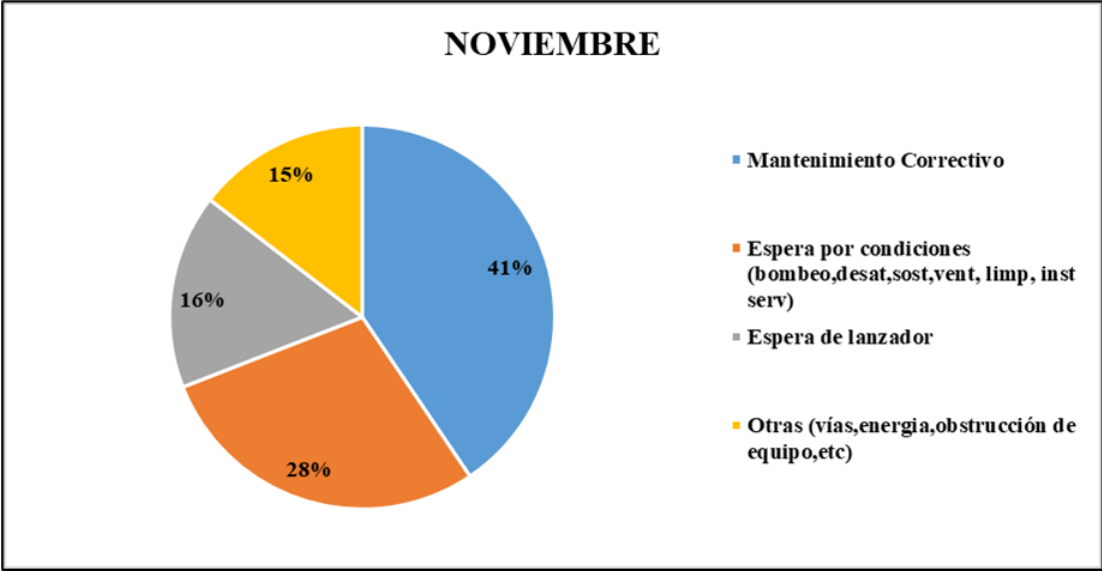
Total de horas inoperativas – noviembre

	SUMA DE HORAS
Mantenimiento lubricantes, combustibles y/o grasas	171.0
Espera de lanzador	120.3
Otras (vías, energía, obstrucción de equipo, etc.)	69.1
Espera por condiciones (bombeo, desat, sost, vent, limp, inst serv)	61.3

Fuente: Elaboración propia

Figura 20

Total de horas inoperativas – noviembre



Fuente: Elaboración propia

Tabla 16

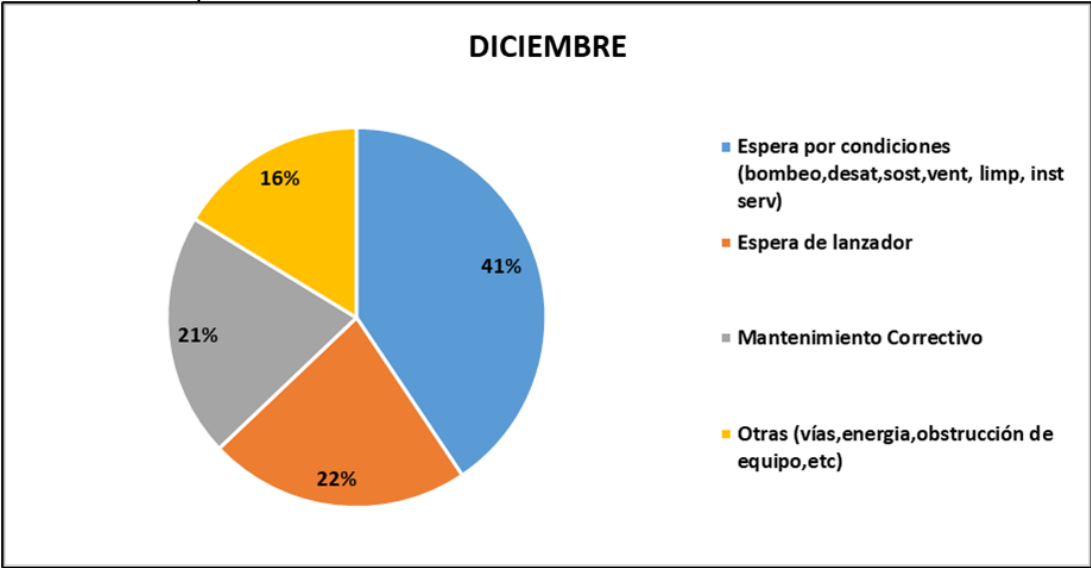
Total de horas inoperativas – diciembre

	SUMA DE HORAS
Mantenimiento lubricantes, combustibles y/o grasas	110.1
Espera de lanzador	60.6
Otras (vías, energía, obstrucción de equipo, etc.)	56.4
Espera por condiciones (bombeo, desat, sost, vent, limp, inst serv)	44.3

Fuente: Elaboración propia

Figura 21

Total de horas inoperativas – diciembre

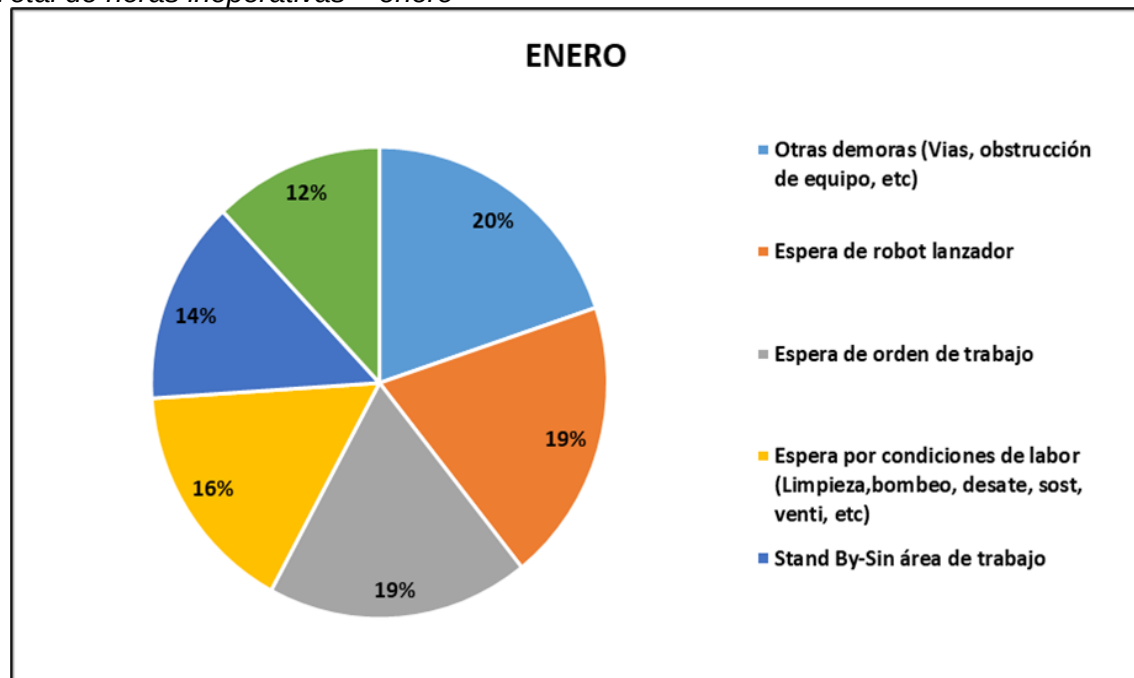


Fuente: Elaboración propia

Tabla 17*Total de horas inoperativas – enero*

	SUMA DE HORAS
Otras demoras (Vías, obstrucción de equipo, etc.)	45.9
Espera de robot lanzador	45.1
Espera de orden de trabajo	43.0
Espera por condiciones de labor (Limpieza, bombeo, desate, sost, venti, etc.)	37.2
Stand By-Sin área de trabajo	32.4
Mantenimiento correctivo (Falla de equipo)	27.9

Fuente: Elaboración propia

Figura 22*Total de horas inoperativas – enero*

Fuente: Elaboración propia

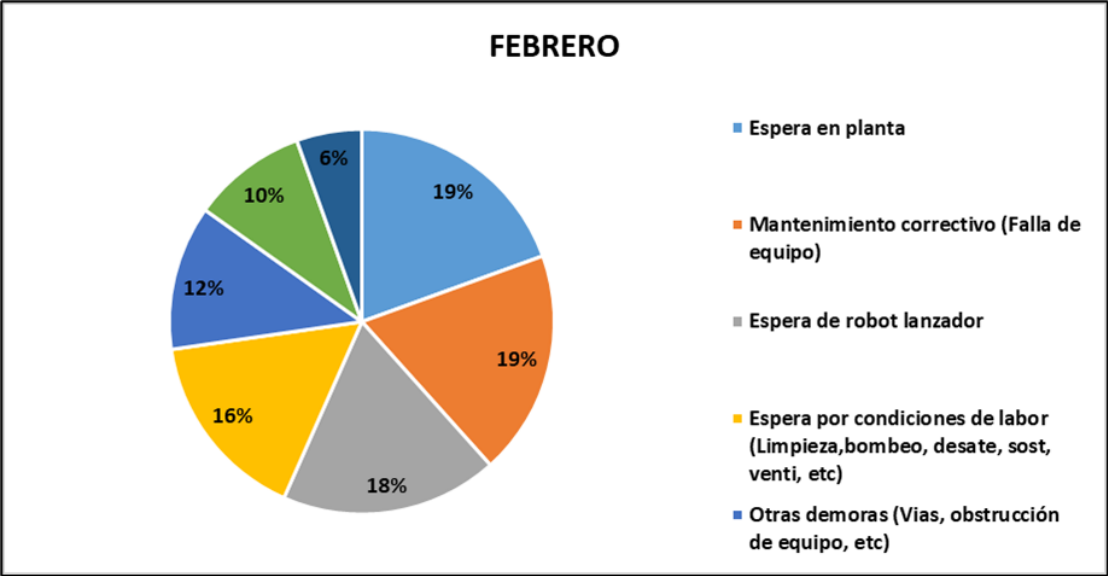
Tabla 18*Total de horas inoperativas – febrero*

	SUMA DE HORAS
Espera en planta	75.7
Mantenimiento correctivo (Falla de equipo)	73.5
Espera de robot lanzador	71.0
Espera por condiciones de labor (Limpieza, bombeo, desate, sost, venti, etc.)	62.5
Otras demoras (Vías, obstrucción de equipo, etc.)	47.3
Stand By-Sin área de trabajo	37.6

Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Total de horas inoperativas – febrero



Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

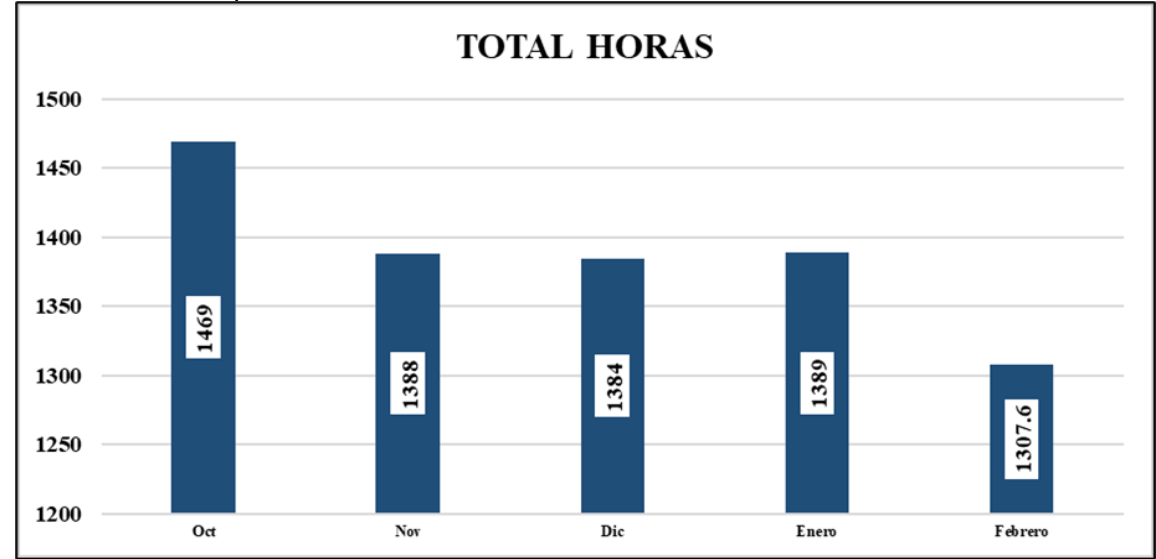
Horas inoperativas por equipo

Equipo	Oct	Nov	Dic	Enero	Febrero
Mixkret5 N°01	465	398	404	410	392
Mixkret5 N°02	468	390	447	476	440
Shotcrete tornado N° 4	360	385	335	447	209.6
Shotcrete tornado N° 5	176	215	198	56	102
Mixkret4 N°01					164
Total horas	1469	1388	1384	1389	1307.6

Fuente: Elaboración propia

Figura 24

Total de horas inoperativas – febrero



Fuente: Elaboración propia

3.3 Planta de shotcrete en interior mina

La alternativa que se plantea en esta investigación es la instalar una planta móvil en interior mina, aprovechando una estructura ya construida.

Figura 25

Ubicación propuesta para instalar planta de shotcrete



Fuente: Unidad Minera Catalina Huanca

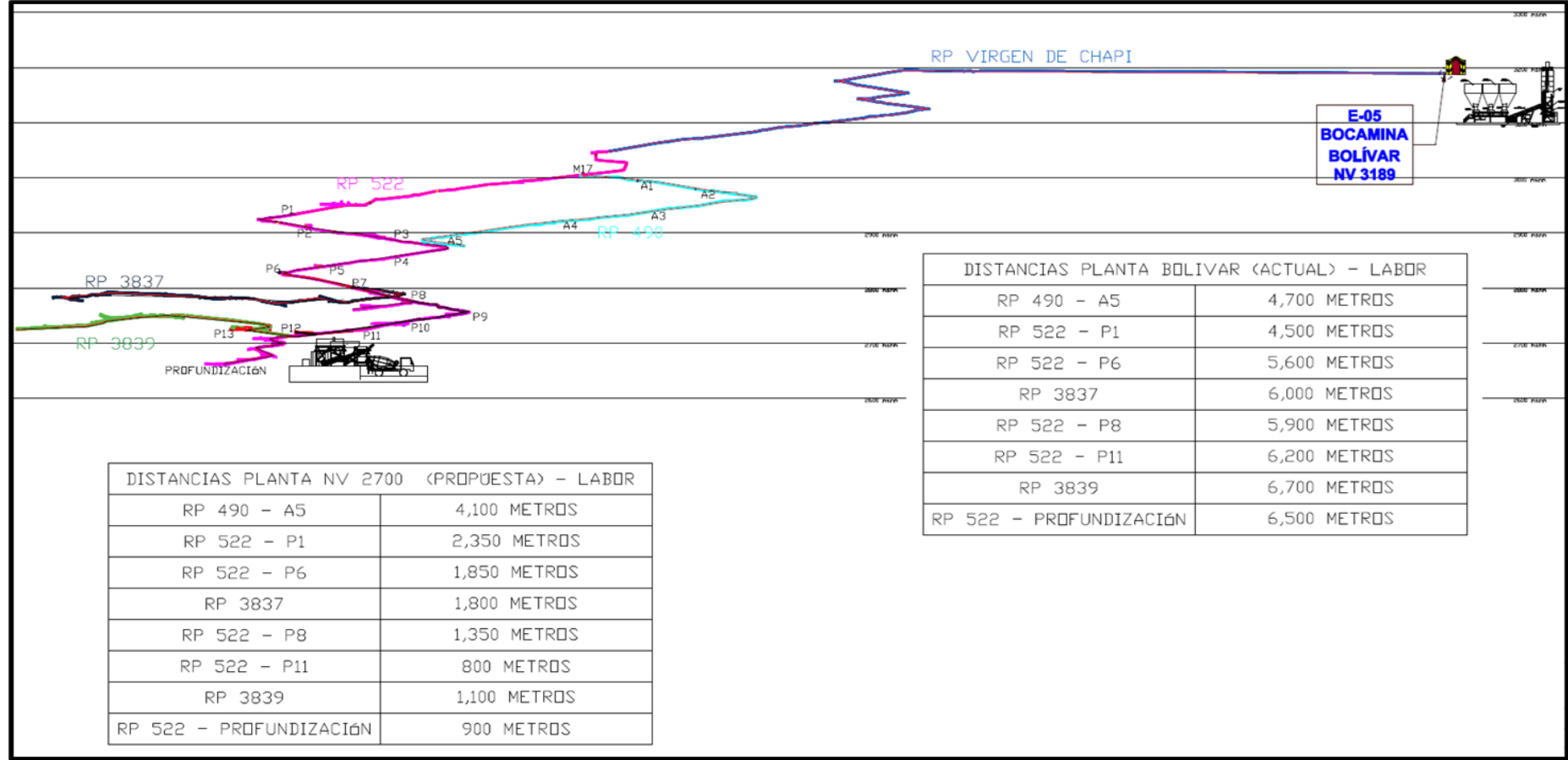
El macizo rocoso donde se emplaza el proyecto está conformado por una litología de arenisca tipo IIIB principalmente con un sistema de fallas en sentido NE SW y S E NW.

De acuerdo con la evaluación geomecánica se recomienda:

- Coordinar con mantenimiento, operaciones y servicios para poder mover cables, tuberías y demás; y así poder llevar a cabo los trabajos a programar.
- Sostenimiento final de la rehabilitación debe quedar con: Sh2" + Malla (calibre 10) + P. Swellex 7' + Sh2" S/M.
- Coordinar con el área de geomecánica cualquier consulta o desvío durante el procedimiento.

Figura 26

Plano isométrico de rutas de transporte de shotcrete



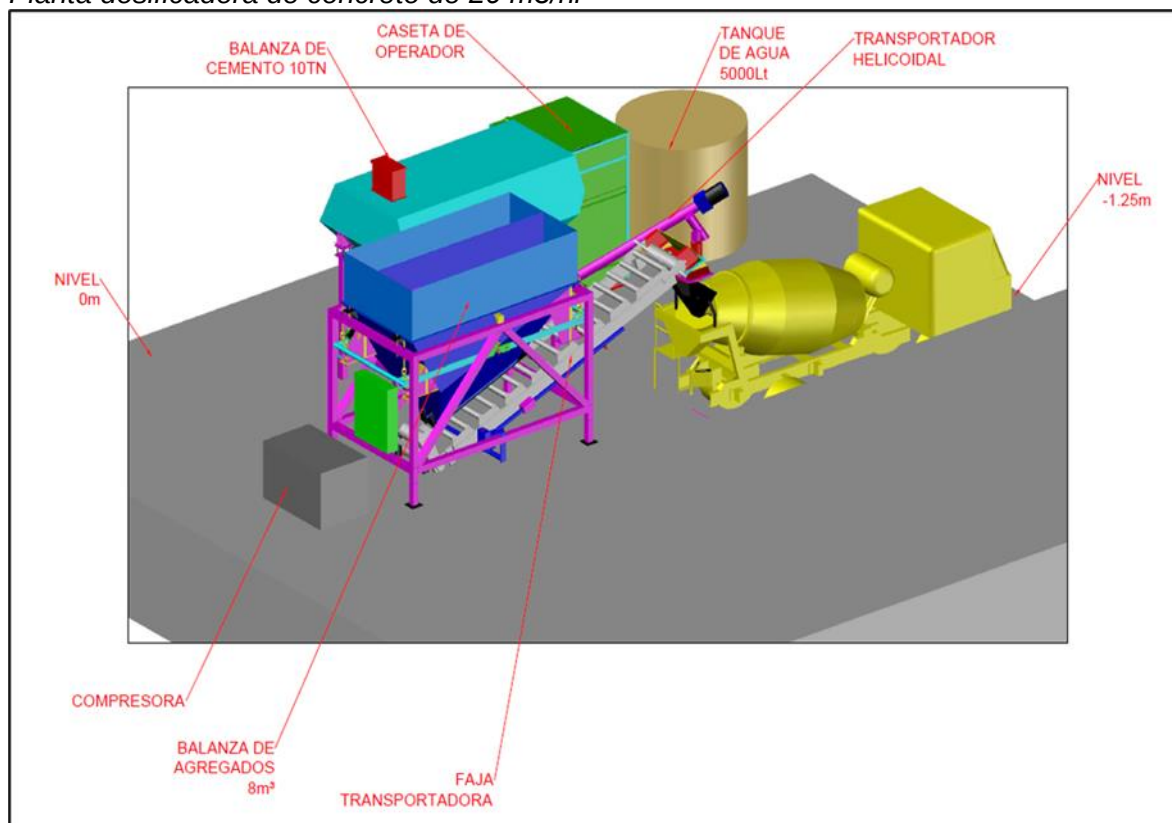
Fuente: Unidad Minera Catalina Huanca

En la figura anterior se observa que las distancias de las rutas de transporte se reducen de 5760 metros promedio a 1770 metros. Lo que se traduce en reducción del ciclo de los equipos e incremento en la utilización de estos.

3.3.1 Planta dosificadora de concreto de 20 m³/hr

Figura 27

Planta dosificadora de concreto de 20 m³/hr



Fuente: Unidad Minera Catalina Huanca

Características:

- Estructura soporte para cuerpo de planta.
- Balanza de agregados de 4 m³ de capacidad, con 4 celdas de carga de 5000 Kg c/u. Marca Laumas compuerta neumática de accionamiento y vibrador eléctrico de ¾ HP Marca WAM.
- Línea de agua Contador de pulsos y electrobomba de capacidad 5 Lts. /seg Marca Pedrolo.
- Tanque de agua de 400 litros adosado a la misma planta.

- Tablero de Fuerza, Control. Todos los componentes de fuerza y control Marca Schneider.
- Tablero neumático.
- Compresor de aire de 5HP y 150 Lb. para accionamiento sistema neumático de planta.
- Transportador helicoidal 8" x 4.5 m 9.5 Kw
- Caseta de operación de 1.5 x 1.5 x 2.4 m.
- Sistema para ser remolcado (eje posterior simple y tiro delantero)

Costo USD 52,500.00

Silo balanza de cemento

- Capacidad: 14 ton
- Desarmable
- Filtro Silotop Marca WAM
- Tubo de carga 4"
- 04 celdas de carga de 5000 Kg c/u Marca Laumas.
- Fluidificadores en parte cónica.

Costo USD 17,800.00

Sistema automático de control

- Controlado por PLC marca SIEMENS para gobierno de operación de planta
- Componentes eléctricos macar Schneider

Costo USD 10,500.00

- **Fabricación de compuertas para alimentación de balanza de agregados**

Costo USD 4,800.00

- **Montaje de planta móvil 20 m³/ hr en interior mina**

- Sistema de alimentación a la tolva de agregados

Costo USD 6,000.00

- Montaje de la planta, silo y accesorios

Costo USD 17,000.00

Compresora para descarga de cemento.

Características:

- Capacidad 250 – 300 cfm
- Presión 25 psi
- Compresora marca Garden Denver Modelo APOGAA-GD
- Motor eléctrico de 30 HP, 1750 rpm
- Tablero de arranque estrella triangulo
- Filtro de aire
- Válvula de seguridad
- Encapsulado con caja metálica sobre el equipo

Costo US\$ 21,500.00

Tabla 20

Costo de inversión de planta y montaje

PLANTA Y MONTAJE	
Planta dosificadora	USD 52,500.00
Silo de cemento (14 ton)	USD 17,800.00
Sistema de Control	USD 10,500.00
Alimentación de balanza de agregado (compuertas en chimeneas)	USD 4,800.00
Montaje	USD 23,000.00
Extractor de Polvo	USD 21,500.00
Mangueras de abastecimiento	USD 2,500.00
Capacitación	USD 5,600.00
Total	USD 138,200.00

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Componentes de planta

Capacidad: 20m³/h

Dimensiones: 4.5x8m

Tolva balanza

- Celdas de carga
 - Marca: Laumas
 - Capacidad 5000Kg c/u

- Cantidad: 4
- Vibrador eléctrico
 - Marca: Wam
 - Potencia: 3/4 HP
- Compuerta con pistón neumático 100x200
- Dimensiones: 2x3.4x2.5
- Capacidad: 8000 kg

Faja transportadora de 20"

- Dimensiones: Longitud 5m
- Polines de carga:
 - Dimensiones: Ø3 ½"x14"
 - Cantidad: 17 unidades
- Polines de retorno:
 - Dimensiones: Ø3 ½"x22"
 - Cantidad: 2 unidades
- Polín de cola:
 - Dimensiones: Ø6 sch40 x 22"
- Polín de cabeza:
 - Dimensiones: Ø6 sch40 x 22"
- Motorreductor:
 - Potencia: 7.5HP
 - Marca: Sumitomo

Silo balanza

- Capacidad: 14Tn
- Silotop Wam
- Compuerta Mariposa Ø10"
- Tubo carga 4"

- 06 fluidificadores en parte cónica
- Válvula de seguridad superior

Sistema eléctrico

Lo conforman tablero de fuerza y tablero de control, todos con componentes eléctricos Marca: Schneider.

Sistema neumático

Con el que se gobierna compuerta agregados de pre-tolva y de balanza, así como compuerta de línea de agua, fluidificadores de silo y línea de limpieza a silo top.

Transportador helicoidal.

Para traslado de cemento desde silo hacia el mixer.

- Diámetro 8"
- Largo 4.5 m
- Potencia 9.5 Kw
- Marca WAM

Sistema de agua

Conformado por una bomba de agua Marca Pedrolo de 6 Lts/seg de 2 hp de potencia, un contador de pulsos para poder medir caudal, compuerta neumática y la línea hacia el chute de descarga al mixer.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Análisis de alternativas

En el contexto planteado, donde con los equipos actuales no nos permite cumplir con lo requerido para la operación, se evaluó dos posibles Alternativas:

- Alternativa A, adquisición de un Mixer adicional.
- Alternativa B, implementación de planta en interior mina.

Tenemos:

Tabla 21

Flota actual de equipos

FLOTA ACTUAL	NUMERO
Robot	2
Robot Stand By	1
Trasporte de Concreto	3
Trasporte de Concreto Stand By	1
Total	7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22

Ciclo actual de equipos

CICLO PRUEBAS	HORAS
Planta Prep.	0.2
Traslado Labor	1.2
Espera Robot	0.5
Trasegado	0.4
Lavado	0.2
Traslado Planta	0.5
Total	3.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23

Ciclo de equipos con planta de shotcrete en interior mina

CICLO PRUEBAS	HORAS
Planta Prep.	0.2
Traslado Labor	0.4
Espera Robot	0.2
Trasegado	0.4
Lavado	0.2
Traslado Planta	0.2
Total	1.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24

Escenario actual

ESCENARIO ACTUAL									
Equipos	Unidades	Horas mes (hr)	Disponibilidad mecánica (%)	Utilización (%)	Rendimiento (m3/hr)	Ejecutado (m3)	Budget (m3)	Diferencia (m3)	
Robots	2	600	80%	52%	3.0	1811	2150	-339	
Mixer	3	1400	91%	72%	1.3	1867	2216	-350	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25

Costos operativos actual

COSTOS OPERATIVOS	
Elaboración de Concreto	USD 134.20
Lanzado y transporte	USD 115.01
Trasporte de Cemento	USD 0.00
Total por metro cubico	USD 249.21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26

Escenario alternativa A

ALTERNATIVA A									
ESCENARIO DE COMPRA DE MIXER									
Equipos	Unidades	Horas mes (hr)	Disponibilidad mecánica (%)	Utilización (%)	Rendimiento (m³/hr)	Ejecutado (m³)	Budget (m³)	Diferencia (m³)	
Robots	2	779	80%	68%	3.1	2414	2150	264	
Mixer	4	1867	91%	72%	1.3	2489	2216	272	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27*Inversión – alternativa A*

INVERSION	
Planta y montaje	USD 0.00
Adquisición de Tornado	USD 250,000.00 <i>Se considera en costo operativo - 5 años</i>
Laboreos	USD 0.00
Obras mecánicas y civiles	USD 0.00
Instalaciones	USD 0.00
Rehabilitaciones	USD 0.00
Laboratorio	USD 0.00
Otros (15%)	USD 0.00
Inversión total	USD 250,000.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28*Costos operativos – alternativa A*

COSTOS OPERATIVOS	
Elaboración de Concreto	USD 134.20
Lanzado y transporte	USD 128.28
Trasporte de Cemento	USD 0.00
Total por metro cubico	USD 262.48

Fuente: Elaboración propia

En la alternativa B, a parte que se tiene planeado implementar la planta de concreto en interior mina. Se tiene contemplado la disminución de equipos de la operación a solo dos Mixer y dos Robots, debido a que al tener distancias más cortas de transporte no permite aprovechar la utilización de dichos equipos.

Tabla 29*Escenario alternativa B*

ALTERNATIVA B									
Escenario de planta en interior mina									
Equipos	Unidades	Horas mes (hr)	Disponibilidad mecánica (%)	Utilización (%)	Rendimiento (m3/hr)	Ejecutado (m3)	Budget (m3)	Diferencia (m3)	
Robots	2	728	80%	63%	3.1	2255	2150	105	
Mixer	2	930	91%	71%	2.5	2325	2216	109	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30*Inversión – alternativa B*

INVERSION	
Planta y montaje	USD 138,200.00
Adquisición de Tornado	USD 0.00
Laboreos	USD 37,500.00
Obras mecánicas y civiles	USD 15,900.00
Instalaciones	USD 9,100.00
Rehabilitaciones	USD 14,700.00
Laboratorio	USD 0.00
Otros (15%)	USD 32,310.00
Inversión total	USD 247,710.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31*Costos operativos – alternativa B*

COSTOS OPERATIVOS	
Elaboración de Concreto	USD 134.20
Lanzado y transporte	USD 99.33
Trasporte de Cemento	USD 8.70
Total por metro cubico	USD 242.23

Fuente: Elaboración propia

Al realizar una comparación de ambas alternativas tenemos lo siguiente:

Tabla 32

Comparación de alternativas

	Alternativa A	Alternativa B
	Adquisición de 1 Mixer adicional	Planta en interior mina
Producción requerida (m3)	2300	2300
Capex	-USD 250,000.00	-USD 247,710.00
Opex	USD 262.48	USD 242.23
Costo mensual	USD 603,704.00	USD 557,119.00
Costo anual	USD 7,244,448.00	USD 6,685,428.00
Tasa de interés (%)	10%	10%
Vida útil estimada	5	5
AÑO 0	-USD 250,000.00	-USD 247,710.00
AÑO 1	USD 7,244,448.00	USD 6,685,428.00
AÑO 2	USD 7,244,448.00	USD 6,685,428.00
AÑO 3	USD 7,244,448.00	USD 6,685,428.00
AÑO 4	USD 7,244,448.00	USD 6,685,428.00
AÑO 5	USD 7,244,448.00	USD 6,685,428.00
Valor Actual Neto	USD 27,712,157.63	USD 25,590,742.01
Tasa interna de retorno	29.0	27.0
CAUE (5;10%)	-USD 7,310,397.37	-USD 6,750,773.27

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior podemos afirmar que la planta en interior mina, no permite llegar al target planificado de abastecimiento de shotcrete y genera menor Costo anual equivalente de ambas alternativas.

4.2 Validación de hipótesis

Al ser esta investigación una simulación de escenarios respecto a una línea base, para validar las hipótesis planteadas se requerirá hacer un comparativo del escenario actual versus el escenario de la alternativa B, implementación de planta en interior mina.

4.2.1 Variable productividad

Planteamos la hipótesis nula y alternativa

- H_0 : La implementación de la planta de shotcrete en interior mina; no conllevara a reducir tiempos de inactividad, mejorar la disponibilidad de los equipos y su productividad.
- H_A : La implementación de la planta de shotcrete en interior mina; no conllevara a reducir tiempos de inactividad, mejorar la disponibilidad de los equipos y su productividad.

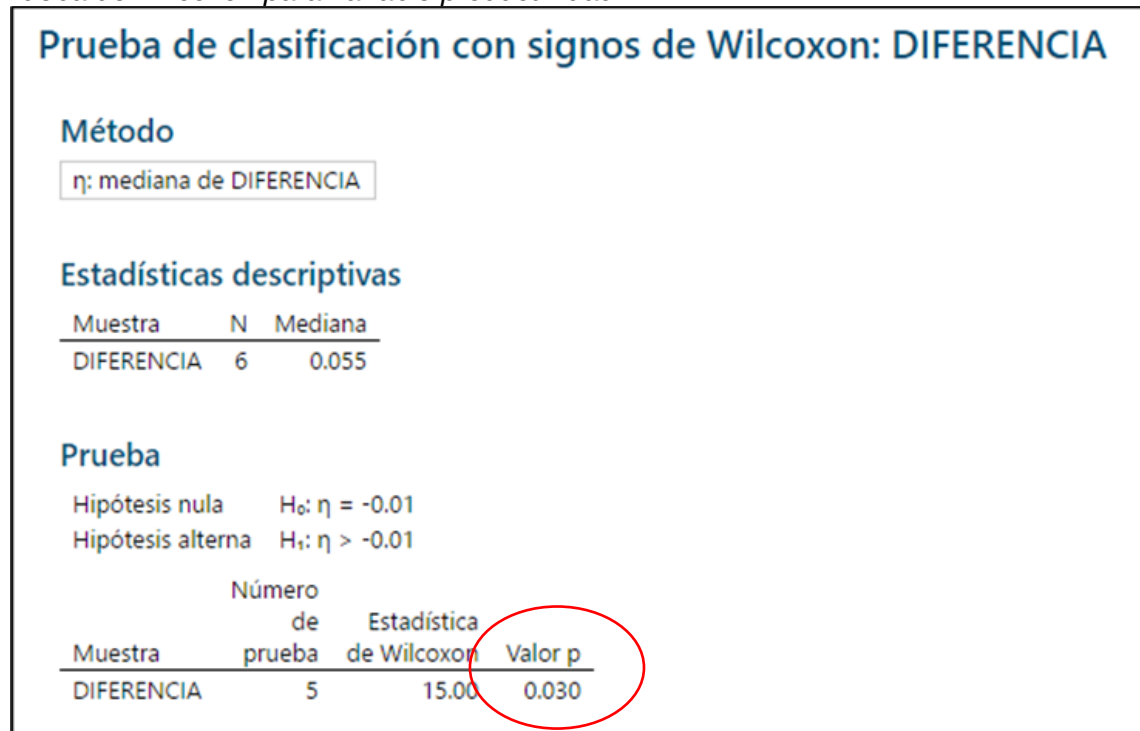
Utilizando la información mostrada en las tablas 24 y 29, tenemos que

Tabla 33*Comparación de resultados de utilización y productividad*

Equipos	ESCENARIO ACTUAL			ALTERNATIVA B ESCENARIO PLANTA EN INTERIOR MINA		
	Disponibilidad mecánica (%)	Utilización (%)	Rendimiento (m3/hr)	Disponibilidad mecánica (%)	Utilización (%)	Rendimiento (m3/hr)
Robots	80%	52%	3.0	80%	63%	3.1
Mixer	91%	72%	1.3	91%	71%	2.5

Fuente: Elaboración propia

Con ayuda del software Minitab, realizamos la prueba de Wilcoxon, el cual nos permite analizar las diferencias entre el sistema actual versus la alternativa B.

Figura 28*Prueba de Wilcoxon para variable productividad*

Fuente: Elaboración propia con software Minitab

Dado que el valor de p es menor a 0.05. Entonces podemos rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa “La implementación de la planta de shotcrete en interior mina; no conllevará a reducir tiempos de inactividad, mejorar la disponibilidad de los equipos y su productividad.”

4.2.2 Variable costos

- H_0 : La implementación de una planta de shotcrete en interior mina no resultará en una reducción de los costos operativos asociados a los equipos de sostenimiento.
- H_A : La implementación de una planta de shotcrete en interior mina resultará en una reducción de los costos operativos asociados a los equipos de sostenimiento.

Utilizando la información mostrada en las tablas 25 y 31, tenemos que

Tabla 34

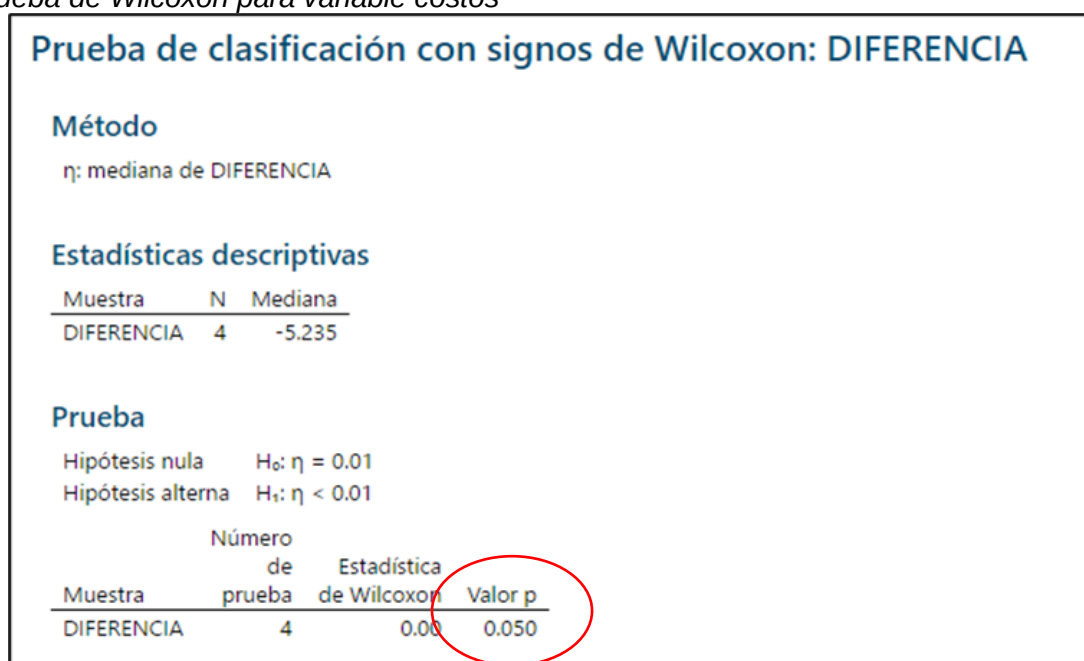
Comparación de resultados de costos operativos

	ESCENARIO ACTUAL	ALTERNATIVA B ESCENARIO PLANTA EN INTERIOR MINA
Elaboración de Concreto	USD 134.20	USD 134.20
Lanzado y transporte	USD 115.01	USD 99.33
Trasporte de Cemento	USD 0.00	USD 8.70
Total por metro cubico	USD 249.21	USD 242.23

Fuente: Elaboración propia

Figura 29

Prueba de Wilcoxon para variable costos



Fuente: Elaboración propia con software Minitab

Dado que el valor de p es 0.05. Entonces podemos rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa “La implementación de una planta de shotcrete en interior mina resultará en una reducción de los costos operativos asociados a los equipos de sostenimiento.”

Conclusiones

La instalación de una planta de shotcrete en interior mina reduce significativamente los tiempos de espera y aplicación del concreto proyectado, eliminando los retrasos asociados al transporte desde superficie y mejorando la continuidad de las operaciones de sostenimiento.

El tiempo por ciclo de los equipos de sostenimiento se reduce de 3.0 horas a 1.6 horas aproximadamente (tabla 22 y 23).

Se obtiene un incremento del 15% de la utilización efectiva de los equipos de sostenimiento (tabla 24 y 26).

La producción de shotcrete en interior mina disminuye los costos asociados al acarreo del material desde la superficie, el consumo de combustible y el desgaste de los equipos de transporte. Además, la dosificación controlada permite mejorar el uso de cemento y aditivos, reduciendo desperdicios y costos de insumos.

Se obtiene un ahorro en costo de producción de shotcrete de 6.98 USD por metro cubico producido (tabla 25 y 27).

Al reducir los tiempos de traslado y espera de material, se mejora la disponibilidad de los equipos de proyección de shotcrete, permitiendo una mayor cobertura en la sostenibilidad de labores mineras y evitando cuellos de botella en el ciclo operativo.

La aplicación inmediata del shotcrete reduce la exposición de las labores subterráneas a riesgos geomecánicos, mejorando la estabilidad de los frentes de trabajo y minimizando la posibilidad de colapsos o desprendimientos de roca.

Recomendaciones

Se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo para la planta de shotcrete y los equipos de proyección, a fin de evitar fallas operativas y garantizar una disponibilidad continua del sistema.

Es importante gestionar adecuadamente el suministro de cemento, agregados, aditivos y fibras para evitar interrupciones en la producción de shotcrete. Se sugiere establecer un stock de seguridad y mejorar la logística de abastecimiento.

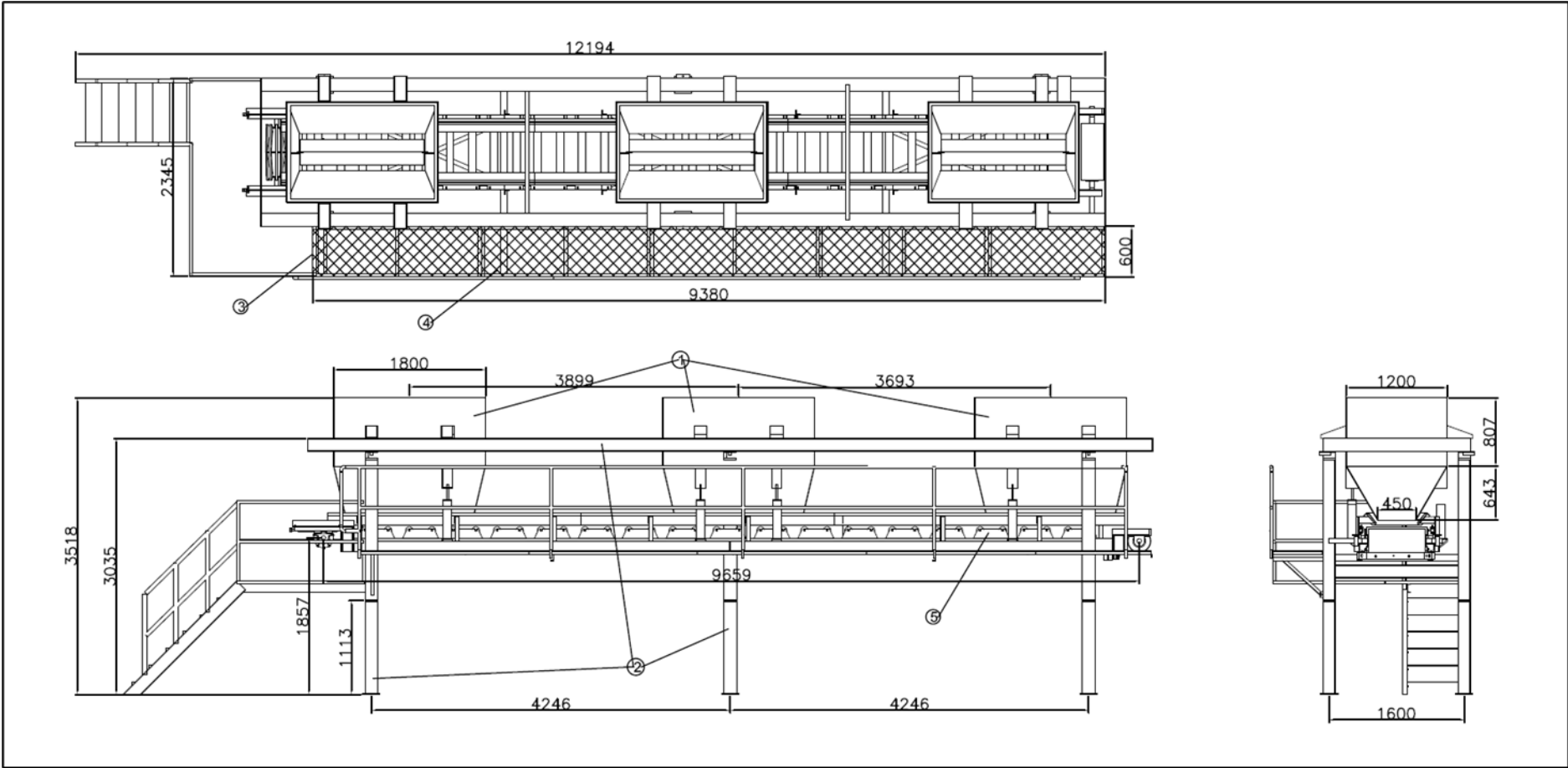
Referencias bibliográficas

- Bernard (2015) - *"La Sociedad Australiana de shotcrete fue formada en 1998 como un grupo industrial sin fines de lucro comprometido a mejorar el reconocimiento del valor y usos del hormigón proyectado en la minería australiana e industrias de la construcción"*.
- Chen, L. (2018). *"Análisis Comparativo de Métodos de Aplicación de Shotcrete para la Mejora del Rendimiento"*. Construction and Building Materials, 188, 1120-1135.
- De Haller, Antonie (2021), *Catalina Huanca Informe Final: Estimación de recursos*.
- García (2014) - *"La palabra hormigón proyectado se ha adoptado en Chile para la descripción del shotcrete de acuerdo con la definición del American Concrete Institute (ACI)"*
- García, R. (2021). *"Implementación de Plantas de Shotcrete Móviles en Minas Subterráneas de Roca Dura"*. Mining Technology, 120(4), 150-165.
- Hustrulid, W. A., & Bullock, R. C. (2001). *Underground mining methods: engineering fundamentals and international case studies*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Lascorz Solano, Alberto (2002), *Estudio relativo al efecto de la incorporación de aditivos químicos de última generación en el hormigón proyectado por vía húmeda*.
- Melbye, Tom y Knut F. Garshol (2000), *Shotcrete para soporte de rocas*, MBT International Underground Construction Group, 2000.
- Muller, S. (2020). *"Evaluación del Impacto de la Producción de Shotcrete In Situ en la Logística Minera Subterránea"*. Journal of Sustainable Mining, 8(1), 78-92.
- Rodríguez Barboza, José Ulises (1997), *Estudio relativo a la influencia de distintas variables que inciden en la dosificación y puesta en obra del shotcrete*.
- Tapia (2017) - *"Diseño y aplicación del shotcrete vía húmeda como elemento de sostenimiento en labores mineras – Inpecon sociedad anónima cerrada – Mina Chipmo Compañía Minera Buenaventura Unidad Orcopampa"*.

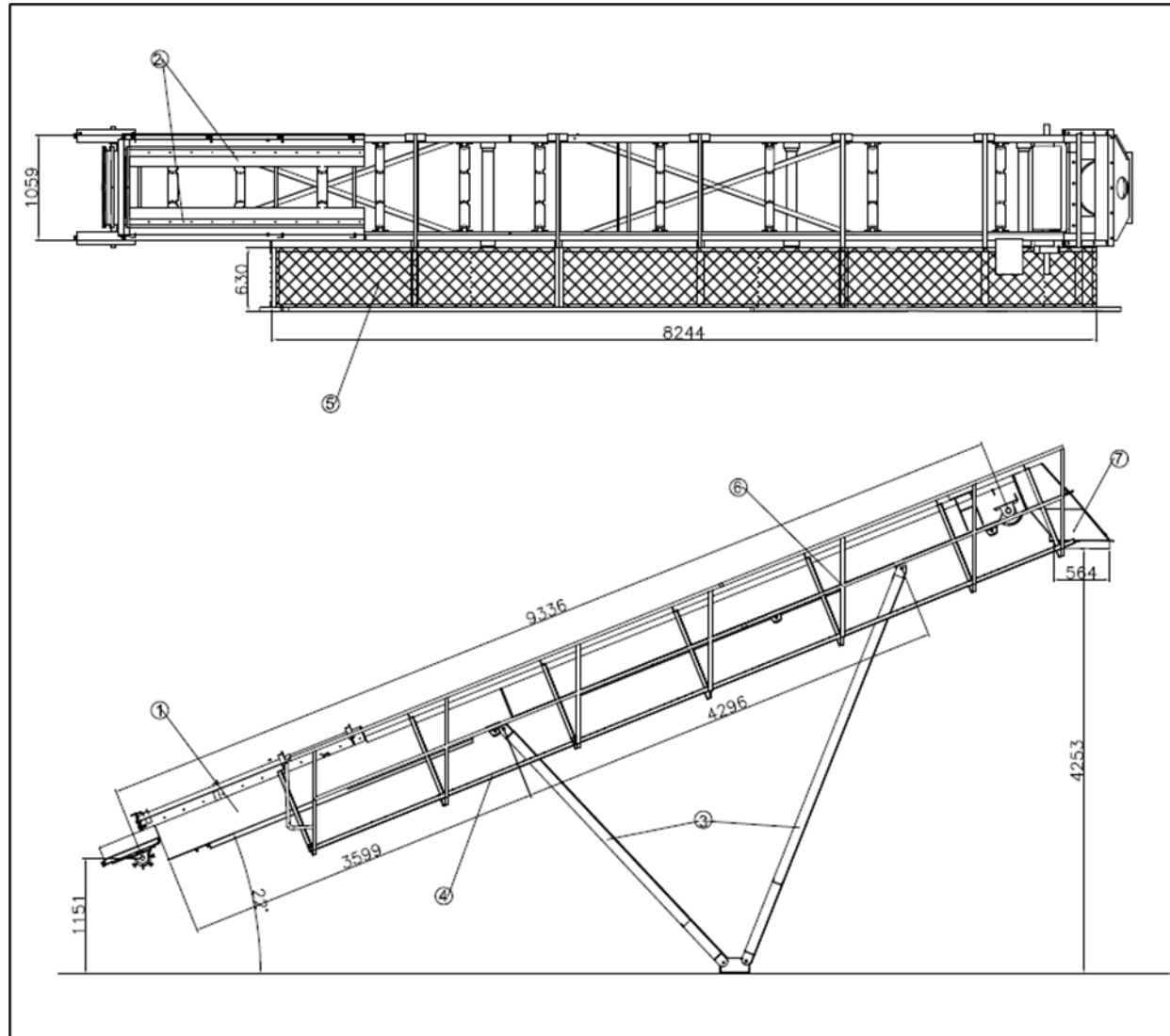
Anexos

	Pág.
Anexo 1: Faja horizontal	1
Anexo 2: Faja inclinada.....	2
Anexo 3: Layout planta CH	3
Anexo 4: Silo 90TN	4
Anexo 5: Mezclador	5
Anexo 6: Vista elevación proyecto CH	6
Anexo 7: Vista superior proyecto CH	7

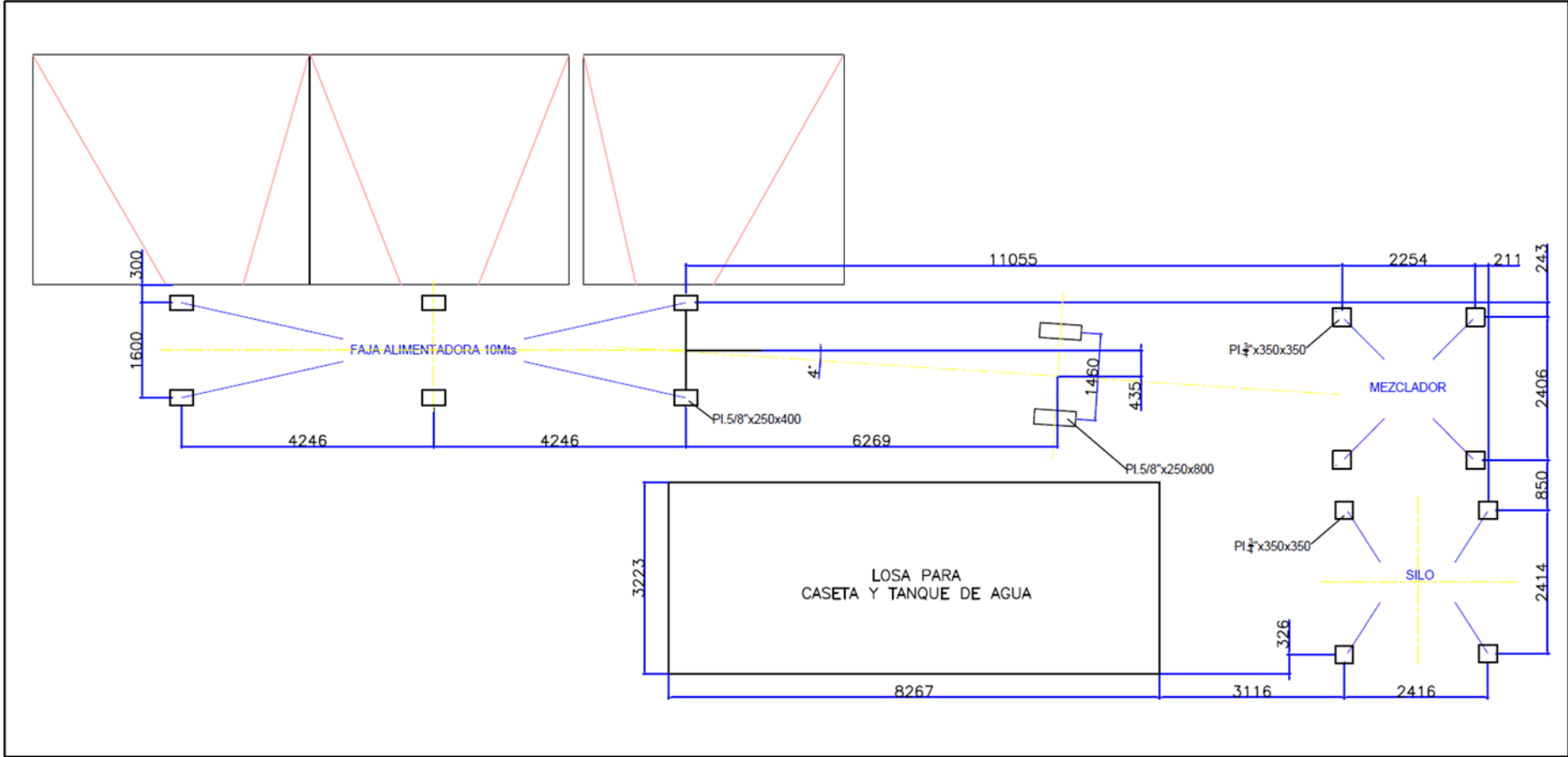
Anexo 1: Faja horizontal



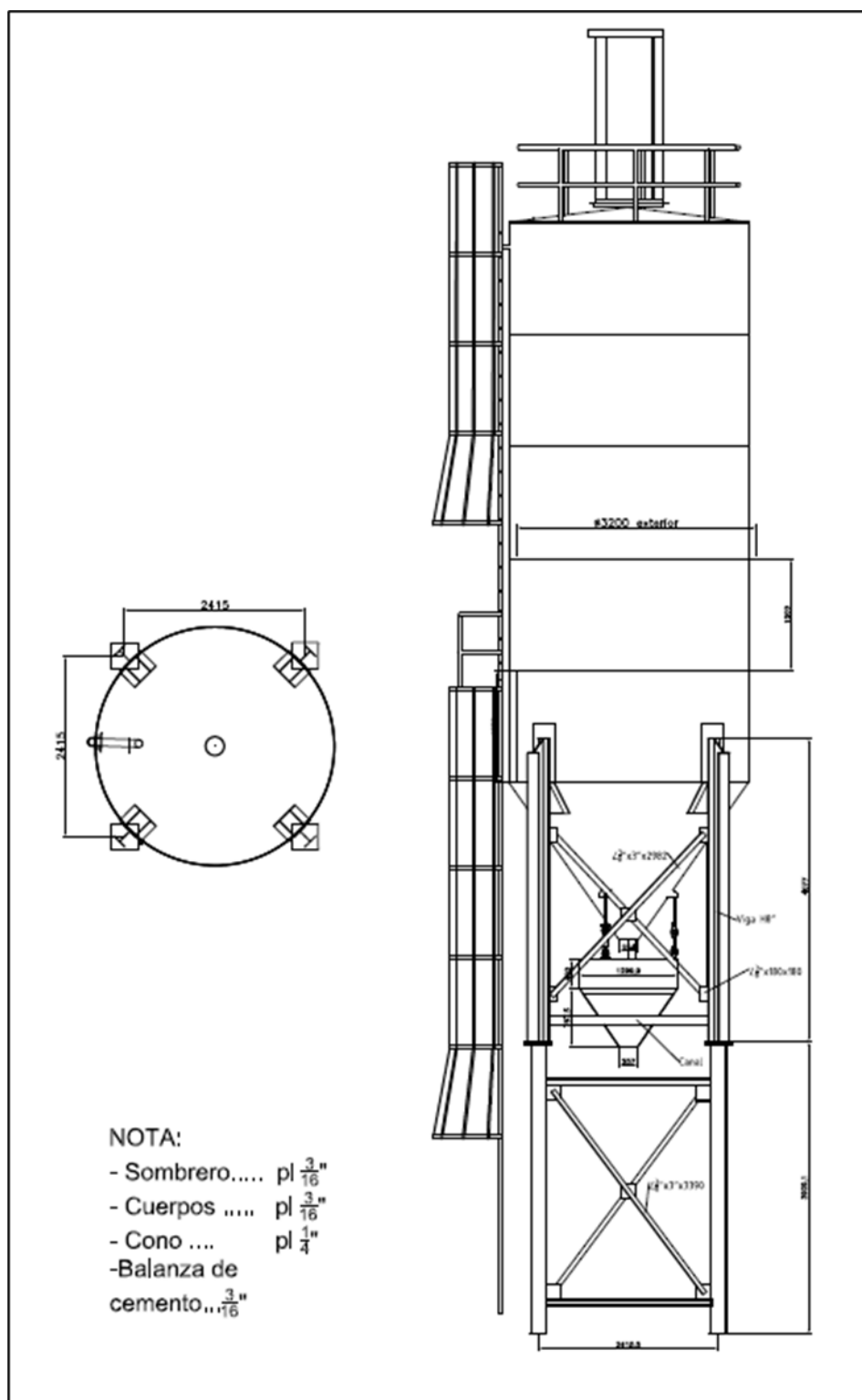
2



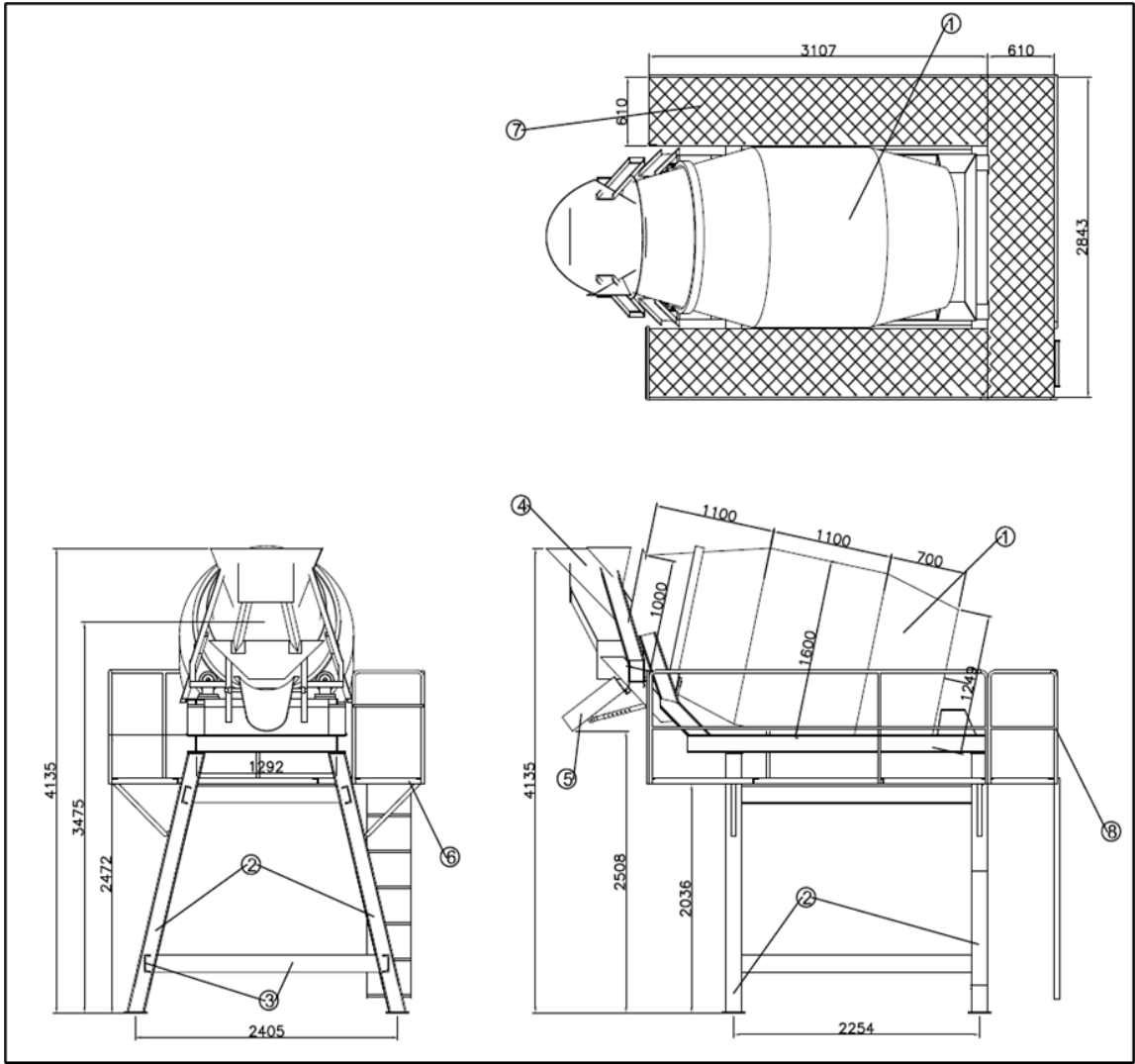
Anexo 3: Layout planta CH



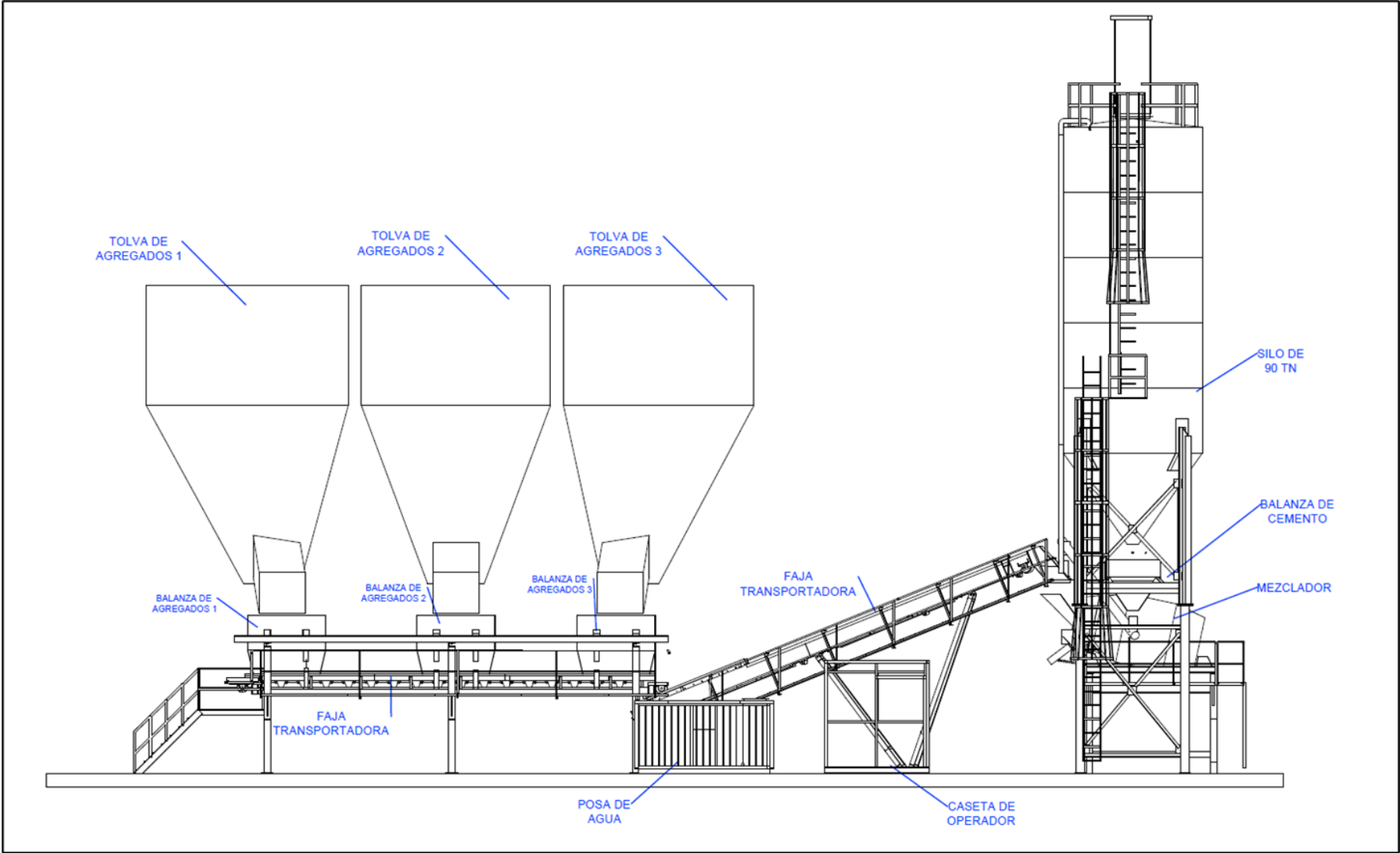
Anexo 4: Silo 90TN



Anexo 5: Mezclador



Anexo 6: Vista elevación proyecto CH



Anexo 7: Vista superior proyecto CH

