UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA

FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS

INGENIERÍA DE MINAS

TRABAJO FINAL

Implementación del sistema mecanizado para la preparación de concreto lanzado en Mina Farallón Negro, Catamarca.”

ALUMNO: Barros, Facundo Nicolas

M.U. Nº 01143

DIRECTORA: Ing. Claudia Caletti

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional de Catamarca por brindarme las herramientas necesarias para mi formación profesional. A los docentes, por su dedicación y por compartir su conocimiento a lo largo de esta etapa.
Y, de manera especial, a la Ing. Claudia Caletti, por su valioso acompañamiento y orientación durante este trabajo final.

A los trabajadores de Operaciones de Minas y Servicios Técnicos de YMAD por compartir su experiencia y conocimientos para la realización de este trabajo.

A mis amigos más cercanos por su constante apoyo y ánimo a lo largo de todos estos años de carrera.

Barros, Facundo Nicolas
MUº: 01143

Dedicatorias

A mi mamá, gracias por ser mi guía, mi ejemplo y mi inspiración constante. Sin tu amor, tu sacrificio silencioso y tu fe inquebrantable en mí, nada de esto habría sido posible.

A mi Tía Karina, gracias por tu apoyo incondicional y tus palabras de fortaleza que me brindaste siempre.

A mi hermano Lucas y a mis hermanas Cande y Viki, por motivarme siempre y ayudarme a lo largo de la carrera.

A mi compañera de vida Paula, gracias por tu amor, tu apoyo, y por caminar a mi lado en esta aventura, sosteniéndome cuando más lo necesitaba.

A mis amigos por acompañarme y festejar conmigo cada logro.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento y amor. Este logro es tan suyo como mío.

Barros, Facundo Nicolas
MUº: 01143

Índice

RESUMEN 1
CAPITULO 1 2
INTRODUCCIÓN 2
1.1 Objetivo general 3
1.2 Objetivos específicos 3
1.3 Alcances y limitaciones 3
1.4 Metodología de trabajo 4
1.5 Generalidades 4
1.5.1 Ubicación geográfica del yacimiento 4
1.5.2 Marco geológico y mineralización 5
1.6 Aspectos operativos de la mina 6
1.6.1 Método de Explotación 6
1.6.2 Tratamiento del mineral 8
1.6.3 Capacidad de producción 8
CAPÍTULO 2 9
MARCO TEÓRICO 9
2.1 Ciclo de minado 9
2.2 Sostenimiento y estabilización del macizo rocoso 11
2.2.1 Sostenimiento en Mina Farallón Negro 11
2.2.2 Estándares de sostenimiento 14
2.2.3 Componentes del sostenimiento 18
2.3 Concreto lanzado 22
2.3.1 Usos de concreto lanzado 22
2.3.2 Componentes del concreto lanzado 23
2.3.3 Aditivos para el concreto lanzado 25
2.3.4 Factores a tener en cuenta en la aplicación de shotcrete 29
2.3.5 Diseño de la mezcla de concreto 33
2.3.6 Equipos vinculados a la aplicación de concreto lanzado 34
CAPITULO 3 39
RELEVAMIENTO DE OPERACIONES DE SOSTENIMIENTO 39
3.1 Operación de preparación manual de concreto 39
3.1.1 Descripción de la operación 39
3.1.2 Ciclo de trabajo 42
3.2 Operación de transporte de concreto. 42
3.2.1 Descripción de operación 42
3.2.2 Ciclo de trabajo 43

3.3 Operación de aplicación de concreto lanzado. 46
3.3.1 Descripción de la operación 46
3.3.2 Ciclo de trabajo 47
3.4 Operación de colocación de sostenimiento (empernado). 49
3.4.1 Descripción de operación 49
3.4.2 Ciclo de trabajo 50
3.5 Identificación de problemas y consecuencias 51
3.5.1 Análisis de causas 54
3.5.2 Matriz de Complejidad vs. Beneficio 56
3.5.3 Plan de acción 58
CAPÍTULO 4 59
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECANIZADO 59
4.1 Operación de preparación mecanizada de concreto 59
4.1.1 Descripción de operación 59
4.1.2 Ciclo de trabajo 64
4.2 Operaciones de transporte y aplicación de concreto lanzado 65
4.2.1 Alternativa 1 66
4.2.2 Alternativa 2 70
4.2.3 Alternativa 3 75
CAPITULO 5 83
DETERMINACIÓN DEL RATIO OPERATIVO Y COSTOS DE SOSTENIMIENTO 83
5. 1 Determinación del ratio operativo de concreto lanzado 83
5.2 Costos de sostenimiento 87
5.2.1 Equipo para colocación de pernos y mallas 89
5.2.2 Equipos para aplicación de concreto lanzado 90
5.2.3 Costos de sostenimiento 92
CAPITULO 6 96
ANÁLISIS DE RESULTADOS 96
6.1 Preparación de concreto 96
6.2 Transporte de concreto 97
6.3 Aplicación de concreto 99
6.4 Costos de sostenimiento 101
CAPÍTULO 7 102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 102
BIBLIOGRAFÍA 104
ANEXOS 105

Índice de Figuras

Figura No. 1 Ruta de acceso a Mina Farallón Negro 5
Figura No. 2 Mapa geológico de Farallón Negro 6
Figura No. 3 Labores de preparación 7
Figura No. 4 Ejecución de método de explotación 8
Figura No. 5 Ciclo de minado 9
Figura No. 6 Mapa geomecánico - Basal 2446 13
Figura No. 7 Mapa de sostenimiento - Basal 2446 13
Figura No. 8 Disposición de mallas y pernos 14
Figura No. 9 Disposición de mallas y pernos en labor tipo T 15
Figura No. 10 Disposición de mallas y pernos en labor tipo + ... 15
Figura No. 11 Estándar sostenimiento bietápico 16
Figura No. 12 Estándar sostenimiento trietápico 17
Figura No. 13 Estándar sostenimiento de sacrificio 17
Figura No. 14 Mecanismo de fricción 18
Figura No. 15 Perno Split set 19
Figura No. 16 Perno Swellex 19
Figura No. 17 Proceso de inflado de perno swellex 20
Figura No. 18 Distribución del tamaño de las partículas de agregados 24
Figura No. 19 Interacción de la reacción álcali-aluminatos 27
Figura No. 20 Técnicas de aplicación de concreto lanzado 31
Figura No. 21 Tiempos de medición de desarrollo de resistencia 31
Figura No. 22 Métodos de medición de desarrollo de resistencia 32
Figura No. 23 Relación entre parámetros de aplicación de concreto lanzado 32
Figura No. 24 Partes del equipo lanzador 38
Figura No. 25 Ciclo de trabajo de camión mezclador 43

Índice de imágenes

Imagen No. 1 Equipo Boltec colocando pernos 20
Imagen No. 2 Planta Tecnus TM30 36
Imagen No. 3 Camión mezclador Huron 4 36
Imagen No. 4 Equipo de preparación manual 39
Imagen No. 5 Pala CAT en báscula 40
Imagen No. 6 Pala descargado arena 40
Imagen No. 7 Carga manual de cemento 41
Imagen No. 8 Camión mezclador posicionado para preparación 43
Imagen No. 9 Roboshot aplicando concreto lanzado 46
Imagen No. 10 Distribución romboidal de pernos 50
Imagen No. 11 Pala descargando cemento 52
Imagen No. 12 Operarios realizando cargan manual de cemento 52
Imagen No. 13 Planta Tecnus TM 30 en campo 59
Imagen No. 14 Software de la planta 60
Imagen No. 15 Interfaz de formulas 61
Imagen No. 16 Tolva de arena 61
Imagen No. 17 Pestaña de áridos 62
Imagen No. 18 Balanza de cemento 62
Imagen No. 19 Silo de cemento 63
Imagen No. 20 Pestaña de cemento 63

Imagen No. 21 Pestaña de agua....64
Imagen No. 22 Camión posicionado para descarga de componentes....64
Imagen No. 23 Display Roboshot (consumos)....84
Imagen No. 24 Calibre de 5 cm....84

Índice de tablas

Tabla No. 1 Tabla GSI....12
Tabla No. 2 Tipos de acelerantes y sus propiedades....27
Tabla No. 3 Diseño de concreto lanzado en mina Farallón Negro....34
Tabla No. 4 Dosificación teórica para 3500 kg de agregado....41
Tabla No. 5 Tiempos de preparación manual....42
Tabla No. 6 Tiempos de ciclo de camión mezclador....44
Tabla No. 7 Tiempos de camión mezclador....44
Tabla No. 8 Tiempos de ciclo de aplicación de concreto lanzado....47
Tabla No. 9 Tiempos de aplicación de concreto lanzado....48
Tabla No. 10 Tiempos de colocación de pernos....51
Tabla No. 11 Análisis de causas sobre composición....54
Tabla No. 12 Análisis de causas sobre seguridad....54
Tabla No. 13 Análisis de causas de productividad directa....55
Tabla No. 14 Análisis de causas de productividad indirecta....55
Tabla No. 15 Análisis de causas de profundización....56
Tabla No. 16 Matriz de complejidad vs beneficio....57
Tabla No. 17 Plan de acción....58
Tabla No. 18 Ciclo de planta mecanizada....65
Tabla No. 19 Tiempos de ciclo para camión (Alternativa 1)....67
Tabla No. 20 Tiempos de camión (Alternativa 1)....67
Tabla No. 21 KPI de camión (Alternativa 1)....68
Tabla No. 22 Tiempos de ciclo para roboshot (Alternativa 1)....69
Tabla No. 23 Tiempo de roboshot (Alternativa 1)....69
Tabla No. 24 KPI de roboshot (Alternativa 1)....70
Tabla No. 25 Tiempos de ciclo para "camión 1" (Alternativa 2)....71
Tabla No. 26 Tiempos de "camión 1" (Alternativa 2)....71
Tabla No. 27 KPI de "camión 1" (Alternativa 2)....72
Tabla No. 28 Tiempos de ciclo para "camión 2" (Alternativa 2)....73
Tabla No. 29 Tiempos de "camión 2" (Alternativa 2)....73
Tabla No. 30 KPI de "camión 2" (Alternativa 2)....74
Tabla No. 31 Tiempos de ciclo para roboshot (Alternativa 2)....74
Tabla No. 32 Tiempos de roboshot (Alternativa 2)....75
Tabla No. 33 KPI de roboshot (Alternativa 2)....75
Tabla No. 34 Tiempos de ciclo para "camión 1" (Alternativa 3)....76
Tabla No. 35 Tiempos de "camión 1" (Alternativa 3)....76
Tabla No. 36 KPI de "camión 1" (Alternativa 3)....77
Tabla No. 37 Tiempos de ciclo para "camión 2" (Alternativa 3)....78
Tabla No. 38 Tiempos de "camión 2" (Alternativa 3)....78
Tabla No. 39 KPI de "camión 2" (Alternativa 3)....79
Tabla No. 40 Tiempos de ciclo para "roboshot 1" (Alternativa 3)....79
Tabla No. 41 Tiempos de "roboshot 1" (Alternativa 3)....79
Tabla No. 42 KPI de "roboshot 1" (Alternativa 3)....80

Tabla No. 43 Tiempos de ciclo para "roboshot 2" (Alternativa 3) 81
Tabla No. 44 Tiempos de "roboshot 2" (Alternativa 3) 81
Tabla No. 45 KPI de "roboshot 2" (Alternativa 3) 82
Tabla No. 46 Medición en campo de parámetros 84
Tabla No. 47 Parámetros geométricos 85
Tabla No. 48 Parámetros operativos 86
Tabla No. 49 Parámetros de componentes de concreto 87
Tabla No. 50 Desvió de mediciones 87
Tabla No. 51 Costos de equipo empernador 89
Tabla No. 52 Costo de equipo en función de los pernos....89
Tabla No. 53 Costos de roboshot 90
Tabla No. 54 Costos de camión mezclador 90
Tabla No. 55 Costos de planta 91
Tabla No. 56 Costos de " SOSTENIMIENTO (SH 5 cm + Malla con XbP)"....92
Tabla No. 57 Costos de "SOSTENIMIENTO (SH 10 cm + pernos + mallas)" 93
Tabla No. 58 Costos de SH de sacrificio (5 cm) 94
Tabla No. 59 Costos de SH de sacrificio (10 cm) 94

Índice de graficas

Grafica No. 1 Distribución de tiempos en preparación manual 42
Grafica No. 2 Distribución de tiempos gesionables y tiempo efectivo (Camión mezclador) 44
Grafica No. 3 Distribución de tiempos de ciclo en minutos (Camión mezclador) 45
Grafica No. 4 Productividad (Camión mezclador) 45
Grafica No. 5 Disponibilidad mecánica (Camión mezclador) 46
Grafica No. 6 Distribución de tiempos gestionables y tiempo efectivo (Roboshot) 48
Grafica No. 7 Distribución de tiempos de ciclo en minutos (Roboshot) 48
Grafica No. 8 Productividad (Roboshot) 49
Grafica No. 9 Disponibilidad mecánica (Roboshot) 49
Grafica No. 10 Diagrama de Gantt para camión (Alternativa 1) 67
Grafica No. 11 Distribución de tiempos de camión (Alternativa 1) 68
Grafica No. 12 Diagrama de Gantt para roboshot (Alternativa 1) 69
Grafica No. 13 Distribución de tiempos de roboshot (Alternativa 1) 70
Grafica No. 14 Diagrama de Gantt para "camión 1" (Alternativa 2) 71
Grafica No. 15 Distribución de tiempos de "camión 1" (Alternativa 2) 72
Grafica No. 16 Diagrama de Gantt para "camión 2" (Alternativa 2) 72
Grafica No. 17 Distribución de tiempos de "camión 2" (Alternativa 2) 73
Grafica No. 18 Diagrama de Gantt para roboshot (Alternativa 2) 74
Grafica No. 19 Distribución de tiempos de roboshot (Alternativa 2) 75
Grafica No. 20 Diagrama de Gantt para "camión 1" (Alternativa 3) 76
Grafica No. 21 Distribución de tiempos de "camión 1" (Alternativa 3) 77
Grafica No. 22 Diagrama de Gantt para "camión 2" (Alternativa 3) 77
Grafica No. 23 Distribución de tiempos de "camión 2" (Alternativa 3) 78
Grafica No. 24 Diagrama de Gantt para "roboshot 1" (Alternativa 3) 79
Grafica No. 25 Distribución de tiempos de "roboshot 1" (Alternativa 3) 80
Grafica No. 26 Diagrama de Gantt para "roboshot 2" (Alternativa 3) 80
Grafica No. 27 Distribución de tiempos de "roboshot 2" (Alternativa 3) 81
Grafica No. 28 Distribución de costos "SOSTENIMIENTO (SH 5 cm + Malla con XbP)" 92
Grafica No. 29 Distribución de costos "SOSTENIMIENTO (SH 10 cm + pernos + mallas)" 93

Grafica No. 30 Distribución de costos "SOSTENIMIENTO SH 5 cm" 94
Grafica No. 31 Distribución de costos "SOSTENIMIENTO 10 cm" 95
Grafica No. 32 Comparación de tiempos de preparación manual y mecanizada 96
Grafica No. 33 Comparación de tiempos de camiones 97
Grafica No. 34 Productividad de camiones (m^3/hr) 98
Grafica No. 35 Productividad de camiones (m^3/turno) 98
Grafica No. 36 Tiempos de roboshots 99
Grafica No. 37 Productividad de Roboshot (m^3/hr) 100
Grafica No. 38 Productividad de Roboshot (m^3/turno) 100
Grafica No. 39 Costos totales de sostenimiento 101

RESUMEN

El presente trabajo fue desarrollado en el Complejo Minero Farallón Negro, YMAD, ubicado en los Nacimientos en el distrito Hualfin, Departamento Belén, Provincia de Catamarca. Actualmente se está explotando veta Encuentro, mediante el método de explotación de taladros largos, donde se extraen minerales que contienen oro y plata.

Este estudio, analiza la implementación del sistema mecanizado para la preparación de concreto lanzado, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa, reducir los tiempos de ciclo y optimizar la calidad del concreto.

En una primera etapa, se realizó un levantamiento en campo de la preparación manual, donde se estudió los distintos trabajos vinculados al concreto lanzado (preparación, transporte y aplicación), con el fin de medir los tiempos y determinar las problemáticas operativas.

Posteriormente, se analizó la mecanización del proceso y el incremento de los equipos de transporte y aplicación de shotcrete, proponiendo alternativas de mejora. Se definieron ciclos de trabajo, se analizaron parámetros operativos y se buscó la coordinación óptima para obtener el máximo rendimiento en la colocación del sostenimiento.

Finalmente, se definió un ratio operativo de concreto lanzado adaptado a las condiciones específicas de la mina, constituyendo un recurso técnico valioso para futuras planificaciones. Además, se cuantificaron los costos asociados a los estándares de sostenimiento, permitiendo determinar los recursos necesarios para garantizar la estabilidad de las excavaciones.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

La mecanización ha surgido como una herramienta clave para mejorar la productividad, la seguridad y la eficiencia en las operaciones mineras. Permite automatizar procesos, reducir la intervención humana en tareas peligrosas y aumentar la precisión y la calidad del producto final. Las empresas mineras buscan constantemente estas tecnologías, ya que mejoran notablemente la productividad, las condiciones de trabajo y reducen los costos, entre otras ventajas.

El ciclo de minado consta de perforación, carga explosiva, voladura, ventilación, limpieza, saneo y sostenimiento, repitiéndose de manera cíclica. Este trabajo se centra en la operación unitaria del sostenimiento, destinada a mantener la estabilidad y seguridad de las excavaciones subterráneas. En la explotación subterránea de mina Farallón Negro, las zonas que requieren estabilización se determinan de acuerdo con los estándares establecidos por el área de geomecánica. Se han clasificado cinco tipos de calidad de roca, y el control estructural en los sectores de menor calidad (tipos D y E) resulta especialmente crítico, ya que el mineral se localiza con mayor frecuencia en estas áreas y es donde se aplicará shotcrete.

La preparación del concreto lanzado, se realiza actualmente de forma manual. Esta modalidad genera diversos inconvenientes, entre los que destacan las variaciones en la resistencia a la compresión del concreto, el consumo irregular de insumos, una ocupación excesiva del personal en tareas manuales, la disminución en las condiciones de seguridad y una reducción en el rendimiento de los equipos. Estos factores afectan negativamente la productividad y la eficiencia del proceso. Para superar estas limitaciones, es necesario mecanizar la preparación, además de incrementar la cantidad de equipos de transporte y de lanzado de concreto (roboshot). Optimizar esta etapa nos permitirá reanudar el ciclo de trabajo lo antes posible. Al tratarse de una tarea diaria, un buen manejo de la misma facilita la apertura de más frentes de avance, lo que contribuye directamente a mejorar la productividad de la mina.

Por último, es fundamental tener en cuenta los costos asociados a cualquier método de estabilización. La gestión de costos implica identificar, registrar, clasificar y controlar los gastos incurridos en la operación. Estudiar estos costos permite optimizar la rentabilidad y competitividad de la empresa, facilitando así el cumplimiento de sus objetivos.

1.1 Objetivo general

Implementar el sistema mecanizado en la preparación de concreto lanzado en Mina Farallón Negro, con el fin de estandarizar la dosificación, optimizar los ciclos de trabajo, mejorar los parámetros operativos y la seguridad en labores de sostenimiento, contribuyendo así a la reducción de costos y al incremento de la productividad de la mina.

1.2 Objetivos específicos

- Analizar y determinar las demoras presentes en los ciclos de preparación manual, transporte y colocación de concreto lanzado, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora en el desempeño operativo.
- Determinar los tiempos gestionables y no gestionables en las distintas etapas del proceso de preparación, transporte y colocación de concreto lanzado.
- Calcular los parámetros operativos y ciclos de trabajo por la mecanización de la preparación de concreto e incremento de la flota de equipos.
- Determinar un ratio operativo de concreto lanzado (m^3/m) a partir de mediciones en campo.
- Calcular los costos asociados a los estándares de sostenimiento recomendados por geomecánica.

1.3 Alcances y limitaciones

El presente trabajo se enfoca en la implementación de un sistema mecanizado para la preparación de concreto lanzado en la Mina Farallón Negro. Se abordarán los procesos involucrados en la preparación, transporte y aplicación de shotcrete, con el objetivo de evaluar el impacto de la incorporación de una planta dosificadora mecanizada (Tecnus TM 30) y el incremento en la flota de equipos de lanzado. El estudio contempla la comparación del nuevo sistema mecanizado con el sistema manual previo, identificando mejoras en los ciclos de trabajo y en los parámetros operativos.

El análisis se centra exclusivamente en las condiciones específicas de la Mina Farallón Negro, por lo que los resultados, ratio operativo y conclusiones obtenidas podrían no ser directamente aplicables a otras operaciones con condiciones geomecánicas, logísticas y de operación diferentes. La precisión del análisis para el cálculo de los costos dependerá de la calidad y disponibilidad de los datos proporcionados por la empresa.

1.4 Metodología de trabajo

Este trabajo adoptará un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo-correlacional. Se buscará describir las variables en la implementación de un sistema mecanizado para la preparación de concreto lanzado en la Mina Farallón Negro. Se abordarán los procesos involucrados en la preparación, transporte y aplicación de shotcrete.

1- Relevamiento en campo de operaciones de sostenimiento

La primera etapa consistirá en el relevamiento de las operaciones de sostenimiento para comprender su ejecución. Durante esta fase, se detallarán las operaciones y se tomarán los ciclos de trabajo. Se realizará el análisis y la organización de la información que se recolectará. Adicionalmente, se evaluará la disponibilidad de datos que serán proporcionados por la empresa para las operaciones de preparación manual de concreto, aplicación de concreto lanzado, transporte de concreto y colocación de sostenimiento (empernado).

2- Identificación de problemas y consecuencias.

Con el propósito de evaluar el desempeño del proceso de sostenimiento con concreto lanzado en Mina Farallón Negro, se realizará la observación y medición directa de las actividades en el terreno. Esta metodología permitirá identificar tanto las prácticas operativas vigentes como las principales dificultades y oportunidades de mejora.

3- Análisis de la implementación del sistema mecanizado.

A partir de la base de datos que se recopilará sobre distintos aspectos operativos en la mina, se analizarán, se calcularán y se determinarán los parámetros necesarios para los apartados vinculados a la implementación del sistema mecanizado en la preparación del concreto:

- Simulación de ciclos de trabajo con sistema mecanizado, preparación, transporte y aplicación.
- Desarrollo de diagramas de Gantt para cada uno de los equipos de trabajo.
- Implementación de nuevos ciclos de trabajo para analizar los KPI.
- Evaluación de parámetros operativos.
- Determinación y análisis de costos de sostenimiento.
- Determinación de ratio operativo (m^3/m)

1.5 Generalidades

1.5.1 Ubicación geográfica del yacimiento

El distrito mineralizado Farallón Negro se localiza en la concesión minera de Yacimientos Mineros Aguas de Dionisio (YMAD), que tiene una superficie de 334 km^2, ubicado en el distrito Hualfin - Los Nacimientos, Departamento Belén, Provincia de Catamarca, República Argentina, a una altura promedio de 2.600 m.s.n.m. Sus límites en coordenadas geográficas medias son: 27º 15 Y 27º 20 de latitud sur y 66º 35 y 66º 40 de longitud Oeste.

Se accede a través de la ruta nacional 40 empalmando posteriormente con la ruta provincial 35. Los centros poblados más próximos son: Los Nacimientos, a 25 km; Hualfín, a 35 km; Belén, a 100 km; Santa María, a 120 km y Andalgalá, a 180 km (Figura No. 1).

Figura No. 1 Ruta de acceso a Mina Farallón Negro

1.5.2 Marco geológico y mineralización

Las unidades geológicas que están comprendidas dentro del área de la reserva de YMAD pertenecen en su casi totalidad al Complejo Volcánico de Farallón Negro de edad Terciaria. El Grupo Volcánico Farallón Negro comprende gran variedad de rocas cuya composición varía desde basalto - basandesita hasta riolita, y constituyen tobas, brechas (flujos piroclásticos), diques, coladas, domos endógenos y stocks (Figura No. 2). Las rocas más abundantes son andesitas y basandesitas. En general la forma del complejo se puede considerar como un óvalo cuyo eje mayor, que mide unos 18 km, está orientada NO-SE, y su eje menor, de 16 km de largo, está orientado NE-SO. La superficie es de alrededor de 255 km^2.

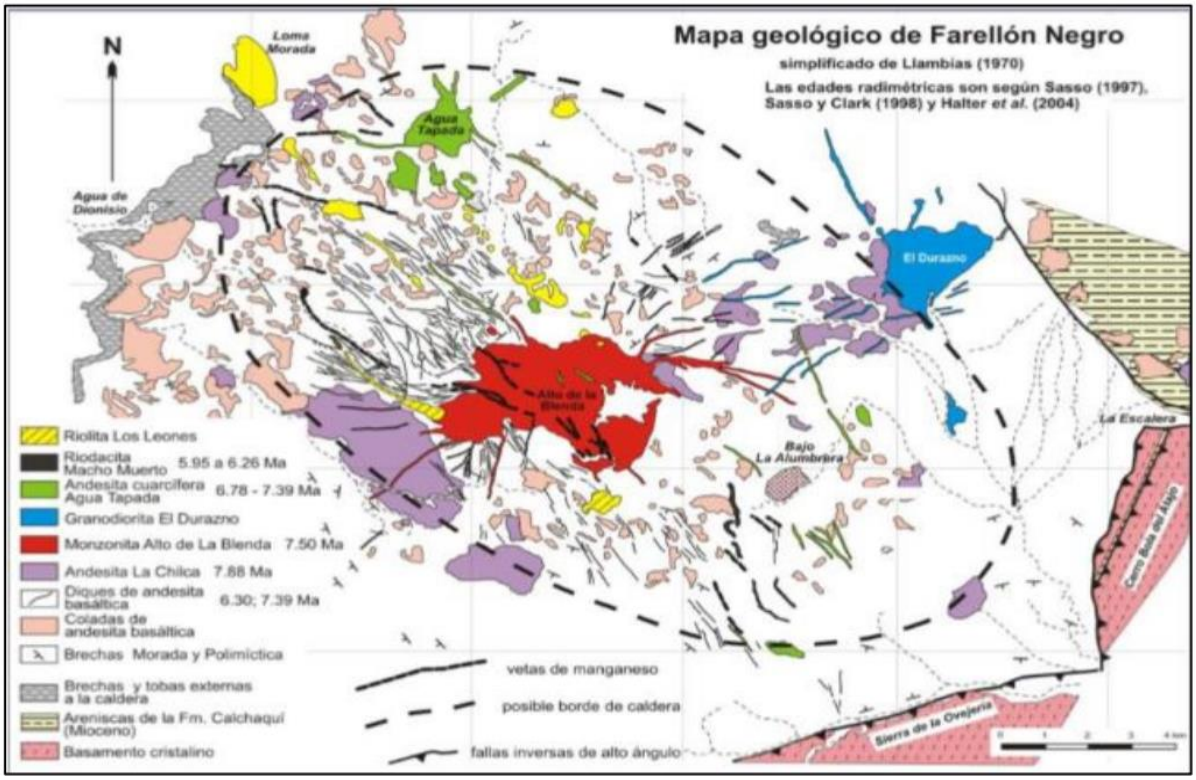


Figura No. 2 Mapa geológico de Farallón Negro

Desde 1978 la empresa obtiene oro y plata, que proviene de la explotación de los yacimientos vetiformes. El complejo volcánico Farallón Negro comprende dos sistemas vetiformes: Farallón Negro-Alto de la Blenda y Capillitas. El primero está localizado a 8 km al oeste-noroeste de Bajo La Alumbrera, emplazado en rocas definidas como brechas andesíticas y por un stock de composición monzonítica de Alto de la Blenda, aunque las porciones más productivas del sistema están localizadas cerca del stock, aparecen en diques andesíticos portadores de pirita que intruyen a las brechas y a la monzonita (Montenegro, 1993).

El depósito Farallón Negro - Alto de la Blenda, representa un tipo de depósito epitermal de baja sulfuración, reconocido por Sillitoe (1989) caracterizado por una alteración sericítica intensa en la roca de caja, así como una relación espacial estrecha con rocas intrusivas portadoras comúnmente de mineralización tipo pórfido cuprífero, formada a mayores profundidades que los depósitos epitermales de baja sulfuración.

1.6 Aspectos operativos de la mina

1.6.1 Método de Explotación

El método de explotación utilizado actualmente es el de "Tiros Largos", el mismo consiste en realizar las labores de desarrollo (rampa y accesos) para acceder al cuerpo mineralizado. Una vez realizadas estas labores, se inician las labores de preparación (basales), las cuales consisten en dos galerías en dirección al cuerpo mineralizado en diferentes niveles.

Desde las cuales, posteriormente se realizan perforaciones verticales (ascendentes o descendentes) de longitud entre 10 a 14 m generalmente en veta. Por último, se realiza la rainura, esta operación genera la cara libre para poder iniciar el camareo e iniciar la explotación de la cámara.

Se realiza la explotación en retirada, generando la voladura de 1 a 2 perfiles por pega, con un burden de 1,2 m entre perfiles. El material volado es luego retirado por palas cargadoras, las cuales son operadas por tele comando para mayor seguridad (debido a la presencia de cámaras abiertas), transportando el mineral a bolsillos, en donde camiones volquetes con capacidades de 10 a 20 tn lo extraen a superficie.

Cuando se ha explotado la cámara completa, se rellena el volumen correspondiente con material estéril, de tipo detrítico, proveniente de canteras ubicadas en superficie y/o de labores de desarrollo; dicho material es ingresado al interior de mina por medio de chimeneas de relleno o camiones; esto sirve para el sostenimiento de las cajas de las cámaras, como así también, de piso de trabajo para explotar la cámara superior.

A continuación, se detalla la secuencia del método de explotación:

1- Preparación de galerías basales: Se realizan las dos galerías basales sobre mineral. Luego se conectan ambas mediante una chimenea (rainura o slot), que puede ser perforada desde el nivel inferior o superior, esta chimenea se construye con el fin de conectar los niveles y generar la cara libre para que inicie la producción (Figura No. 3).

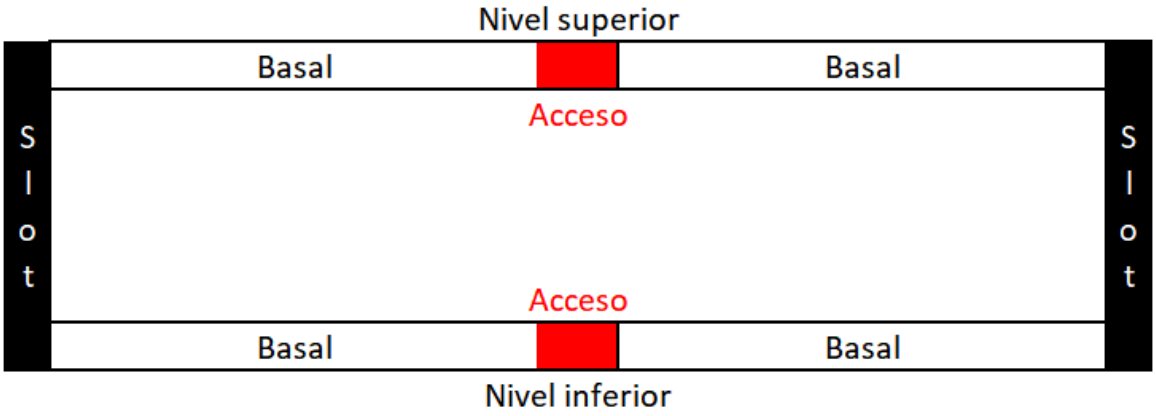


Figura No. 3 Labores de preparación

2- Perforación de perfiles de producción: Dependiendo de las características de la veta (generalmente potencia), pueden ser verticales paralelos o en abanico.

3- Producción: Se procede a la explotación de la cámara mediante voladuras de las filas de producción en retirada y en lo posible de manera uniforme entre basales, con posterior extracción de mineral con cargadores (Figura No. 4).

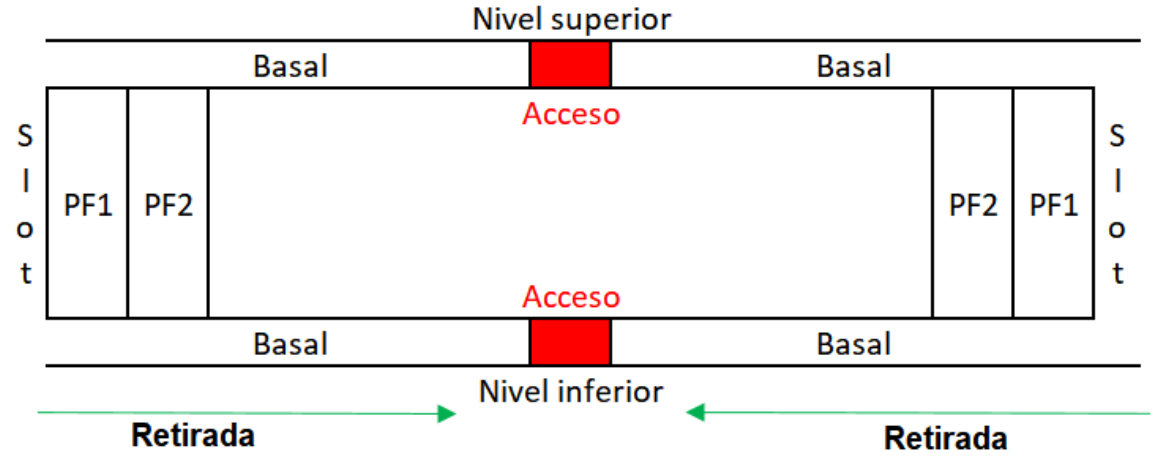


Figura No. 4 Ejecución de método de explotación

4- Relleno de cámara: Una vez realizada la explotación de la cámara se procede al relleno de la misma con material estéril, es decir relleno detrítico. Dependiendo de las condiciones geomecánicas, puede ser rellenado a medida que se avanza con la explotación de la cámara, o bien al finalizar la explotación. Una vez rellenada la cámara, el nivel superior sirve de piso para continuar explotando la veta en forma ascendente.

1.6.2 Tratamiento del mineral

El mineral minado es clasificado por sus leyes de Oro, donde el mineral de alta ley es de 3 - 5 gr/tn y el de baja ley es de 1,5 - 3 gr/tn, para luego ser enviado a planta de beneficio en donde se divide en dos procesos de concentración.

El mineral de alta ley es tratado a través de lixiviación por agitación convencional con solución cianurada, y el mineral de baja ley se procesa en pilas de lixiviación con forma trapezoidal con dimensiones de aproximadamente 30 m de ancho, por 50 m de largo y 2 m de altura.

Las soluciones ricas recuperadas de ambos procesos se almacenan en un tanque de solución rica, que luego se envían a la etapa de extracción de los metales de interés económico (Oro y Plata), aplicando el método Merrill - Crowe, el cual utiliza polvo de Zinc para precipitar mediante reacciones de óxido-reducción los iones de Au y Ag contenidos en las soluciones de lixiviación rica, para posterior fundición y formación del Bullión.

1.6.3 Capacidad de producción

El proceso de explotación y beneficio mineral en mina Farallón Negro permite la obtención de bulliones de oro y plata, que constituyen la forma en que se comercializan ambos metales en los mercados nacionales e internacionales. Los bulliones son barras metálicas fundidas con altos grados de pureza, generalmente doré, que luego se refinan en plantas especializadas para obtener metales finos listos para su venta final o industrialización.

La capacidad productiva anual de la mina comprende aproximadamente 240000 tn de mineral de baja ley (1,5 a 3 gr/tn) y unas 80000 tn de mineral de alta ley (> 3 gr/tn). La clasificación entre baja y alta ley se refiere a la concentración de metales valiosos presentes en el mineral extraído.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Ciclo de minado

El ciclo de minado es un proceso sistemático y secuencial que comprende todas las actividades necesarias para la extracción de minerales desde la mina. Las etapas o fases del ciclo de explotación son: perforación, carga explosiva, voladura, ventilación, limpieza y saneo, sostenimiento (Figura No. 5).

Figura No. 5 Ciclo de minado

El tiempo de ciclo va a depender de la eficiencia que se tenga en cada una de las operaciones unitarias, si se logra mejorar los tiempos, se hacen más cortos los ciclo por lo tanto aumenta la producción debido a que se tienen más frentes disponibles, se pueden realizar más ciclos por turno y la extracción de mineral hacia el exterior se realiza de manera más rápida.

Perforación

La perforación se ejecuta con equipos jumbos electrohidráulicos, el tipo de perforación puede ser horizontal, hablando de labores de preparación y desarrollo, la longitud de perforación varia de 3,6 m a 4,1 m dependiendo el equipo utilizado y con diámetros de perforación de 45 mm a 51 mm dependiendo el tipo de roca.

Carga explosiva y voladura

Las secciones que se manejan en el proyecto son de 4,1 m x 4,1 m para labores de desarrollo y de 3,8 m x 3,8 m para labores de preparación. Las mallas de carguío son variables dependiendo las condiciones geológicas.

Como explosivos se utilizan emulsiones encartuchadas como carga de fondo, como carga de columna ANFO a granel y tacos inertes. Los accesorios que se utilizan son detonadores Nonel, cordón detonante, mecha de seguridad, entre otros.

Ventilación

Los gases y el polvo de la voladura se extraen a partir de un sistema de ventilación generalmente impelente, que permite diluir los gases para alcanzar las condiciones que sean apropiadas para que el personal ingrese de manera segura. El tiempo de ventilación mínimo recomendado es de 40 min y las mangas se colocan aproximadamente a 30 m del frente de trabajo.

Limpieza y saneo

El tipo de saneo que se utiliza por lo general es manual con espadines. En esta etapa se busca desprender de las paredes las rocas sueltas que generen un posible riesgo para las personas que se encuentren en la zona de trabajo. Luego, en la limpieza, se hace la extracción de roca suelta con equipos cargadores de perfil bajo hacia los bolsillos, donde más tarde se hará la extracción cargando camiones de 10 a 20 tn de capacidad.

Sostenimiento

Hay varios tipos de elementos para el sostenimiento; su utilización dependerá de la evaluación geomecánica del macizo rocoso. El más utilizado en sostenimiento sistemático es la proyección de shotcrete, perno y malla electro soldada. Para la colocación de pernos se emplean los equipos empernadores.

2.2 Sostenimiento y estabilización del macizo rocoso

Se denomina así al conjunto de elementos que se instalan durante la ejecución de una labor subterránea para compensar los desequilibrios de los esfuerzos provocados por dicha excavación en el macizo rocoso, con el propósito de asegurar la estabilidad de la labor y garantizar la seguridad del personal y equipos.

Refuerzo: también se le denomina sostenimiento activo, es el refuerzo de la roca donde los elementos de sostenimiento son una parte integral del macizo rocoso mejorando las propiedades mecánicas de éste. El principal objetivo es conservar la resistencia inherente del macizo rocoso de tal forma que se auto soporte; por ejemplo, pernos de anclaje, cables de acero, entre otros.

Soporte: también se le denomina sostenimiento pasivo, es el soporte del macizo rocoso, donde los elementos de sostenimiento son externos al macizo rocoso y dependen del movimiento del mismo. El objetivo principal es realmente soportar el macizo rocoso, es decir, soportar el peso de los bloques de roca intacta delimitados por discontinuidades o las zonas de roca alterada, a través de elementos estructurales; por ejemplo, cimbras metálicas, malla electrosoldada, shotcrete, etc.

2.2.1 Sostenimiento en Mina Farallón Negro

Para determinar el sostenimiento que se utilizará en las labores, el área de Servicios Técnicos, particularmente Geomecánica, establece estándares en función de la calidad de la roca. Estos estándares se basan en el Índice de Resistencia Geológica (GSI por sus siglas en inglés) o método de clasificación GSI es un sistema de caracterización de las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos. Esta calificación se aplica para todo tipo de labores dentro del yacimiento, ya sean de desarrollo o de preparación.

Esta clasificación se describe en una tabla de doble entrada que consiste en determinar la calidad de roca en función de dos valores que son las condiciones estructurales observadas en la labor y la condición superficial de las discontinuidades observadas en el macizo rocoso (Tabla No. 1).

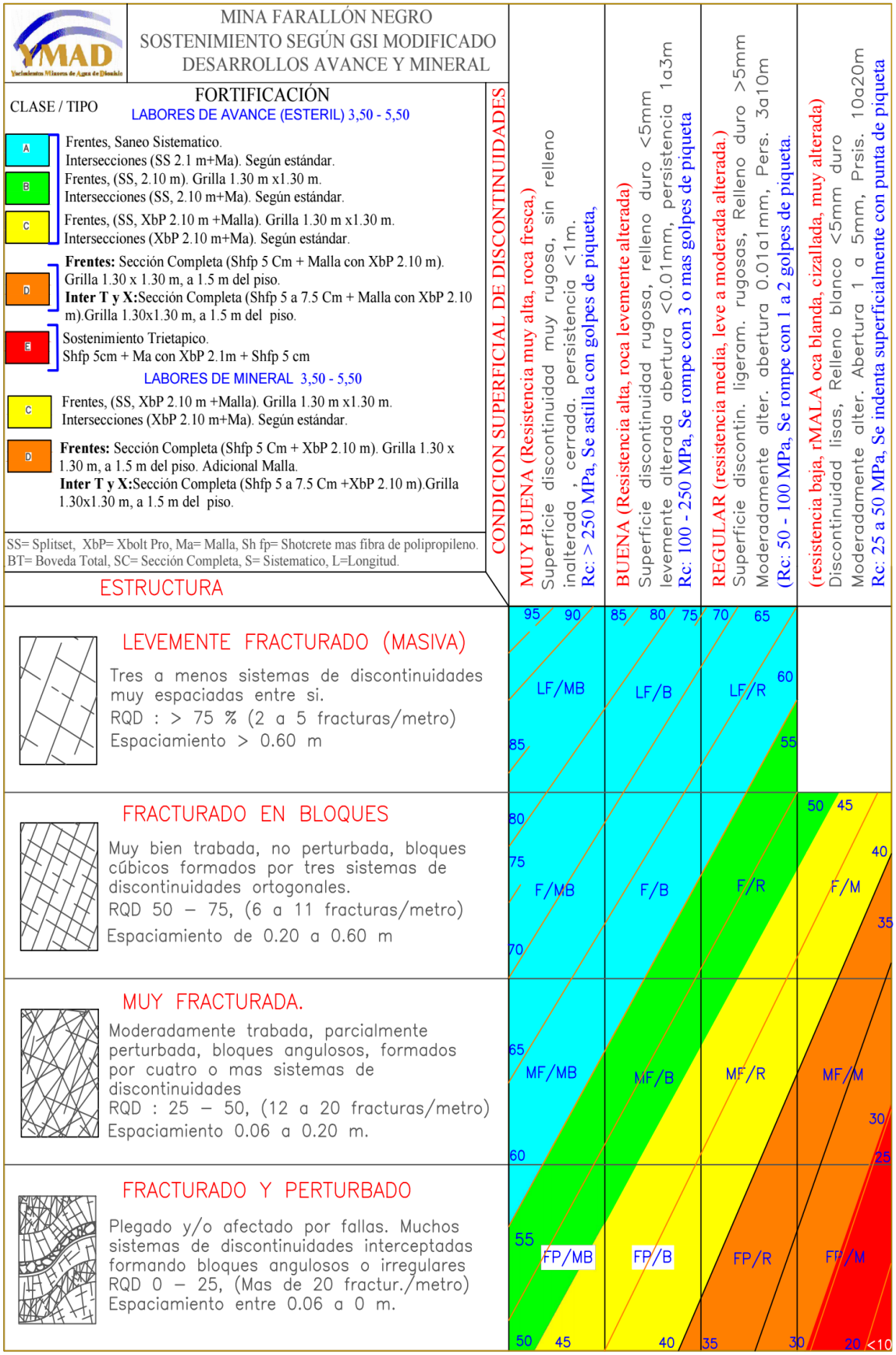


Tabla No. 1 Tabla GSI

Con estos parámetros y el levantamiento geomecánico de estructuras, se determina el tipo de roca presente en las labores, como así también se recomienda un tipo de sostenimiento mínimo a instalar en la labor, que puede variar por condiciones estructurales. Entonces, podríamos encontrarnos con cinco clases de rocas de diferentes calidades geomecánicas. La roca de mejor calidad es la clase A, mientras que la de peor calidad geomecánica (fracturada, baja cohesión, bajo UCS) es la clase E.

Con esta información, se realiza el mapa geomecánico que visualiza la caracterización de los distintos tipos de rocas presentes en una labor y las estructuras presentes (Figura No. 6).

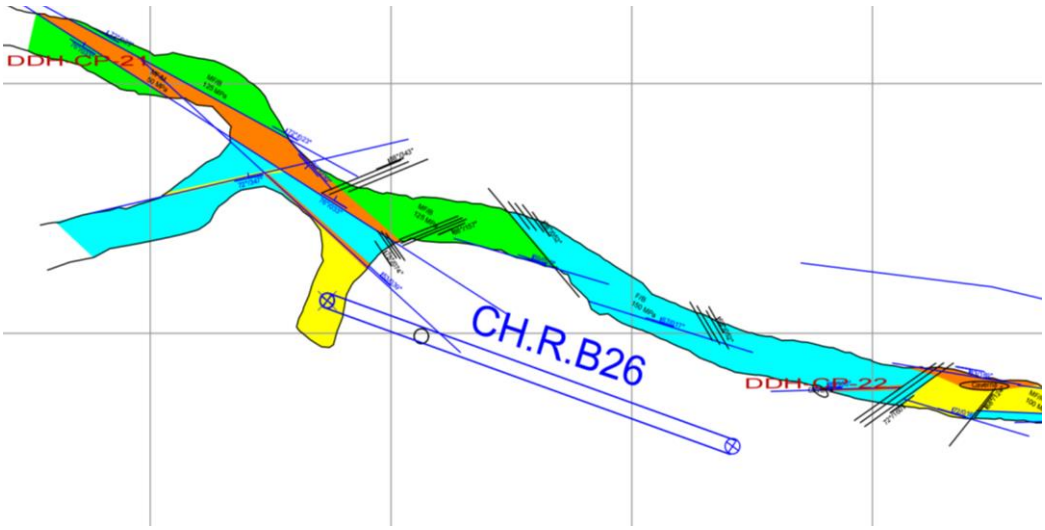


Figura No. 6 Mapa geomecánico - Basal 2446

Una vez confeccionado el mapa geomecánico se realiza el análisis de las estructuras presentes en conjunto con el tipo de roca del sector para poder construir el mapa de sostenimiento (Figura No. 7). Este mapa indica el sostenimiento a utilizar en las labores. Contiene toda la información para la ejecución y también si se debe colocar un sostenimiento extra debido a la presencia de alguna estructura puntual.

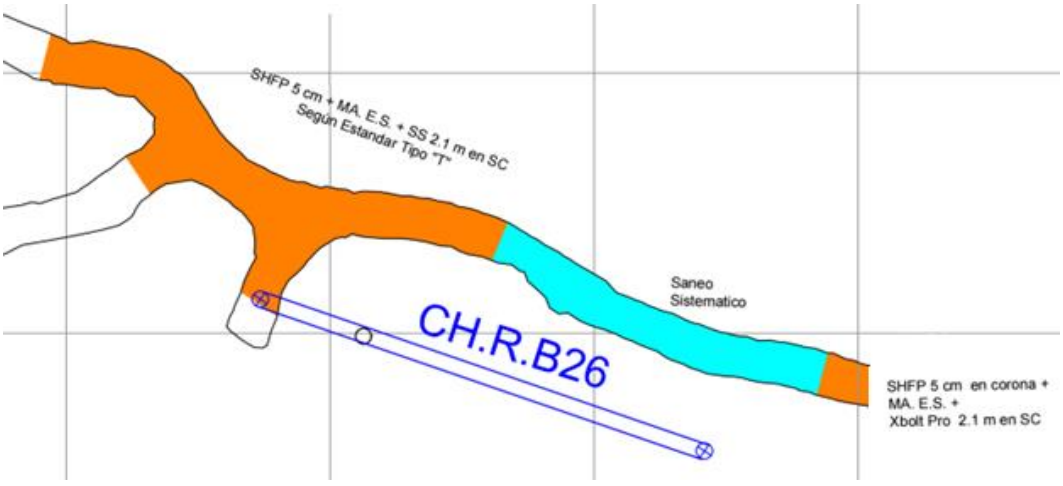


Figura No. 7 Mapa de sostenimiento - Basal 2446

2.2.2 Estándares de sostenimiento

Un estándar de sostenimiento es el conjunto de directrices técnicas que definen el tipo, cantidad y disposición de los elementos de soporte (pernos, mallas, concreto lanzado) requeridos para garantizar la estabilidad y seguridad de las excavaciones subterráneas, en función de la clasificación geomecánica del macizo rocoso. En este caso, la clasificación adoptada es el Geological Strength Index (GSI) de acuerdo a la Tabla No. 1.

2.2.2.1 Estándar de sostenimiento para labores lineales

Este estándar de sostenimiento consiste en la colocación de pernos separados a 1,3 m con una distribución romboidal. Las mallas electrosoldadas que se utilizan tienen dimensiones de 6 m x 2,6 m con cuadros de 10 cm que irán traslapadas 20 cm y la malla se tiene que colocar 1,5 m por encima del piso de la labor. Este estándar se aplica en rocas clase A, B y C, D y E (Figura No. 8).

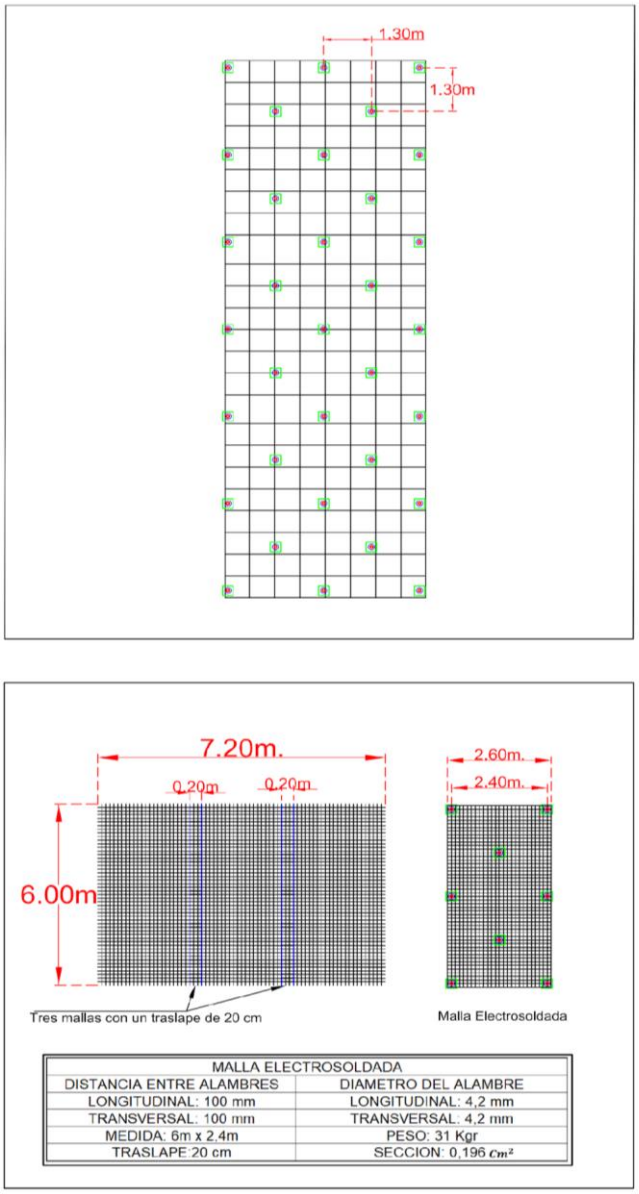


Figura No. 8 Disposición de mallas y pernos

2.2.2.2 Estándar de sostenimiento para labores tipo "T" y tipo "+"

En estos casos se utiliza un traslape mayor y suele aumentar la densidad de pernos, esto se debe a un aumento en el radio hidráulico de la zona, el traslape puede ser entre 1,5 m a 2 m dependiendo las condiciones del sector (Figura No. 9 y Figura No. 10).

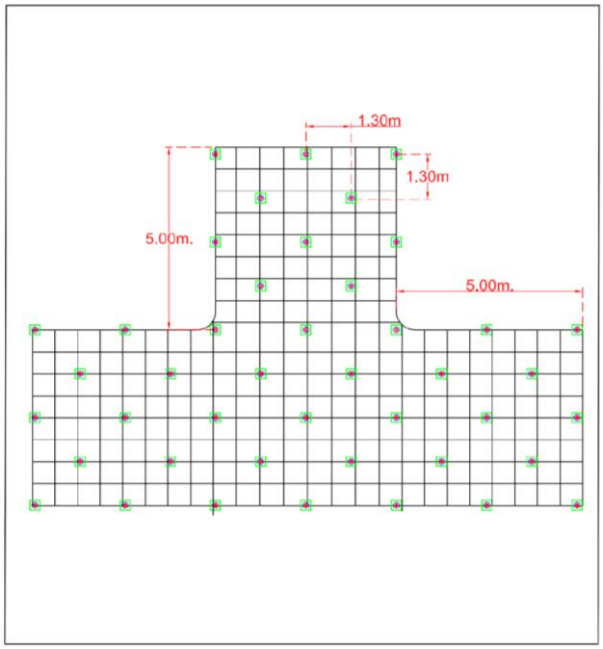


Figura No. 9 Disposición de mallas y pernos en labor tipo T

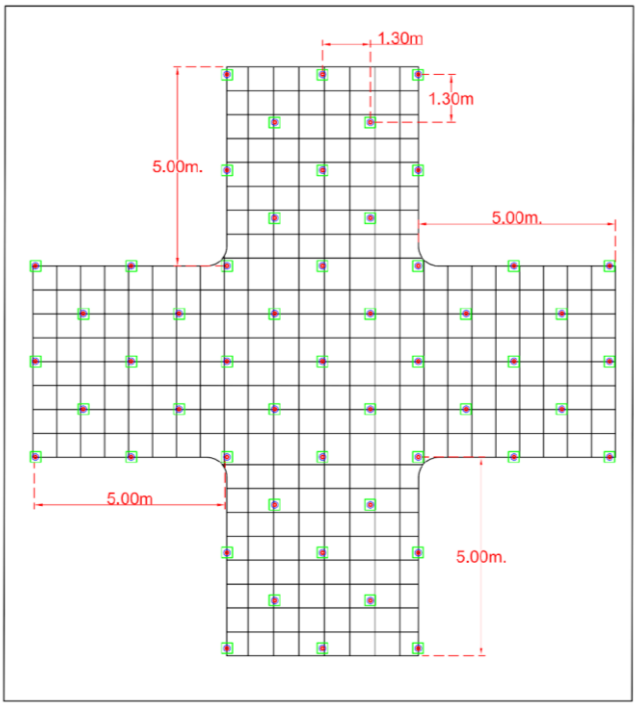


Figura No. 10 Disposición de mallas y pernos en labor tipo +

2.2.2.3 Estándar de sostenimiento para rocas clase D

Este estándar se aplica principalmente en roca tipo D, pero también es aplicable donde las características geomecánicas lo requieran. El estándar consiste en la aplicación de concreto lanzado, pernos y mallas. Como primer paso, se aplica concreto lanzado con fibras hasta alcanzar un espesor de 5 cm, tras lo cual se deja fraguar. Una vez que el concreto ha fraguado, se procede a la instalación de los pernos y las mallas. Los pernos se disponen en una configuración romboidal con una separación de 1,3 m. Las mallas electrosoldadas utilizadas tienen dimensiones de 6 m x 2,6 m, con cuadros de 10 cm, y se colocan con un traslape de 20 cm. La malla se tiene que colocar 1,5 m por encima del piso de la labor (Figura No. 11). El concreto lanzado por lo general se coloca en sección completa por cuestiones operativas.

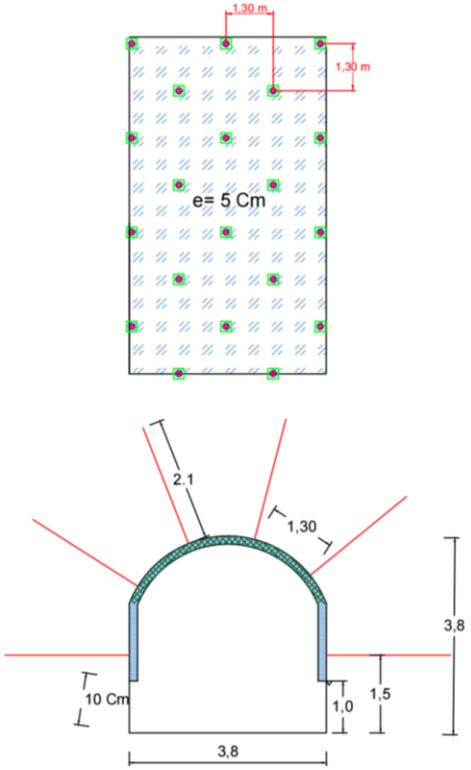


Figura No. 11 Estándar sostenimiento bietápico

2.2.2.4 Estándar de sostenimiento para clase E (Trietapico)

Este estándar se aplica principalmente en roca tipo E, pero también es aplicable donde las características geomecánicas lo requieran. El estándar consiste en la aplicación de concreto lanzado, pernos y mallas. Se aplica el concreto lanzado con fibras hasta obtener un espesor de 5 cm, se deja fraguar el concreto. Una vez fraguado se instalan los pernos y mallas, luego se vuelve a aplicar otra capa de concreto lanzado con fibras de 5 cm. Los pernos y las mallas tienen que ir colocados como se mencionó anteriormente (Figura No. 12). El concreto lanzado por lo general se coloca en sección completa por cuestiones operativas.

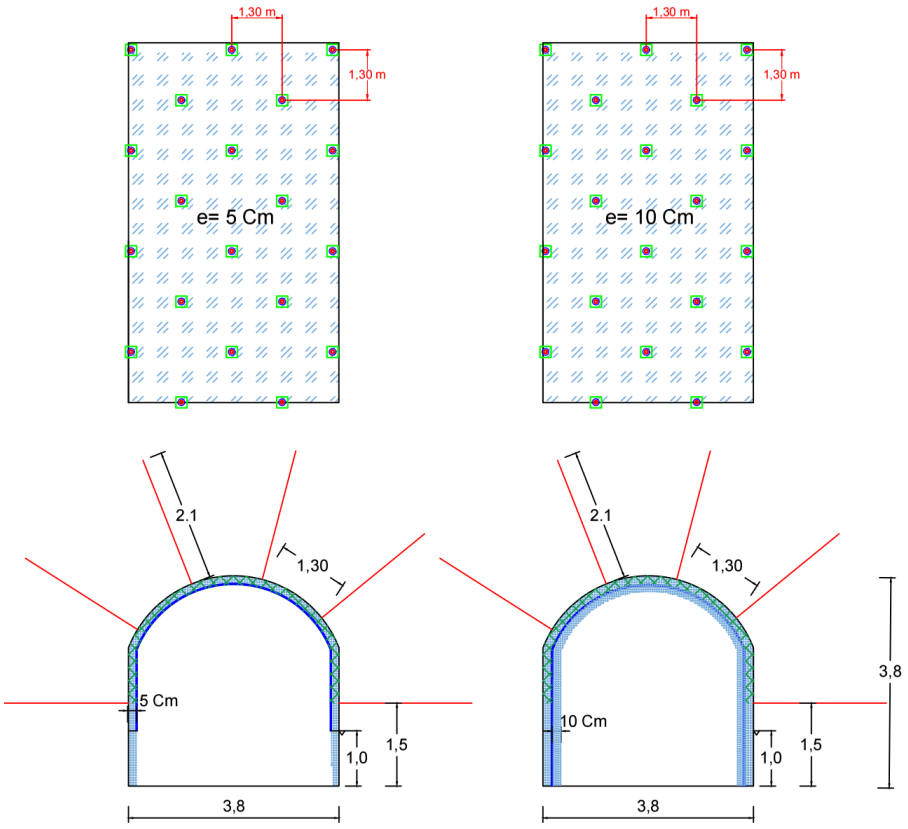


Figura No. 12 Estándar sostenimiento trietápico

2.2.2.5 Shotcrete de sacrificio

Este sostenimiento consiste en la aplicación de concreto lanzado con fibras, por lo general en basales de poca vida útil y también se aplica donde las condiciones geomecánicas lo requieran. Consiste en aplicar espesores de concreto que van desde los 2,5 cm hasta 10 cm dependiendo las condiciones de la labor (Figura No. 13). Muchas veces este concreto lanzado es combinado con pernos de anclaje.

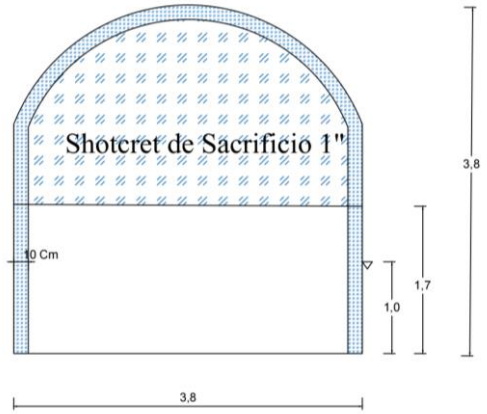


Figura No. 13 Estándar sostenimiento de sacrificio

2.2.3 Componentes del sostenimiento

Analizando los estándares utilizados en la mina, es posible resumir los componentes en tres: pernos de anclaje, mallas y concreto lanzado. Se puede hacer esta generalización ya que en la tabla GSI (Tabla No. 1) se puede observar que en las rocas clase B, C, D y E se utilizan pernos de anclaje y mallas. Y en las rocas clase D y E, se agrega el concreto lanzado.

2.2.3.1 Pernos de anclaje

Los pernos de anclaje son elementos de sostenimiento utilizados en minería subterránea para estabilizar el macizo rocoso alrededor de las excavaciones. Consisten generalmente en barras de acero que se insertan en taladros perforados en la roca y se fijan mediante fricción, adherencia o anclaje mecánico, con el fin de restringir el movimiento de bloques potencialmente inestables y mejorar la integridad estructural de la excavación.

Los pernos de anclaje trabajan generando un efecto de confinamiento interno en el macizo rocoso. Al atravesar planos de debilidad, conectan bloques que podrían moverse de forma independiente, evitando su desplazamiento. La fijación del perno a la roca (por fricción, adherencia o expansión) permite que las cargas generadas por la deformación del terreno se transfieran hacia zonas más estables, reduciendo el riesgo de colapsos.

Los pernos que se aplican principalmente son los anclados por fricción (resistencia al deslizamiento) a lo largo de toda la longitud del taladro, tienen diferentes mecanismos de sostenimiento en base a sus características constructivas (Figura No. 14).

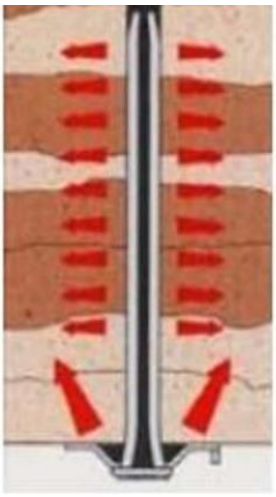


Figura No. 14 Mecanismo de fricción

Pernos Split Set

Consiste de un tubo ranurado a lo largo de su longitud, uno de los extremos es ahusado (forma alargada elipsoide) y el otro lleva un anillo soldado para mantener la platina (Figura No. 15).

Al ser introducido el perno a presión dentro de un taladro de menor diámetro, se genera una presión radial a lo largo de toda su longitud contra las paredes del taladro, cerrando parcialmente la ranura durante.

La fricción constituye el anclaje, el cual se opondrá al movimiento o separación de la roca al perno, logrando así indirectamente una tensión de carga.

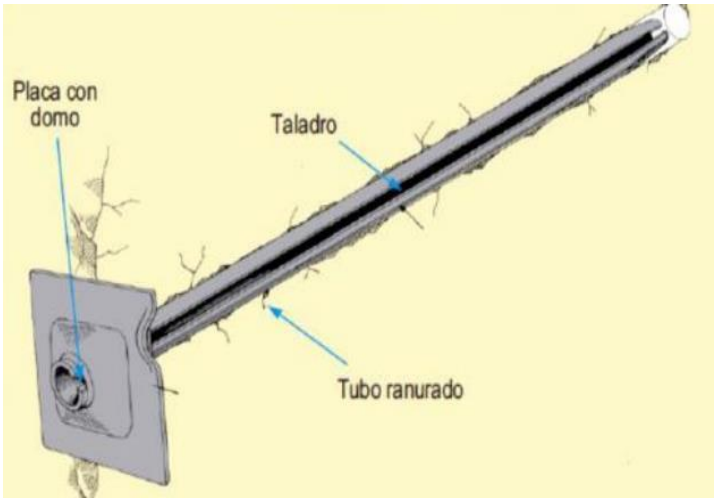


Figura No. 15 Perno Split set

El diámetro de los tubos ranurados varía de 35 a 46 mm, con longitudes de 1,5 m a 3,6 m. Pueden alcanzar valores de anclaje de 3 a 5 tn/m de longitud del perno dependiendo principalmente del diámetro de perforación, longitud de anclaje y del tipo de roca.

Pernos Swellex

El mecanismo de anclaje es por fricción y por ajuste mecánico, el cual funciona como un anclaje repartido (Figura No. 16). Está formado por un tubo de diámetro original de 41 mm y puede tener de 0,6 a 12 m de longitud o más, tiene de 25 a 28 mm de diámetro. Éste es insertado en un taladro de 32 a 39 mm de diámetro.

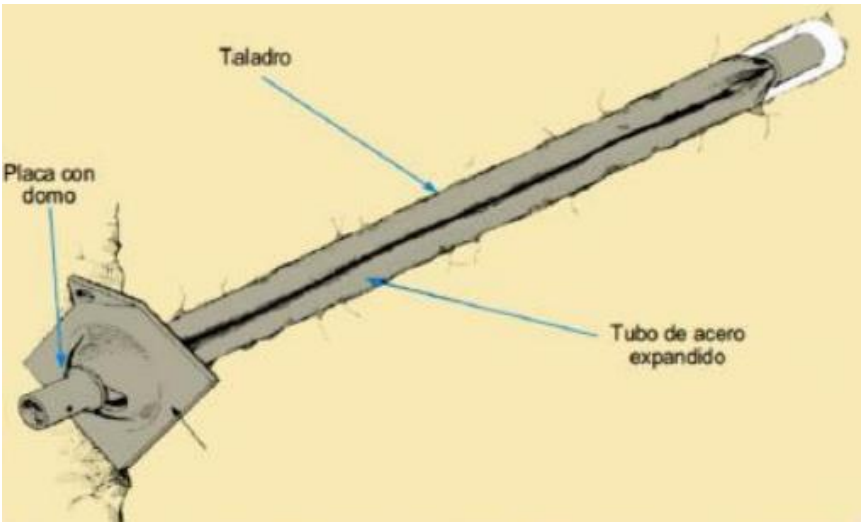


Figura No. 16 Perno Swellex

No se requiere ninguna fuerza de empuje durante su inserción. La varilla es activada por inyección de agua a alta presión (aproximadamente 300 bar) al interior del tubo plegado, el cual infla al mismo y lo pone en contacto con las paredes del taladro, adaptándose a las irregularidades de la superficie del taladro, así se consigue el anclaje. Capacidad de diseño de 12 a 24 tn.

Consideraciones en su utilización

Tiene mejor rendimiento que el Split set en terreno de menor calidad, para el refuerzo temporal. Debido a la existencia de distintos tipos de swellex, cubren un amplio rango de aplicación desde rocas duras a suaves y en terrenos muy fracturados. Tienen buena respuesta a los efectos cortantes de la roca. Dada su gran flexibilidad, éstos pueden instalarse en longitudes de hasta 3 veces la altura de la labor. El principal problema es la corrosión, aunque las nuevas versiones vienen cubiertas con una capa elástica protectora o son de acero inoxidable. Son más costosos que los split sets.

Procedimiento de instalación

Una vez perforado el taladro, se introduce el tubo. El diámetro de perforación es superior al diámetro del perno, por lo tanto, solo se lo introduce con el avance del equipo empernador. Hecho esto, mediante la bomba, se aplica agua a alta presión para inflar el tubo, proceso que dura unos pocos segundos. Cuando la presión del agua llega a 300 bar, la bomba para automáticamente (Figura No. 17).

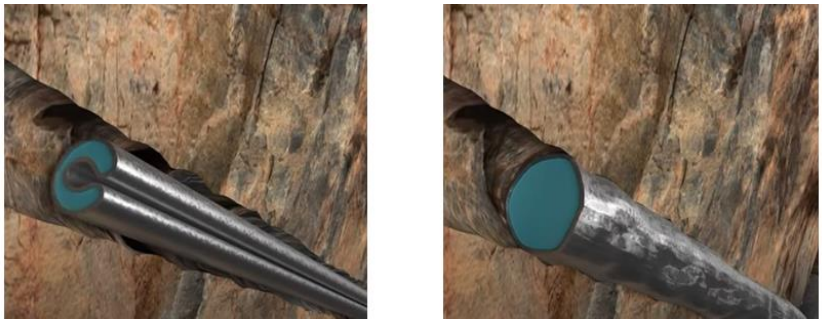


Figura No. 17 Proceso de inflado de perno swellex

El equipo utilizado en la mina es el Epiroc Boltec (Imagen No. 1). La empresa cuenta con dos éstos para la colocación de sostenimiento. Este equipo realiza tres operaciones: perforación, colocación de pernos y colocación de mallas. La longitud de perforación es de 2,4 m y con diámetros variables en función del perno a colocar (generalmente 37 mm).

Imagen No. 1 Equipo Boltec colocando pernos

2.2.3.2 Mallas

La malla metálica se utiliza principalmente para prevenir la caída de rocas situadas entre los pernos de anclaje, actuando como un sistema de sostenimiento de la superficie rocosa. Además, cumple una función de seguridad al retener los fragmentos de roca que puedan desprenderse de las zonas comprendidas entre los pernos. Existen dos tipos de mallas: la malla eslabonada y la malla electrosoldada.

- La malla eslabonada, también conocida como malla tejida, está formada por un entramado de alambres de acero negro, los cuales pueden ser galvanizados para protegerlos contra la corrosión. Su estructura entrelazada le confiere una gran flexibilidad y resistencia. Sin embargo, debido a sus características, no es adecuada para ser utilizada como refuerzo en el concreto lanzado.

- La malla electrosoldada está compuesta por una cuadrícula de alambres soldados en sus intersecciones, generalmente formando cuadros de 10 cm x 10 cm. También se fabrica con acero negro, que puede ser galvanizado para una mayor durabilidad. Esta malla es recomendada para su uso como refuerzo en concreto lanzado. Se comercializa en rollos o planchas: los rollos tienen una longitud de 25 m y un ancho de 2 m, mientras que las planchas miden usualmente 3 m de largo por 2 m de ancho.

2.2.3.3 Concreto lanzado

El concreto lanzado, también conocido como "shotcrete" en inglés, es una técnica de aplicación de concreto utilizada comúnmente en la minería. El cemento, los áridos y el agua se procesan por lotes y se mezclan juntos en una planta de concreto o equipo móvil de mezclado, para luego ser transportados a interior de mina y finalmente descargarlos en un equipo lanzador. Esta operación será una de las principales a analizar en el presente trabajo.

2.3 Concreto lanzado

El shotcrete es definido como el concreto aplicado neumáticamente y proyectado a alta velocidad. Es una mezcla de cemento, agregados y agua, proyectada a presión desde una boquilla a un sitio determinado para producir una masa densa y homogénea.

El concreto lanzado normalmente incorpora aditivos y pueden incluir también adiciones de fibras (metálicas o sintéticas) o una combinación de estas. Ambos términos, concreto lanzado o Shotcrete, se refieren básicamente al mismo material. La tendencia, especialmente en Europa, es referirse al producto como concreto lanzado. En nuestro medio usamos preferentemente la terminología americana de "shotcrete".

El shotcrete debe ser diseñado aplicando los desarrollos y recursos de la tecnología del concreto para lograr una mezcla con costos efectivos y optimizados.

Esto implica que los siguientes aspectos técnicos deben ser considerados:

- El diseño de la fórmula de concreto y la constitución de sus componentes.
- Las condiciones de aplicación (incluidos accesos y la viabilidad de los servicios, agua, aire, iluminación y ventilación).
- El método de aplicación (vía seca o vía húmeda).
- Los aspectos logísticos (principalmente su influencia en el manejo del material).
- Requerimientos de seguridad y salud.

Actualmente se utilizan dos métodos: la proyección por vía seca y la proyección por vía húmeda. En el proceso de vía seca, el agua necesaria para la hidratación del cemento es agregada en la boquilla, mientras que en el método por vía húmeda el agua se agrega en la planta dosificadora de concreto. Ambos métodos tienen sus ventajas y desventajas. La selección de uno u otro dependerá de los requisitos del proyecto y de la experiencia del personal encargado de ejecutarlo.

El método aplicado actualmente en la mina Farallón Negro es de proyección por vía húmeda debido a que ofrece un mejor ambiente de trabajo, mayor calidad, uniformidad y producción. Los desarrollos en la tecnología del shotcrete están relacionados con el proceso de vía húmeda, ya que la aplicación por vía seca está quedando obsoleta.

2.3.1 Usos de concreto lanzado

La construcción con concreto lanzado se emplea en muchas clases de proyectos. La flexibilidad y economía de este material resultan ventajosas para edificaciones en superficie, así como en el subsuelo, la construcción de túneles y construcciones subterráneas especiales. Los siguientes usos están generalizados:

- Estabilización de excavaciones en la construcción de túneles y obras subterráneas.
- Revestimientos de túneles y cámaras subterráneas.
- Estabilización en la construcción de minas y galerías.
- Reparaciones de hormigón (reemplazo y fortalecimiento del hormigón).
- Revestimientos de protección.

En términos de su importancia, la construcción de túneles, la minería y las reparaciones de concreto encabezan la lista. En la construcción de túneles y en minería, se emplea principalmente para excavar y estabilizar y revestimientos temporales.

El concreto lanzado es un material perfecto para estabilizar excavaciones. Su flexibilidad única al permitir seleccionar el espesor de la aplicación, la formulación del material (fibra), su rendimiento, el desarrollo de una resistencia muy temprana y la posibilidad de lanzar nuevamente en cualquier momento, convierten al concreto lanzado en un material completo para la estabilización de excavaciones.

2.3.2 Componentes del concreto lanzado

El concreto es un sistema compuesto por tres materiales básicos: cemento, agregados y agua. Para ampliar sus propiedades y aplicaciones potenciales, puede convertirse fácilmente en un sistema de cinco componentes al añadir aditivos.

2.3.2.1 Cemento

En la mezcla de concreto lanzado el cemento actúa como "ligante" que adhiere e incorpora las partículas de agregados, uniéndolas en la matriz del cemento. El cemento tiene un fraguado hidráulico y por lo tanto es parcialmente responsable de las propiedades mecánicas del concreto fraguado. Sin embargo, presenta un requerimiento adicional por encima de su empleo en el concreto estructural. El cemento para el concreto proyectado debe siempre iniciar el fraguado con extrema rapidez, ofrecer buena adherencia y presentar una muy elevada resistencia temprana.

El cemento que no reacciona bien cuando se combina con acelerantes de fraguado o aditivos de reacción lenta en cementos combinados, no es particularmente apropiado para la producción de concreto lanzado destinado a la estabilización. El contenido de cemento es en general de 300 - 450 kg/m^3 y depende del proceso de proyectado y de los requerimientos del concreto lanzado.

2.3.2.2 Agregados

Los agregados (partículas de piedra) conforman el marco de la matriz de concreto lanzado. Aproximadamente el 75 % del volumen del concreto consiste en los componentes de arena y gravilla. La composición geológica de los agregados influye enormemente en la trabajabilidad y las propiedades del concreto endurecido. Los agregados cumplen diferentes funciones:

- Son el parámetro que más influye en la homogeneidad de la mezcla de concreto lanzado.
- Son el parámetro inicial que determina el requerimiento de agua.
- Constituyen un relleno económico en la matriz de concreto lanzado.
- Permiten alcanzar las propiedades mecánicas (resistencia a la tensión en la flexión y resistencia a la compresión).
- Ejercen una fuerte influencia sobre la trabajabilidad de la mezcla (forma de las partículas y finos).

Por todas estas razones hay que darles la más alta prioridad a los agregados. Si se cambia el contenido de finos ≤ 0,125 mm en tan sólo un pequeño porcentaje, una mezcla en extremo trabajable puede convertirse muy pronto en otra imposible de bombear.

En lo relativo a la tecnología del concreto, en términos generales las curvas de distribución de gradación con tamaño máximo de partícula de agregados de 16 mm son buenas, pero en el proceso general de aplicación del concreto lanzado, los tamaños de partícula de hasta 8 mm presentan ventajas (Figura No. 18).

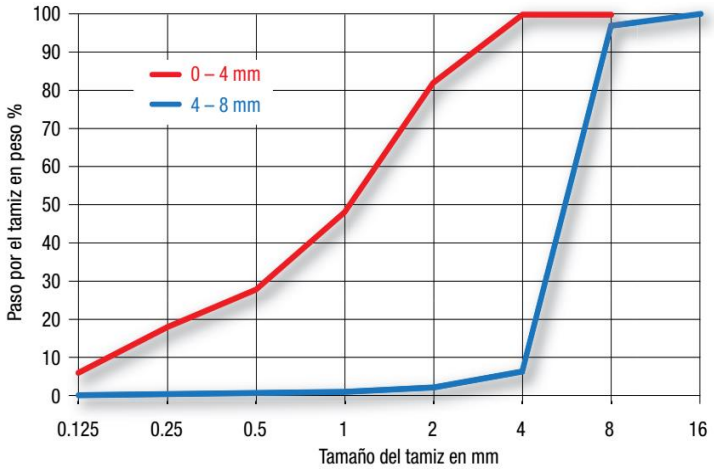


Figura No. 18 Distribución del tamaño de las partículas de agregados

2.3.2.3 Agua

El agua ingresa al concreto proyectado como agua agregada durante la producción del mismo y como humedad inherente del agregado.

La consistencia (plasticidad) de la mezcla es regulada por el agua y los aditivos de concreto lanzado. El agua de la mezcla no debe incluir componentes que puedan retardar o acelerar la hidratación. Éstos son principalmente aceites, cloruros, grasas, sulfatos, entre otros.

Normalmente las aguas que escurren en forma natural tales como el agua del subsuelo, las aguas lluvias y el agua de ríos y lagos, son apropiadas.

2.3.2.4 Aditivos

Los aditivos se emplean en el concreto lanzado para toda una variedad de requerimientos y por lo tanto presentan características muy diferentes, así:

- Suplementar el equilibrio de finos ≤ 0.125 mm (relleno).
- Mejorar propiedades específicas de su durabilidad (fuerza o resistencia a los solventes o a otras fuerzas).
- Aumentar su capacidad de retención de agua (estabilización de la mezcla).
- Reducir la presión de bombeo durante la entrega (lubricante).
- Sustituir partes del cemento (optimización de costos).
- Acelerar (alto grado de resistencia temprana).

Un factor importante en la selección de aditivos es la economía y por lo tanto la disponibilidad local de esos mismos finos, razón por la cual se prefieren distintas clases en distintos sitios. Algunos aditivos son:

Humos de sílice: Los humos de sílice son SiO_2 amorfo, que ocurre como derivado de la producción de silicio. El material presenta una superficie específica enorme y es altamente reactivo y es por lo tanto técnicamente apropiado para una variedad de requerimientos.

No afecta adversamente la resistencia temprana. Los humos de sílice son el aditivo ideal, pero su costo es elevado.

Cenizas volantes: Las cenizas volantes se obtienen de los filtros eléctricos empleados en la generación de electricidad con carbón pulverizado. Son baratas y presentan buenas propiedades de trabajabilidad. También son apropiadas para requerimientos específicos de durabilidad. La homogeneidad del producto es un factor importante con las cenizas volantes.

Escoria: La escoria se genera en la fundición de mineral de hierro. También es barata y es un excelente relleno, pero reduce las propiedades de resistencia temprana. La durabilidad del concreto lanzado con frecuencia se puede mejorar con escoria.

2.3.2.5 Contenido de finos

El contenido de finos consiste en:

- Cemento
- Porcentaje granulométrico de 0 a 0,125 mm de los agregados.
- Cualquier aditivo del concreto.

Actúa como cohesionante en el concreto fresco para mejorar la trabajabilidad y la retención de agua. El riesgo de separación de la mezcla durante la colocación se reduce y se facilita la compactación. Sin embargo, un contenido de finos demasiado elevado produce un concreto pastoso y pegajoso. Puede haber también mayor contracción y tendencia al cambio dimensional y alabeo (por mayor contenido de agua).

2.3.3 Aditivos para el concreto lanzado

Los aditivos se emplean para mejorar o modificar las propiedades del concreto que son imposibles de controlar, o de controlar debidamente, con el cemento, los agregados y el agua. También se agregan aditivos durante el proceso de proyectado para regular el inicio del fraguado. Los aditivos que se agregan al concreto lo convierten en un complejo sistema de múltiples materiales.

Los aditivos se agregan al concreto lanzado como porcentaje del peso del cemento o ligante, en un rango aproximado del 0,5% al 7%. Esto produce cantidades de 2 hasta 32 kg/m^3, en milésimas partes del volumen total del concreto. Todos los aditivos se le incorporan al concreto durante su producción en la planta mezcladora, luego de la medición inicial de agua. La principal excepción son los superfluidificantes y acelerantes, que se agregan inmediatamente antes del proyectado.

2.3.3.1 Acelerante de fraguado y endurecimiento para concreto lanzado

Estos productos basados en soluciones acuosas o suspensiones de compuestos de sulfato de aluminio, resultan fáciles de manejar, como en el caso de las dosis constantes, y aseguran un buen desarrollo de resistencia temprana combinada con propiedades óptimas en el concreto lanzado.

Con respecto a los acelerantes líquidos libres de álcalis, es necesario distinguir entre dos aspectos químicos y el efecto del producto en las propiedades del concreto lanzado a partir de éstos:

- pH

El grado base o valor pH de los acelerantes es bajo, generalmente pH 3.0. Esto afecta básicamente la salud y seguridad industrial durante la aplicación, pues los tejidos humanos son más vulnerables a los líquidos altamente alcalinos que a los ácidos débiles.

El pH de los acelerantes libres de álcalis está en el rango de los ácidos débiles, es decir, asemeja al de las bebidas gaseosas y los jugos de frutas (pH 2,4 – 3,0).

- Contenido de iones de álcalis

El contenido de iones álcalis, como el sodio y el potasio, afecta las propiedades del concreto. Al aumentar el contenido alcalino, la resistencia final del concreto lanzado se reduce, al igual que su durabilidad.

Química del concreto lanzado acelerado libre de álcalis

El concreto tiene ciertos requisitos muy elevados por su aplicación específica mediante el proyectado: mientras que el concreto fresco requiere muy buena trabajabilidad, por ejemplo, en cuanto a su asentamiento y bombeabilidad, las propiedades del concreto lanzado son totalmente inversas. Se requiere lograr una resistencia inmediata, para permitir que la aplicación de capas de concreto aéreas razonablemente espesas sean lo suficientemente fuertes para portar su propio peso. Cualquier retraso en la hidratación del cemento podría producir un colapso retardado de la construcción de concreto lanzado, debido a otros efectos secundarios tales como el desplazamiento o alabeo o la infiltración de agua.

Las propiedades más importantes del concreto lanzado acelerado, como son el fraguado y endurecimiento temprano, se logran debido a dos reacciones químicas principales inducidas por los acelerantes libres de álcalis (basados en sulfatos e hidroxisulfatos de aluminio). Aunque estas reacciones ocurren principalmente en sucesión, una tras otra, de todas formas, ocurre un traslape, así como interferencia química entre ellas:

- Reacción de aluminatos en el concreto lanzado acelerado libre de álcalis:

Inicialmente, comenzando con el acelerante que se mezcla al concreto justo en la boquilla, se da una muy pronunciada formación de etringita. Esta precipitación de etringita, que se inicia de inmediato durante el curado y dura aproximadamente una hora, forma una matriz inicial sólida lo suficientemente fuerte como para permitir la aplicación del concreto lanzado. Sin embargo, por razones químicas, así como técnicas, la resistencia máxima a la compresión obtenida como resultado de esta reacción primaria con el concreto lanzado usualmente no sobrepasa los 1.0 a 1.5 MPa.

- Reacción de silicatos en el concreto lanzado acelerado libre de álcalis

Incluso en el concreto lanzado fresco con frecuencia se emplean agentes retardantes para lograr trabajabilidad prolongada de la mezcla. Sin embargo, una vez aplicado el retardante al cemento, el retraso en la reacción de hidratación de los silicatos afecta adversamente el desempeño del concreto lanzado. El segundo efecto que producen los acelerantes libres de álcalis en el curado del concreto lanzado joven consiste en cancelar el retardo inicial (según lo requiera la trabajabilidad), lo cual produce aún más rápidamente la reacción de los silicatos, comparada con el concreto fresco (Figura No. 19).

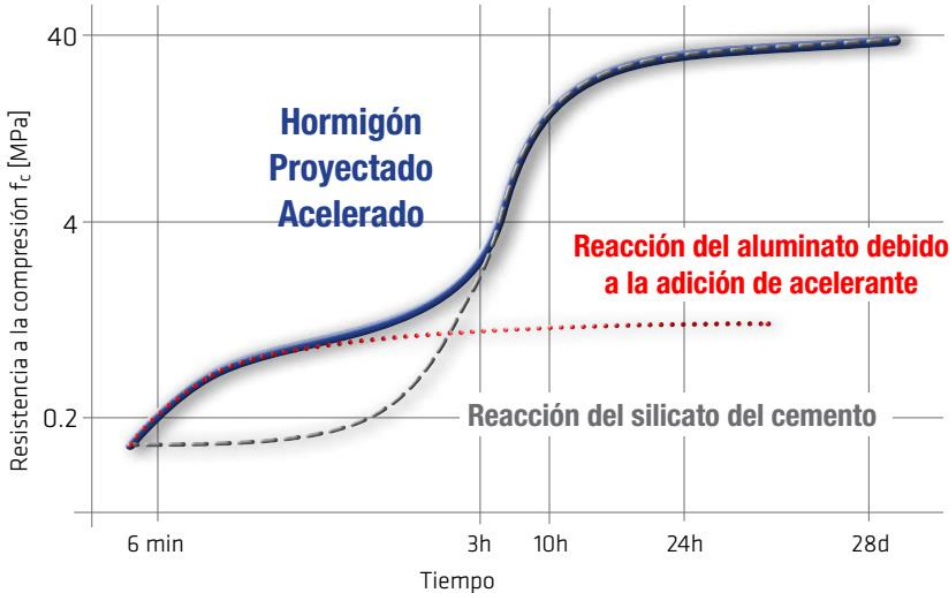


Figura No. 19 Interacción de la reacción álcali-aluminatos

Es recomendado usar acelerantes de concreto lanzado libres de álcalis para obtener un concreto lanzado durable y de alta calidad, tomando en cuenta la seguridad del equipo encargado del lanzamiento. Los acelerantes de concreto lanzado libres de álcalis ofrecen mayor seguridad industrial y física en muchas áreas (Tabla No. 2).

Propiedades	Tipo de acelerante		
	Alcalino. Basado en aluminatos	Alcalino. Basado en silicatos	Sin álcalis
Rango de la dosis	3 – 6 %	12 – 15 %	4 – 7 %
pH	13 – 14	12 – 13	3
Equivalente a Na_2O	20 %	12 %	<1 %
Resistencia muy temprana a la misma dosis	++++	++++	++
Resistencia Final	+	- -	+++
Estanqueidad (impermeabilidad)	++	- -	+++
Comportamiento de lixiviación	- - -	- -	-
Salud ocupacional	- - -	-	+++
Salud ocupacional y del transporte	- -	-	+++
	+ mejora	- deterioro	

Tabla No. 2 Tipos de acelerantes y sus propiedades

Otros acelerantes líquidos

Aparte del estado actual de la última tecnología de acelerantes descrita arriba, que emplea acelerantes libres de álcalis, existen otros tipos de acelerantes líquidos que se usan en muchos países. Por ejemplo, los que se basan en silicato acuoso o soluciones de aluminato. Estos acelerantes no están libres de álcalis, lo que significa que llevan cantidades significativamente altas de iones de álcalis y son líquidos alcalinos con un pH muy alto, superior a pH 11.

Las interacciones químicas que se dan en el concreto lanzado cuando se usan estos acelerantes son diferentes a las descritas arriba, que aplican para los acelerantes libres de álcalis.

Aparte de estas diferencias, el empleo de acelerantes que no están libres de álcalis en el concreto lanzado produce efectos negativos de seguridad industrial durante la aplicación, y en la durabilidad del concreto lanzado. Debido a su alta alcalinidad (pH), estos productos presentan peligro de quemaduras en tejidos humanos, tales como los ojos. Esto es válido tanto para el contacto directo (con piel y ojos) como para los aerosoles, pues los aerosoles de estos acelerantes afectan negativamente la respiración (pulmones).

2.3.3.2 Reductores de agua

Conjuntamente con los acelerantes de concreto lanzado, los reductores de alto rango (superplastificantes) son el aditivo más importante del concreto lanzado húmedo. Para usar los acelerantes del concreto lanzado en forma efectiva, se debe limitar el contenido de agua del concreto fresco. La máxima relación agua - cemento está definida como de 0.50, pero resulta mejor en desempeño y calidad una relación máxima por debajo de 0.48.

Los principales requisitos de los reductores de agua de alto rango que se usan con el concreto lanzado se pueden resumir de la siguiente manera:

- Reducción de agua: Lograr la fluidez requerida cuando el contenido de agua del concreto fresco se ha reducido sustancialmente.
- Tiempo de trabajabilidad: La consistencia del concreto fresco debe permanecer constante durante todo el tiempo de trabajo: el bombeo, específicamente, requiere una consistencia blanda.
- Bombeabilidad: Una baja viscosidad promueve tanto buena bombeabilidad como una mezcla homogénea del acelerante en el concreto, en el transformador de flujo en la boquilla.
- Compatibilidad: La naturaleza y los efectos que producen los reductores de agua de alto rango, los acelerantes del concreto lanzado y cualquier otro aditivo empleado en el concreto, deben ser todos compatibles. Por lo tanto, estas combinaciones deben probarse de antemano y contar con la aprobación del fabricante de los aditivos y del concreto. Una combinación efectuada al azar de distintos productos y mezclas puede producir resultados altamente insatisfactorios.

2.3.3.3 Estabilizadores de consistencia / Retardadores de fraguado

El concreto lanzado se usa principalmente en túneles y en minería, en donde también se presentan importantes retos logísticos, por ejemplo, los tiempos de trabajabilidad del concreto deben ser los más flexibles. Esto se logra de manera efectiva con el concreto lanzado debido a que el inicio y la velocidad de hidratación se pueden controlar independientemente mediante el acelerante que se agrega en la boquilla. Ello permite como resultado extender la trabajabilidad durante muchas horas, de forma que las demás operaciones logísticas, tales como la producción de concreto, el transporte, los tiempos de espera, la instalación y las interrupciones, también se pueden planificar y controlar adecuadamente.

2.3.3.4 Estabilizadores de mezcla

La suavidad y bombeabilidad son los dos criterios clave empleados en la evaluación del concreto fresco para aplicaciones de concreto lanzado.

- Suavidad: No debe confundirse la suavidad del concreto con su fluidez. La suavidad define la viscosidad del concreto fresco. Entre más suave sea el hormigón, más fácil y más completamente podrá descomponerse en el transformador de flujo ubicado en la

boquilla, y más homogénea y por tanto más eficientemente podrá inyectarse y dispersarse en él, el acelerante de fraguado.

- Fluidez: La fluidez influye también sobre la capacidad de llenado para el transporte en contenedores o mezcladoras, pero aún más importante, en el grado de llenado que se puede alcanzar en los cilindros de las bombas de concreto en la fase de alimentación, y, por lo tanto, en la eficiencia del bombeo.
- Bombeabilidad: Las dos propiedades (suavidad y fluidez) son esenciales para evaluar la "bombeabilidad" del concreto. Primero que todo por la tasa de descarga y luego por los requerimientos de energía del bombeo.

Para controlar las propiedades del concreto fresco, se pueden agregar aditivos especiales para controlar la fluidez, suavidad y bombeabilidad del concreto, además de la correcta formulación del mismo. El objetivo de todas estas medidas es siempre el de poder optimizar la estabilidad de la mezcla.

2.3.4 Factores a tener en cuenta en la aplicación de shotcrete

2.3.4.1 Seguridad

La seguridad es un concepto general en la industria minera, especialmente en la aplicación del concreto lanzado, puesto que se utilizan maquinaria de alto poder (hidráulica/neumática/electrónica). Los potenciales peligros son:

- Transporte del concreto en vehículos grandes, usualmente en espacios cerrados con luz deficiente: las precauciones personales incluyen mantenerse a buena distancia; usar ropa de protección de alta visibilidad; iluminar adecuadamente el vehículo (y mantenerlo limpio); y usar señal de alarma de marcha en reversa en los vehículos.

- Transferencia del concreto al sistema de conducción: Debe haber un guardia que impida el acceso a la unidad de conducción; equipo de protección personal (protección para los ojos en caso de salpicadura).

- Conducción del concreto lanzado, aire y acelerantes de concreto a los puntos de aplicación: mantenimiento periódico de equipos según el plan (particularmente, revisión de tubos y mangueras); capacitación técnica adecuada de los mecánicos, equipo de protección personal, iluminación adecuada del sitio.

- Aplicación del concreto lanzado: Equipo de protección personal (gafas resistentes a golpes, casco, guantes, aparato para respirar, protectores de oídos, botas de seguridad, ropa para todo el cuerpo, ingreso prohibido en áreas desprotegidas de aplicación reciente de proyectado; iluminación apropiada.

El mayor peligro es sin duda el riesgo de que caiga de concreto fresco o sustrato inestable sobre los trabajadores, uso inadecuado de equipos e instalaciones eléctricas, hidráulicas y neumáticas, y el descuido, especialmente olvidarse de usar el equipo de protección personal.

2.3.4.2 Sustrato de concreto lanzado

La adhesión entre el concreto lanzado y el sustrato sólo puede ser tan buena como sea la calidad de las dos caras en contacto. Debido a su contenido de ligante y alta velocidad de impacto, el concreto lanzado posee las condiciones adecuadas de fuerte anclaje y gran resistencia adhesiva.

Por lo tanto, la otra cara del punto de contacto, el sustrato, es por lo general el factor clave en la adhesión. En caso de preparar o emparejar el concreto, éste debe quedar rugoso, lo que generalmente se logra con un proyectado de acabado rugoso. La superficie debe estar libre de partes sueltas de baja adhesión. La superficie se debe humedecer para evitar que el área de adhesión se seque por el efecto absorbente del concreto seco emparejado. Lo mismo aplica en principio para superficies de excavaciones frescas. La fuerza de la operación de limpieza depende de la cohesión interna del sustrato y el requerimiento de agua se basa en la humedad inherente de la superficie de adhesión. El sustrato no debe tener polvo.

- Limpiar la superficie de contacto (polvo / secciones sueltas).
- Humedecer el sustrato (según la absorbencia del sustrato).
- Aplicar el concreto lanzado correctamente (en sentido perpendicular al sustrato).

Para optimizar las operaciones, la superficie puede limpiarse con el aire comprimido de la unidad de proyectado y luego enjuagar con agua corriente. Este trabajo debe hacerse justo antes del proyectado, para impedir la formación de una capa de polvo aislante inmediatamente después. Lo mismo aplica si el concreto lanzado se construye capa por capa. Si hay mucha infiltración de agua, se requiere un sellado previo o evacuar el agua por canales de drenaje.

2.3.4.3 Proyectado

El concreto lanzado puede aplicarse por capas, en la misma operación, lanzando repetidamente sobre la misma área, o en una operación posterior después de una pausa. Después de una pausa prolongada la superficie debe limpiarse y humedecerse nuevamente. La cantidad que puede aplicarse en una operación depende de diferentes factores:

- La resistencia adhesiva de la mezcla de concreto lanzado.
- La naturaleza del sustrato o de la capa base.
- Proceso de proyectado.
- Volumen de proyectado.
- Dirección del proyectado (hacia arriba horizontalmente).
- Distancia entre la boquilla y el sustrato.

Al proyectar hacia abajo, pueden aplicarse capas de cualquier espesor. Asegúrese de que el rebote quede empotrado o se descarte, de manera que no quede en la superficie. Al proyectar horizontalmente, el espesor se puede construir gradualmente en capas delgadas, y para aplicaciones muy espesas se puede aplicar todo el grosor desde la parte baja de la pendiente hacia arriba, por capas. En este caso nuevamente el rebote debe removerse de la parte baja antes de aplicar la siguiente capa.

Al proyectar directamente por encima, el peso del material y la adhesión del concreto lanzado se contraponen mutuamente, por lo cual deben construirse capas más delgadas. Como regla general, un flujo de proyectado menor y la aplicación de capas más delgadas generan menor rebote y producen un mejor resultado final.

El proyectado debe aplicarse en ángulo recto respecto al sustrato o hormigón emparejado. Esto maximiza la adhesión, la compactación y minimiza el rebote. El concreto lanzado se aplica manual o mecánicamente con movimientos circulares uniformemente en toda la superficie.

La distancia óptima de proyectado es de 1,2 m a 1,5 m, pero con frecuencia se da en un rango de 1 a 2 metros. A grandes distancias el rebote y la generación de polvo aumentan y disminuye la eficacia de la aplicación (Figura No. 20).

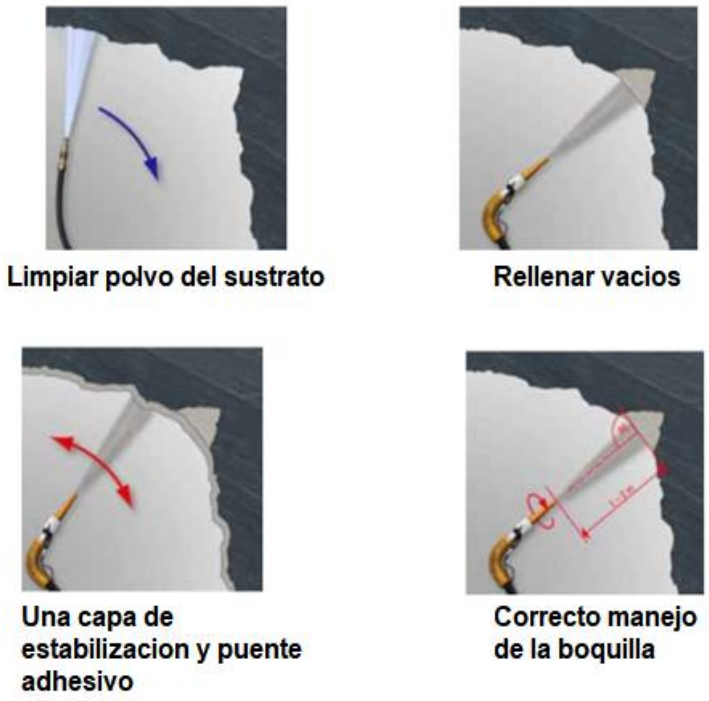


Figura No. 20 Técnicas de aplicación de concreto lanzado

2.3.4.4 Resistencia

La resistencia a la compresión inicial y temprana del concreto lanzado, esto es hasta las 24 hr, se mide por métodos indirectos mediante penetrómetro de aguja y pistola Hilti. Ambos métodos correlacionan el impacto de la resistencia a la compresión en la penetración de una aguja. Los resultados de estos métodos dependen del diseño de la mezcla, esto es, de los agregados usados (0 - 8 mm) y no necesariamente dan valores absolutos de resistencia a la compresión. El instrumento utilizado para la medición de la resistencia, depende de la etapa de fraguado que se quiera estudiar (Figura No. 21).

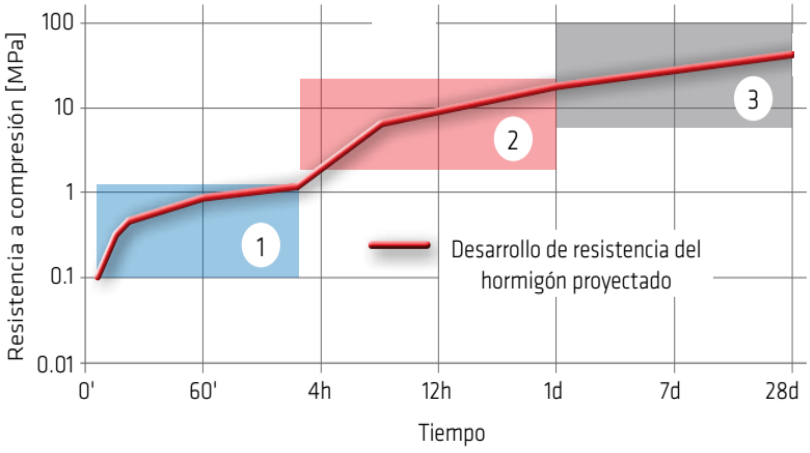


Figura No. 21 Tiempos de medición de desarrollo de resistencia

La medición de la resistencia a la compresión total del concreto lanzado requiere tres métodos (Figura No. 22):

Desarrollo de		Método	Instrumento	Resistencia	Tiempo
1	Resistencia inicial	Penetración aguja	Penetrómetro	hasta 1.5 MPa	0 – 3 h
2	Resistencia temprana	perforación perno	Hilti DX 450-SCT	3 – 20 MPa	3 – 24 h
3	Resistencia final	Toma de núcleo	Máquina de prueba compresión	5 – 100 MPa	1 – 28 d

Figura No. 22 Métodos de medición de desarrollo de resistencia

2.3.4.5 Rebote

Reducir el rebote durante el proceso de proyectado es uno de los retos más complejos de todo el proceso. El factor más importante es sin duda el operador de la manguera, su habilidad, técnica y experiencia afectan enormemente la cantidad de rebote. Factores que afectan la cantidad de rebote:

- Habilidad técnica y experiencia del operador de la manguera.
- Dirección del proyectado (hacia arriba, abajo, horizontalmente).
- Parámetros de proyectado (presión de aire, boquilla, volumen del proyectado).
- Diseño de mezcla del concreto lanzado (agregados, curva gradación, acelerantes, fibras, ligante).
- Desempeño del concreto lanzado (resistencia muy temprana, fuerza adhesiva, espesor capas).

En la siguiente figura podemos observar cómo se comporta el rebote en función de los parámetros a controlar mencionados anteriormente (Figura No. 23):

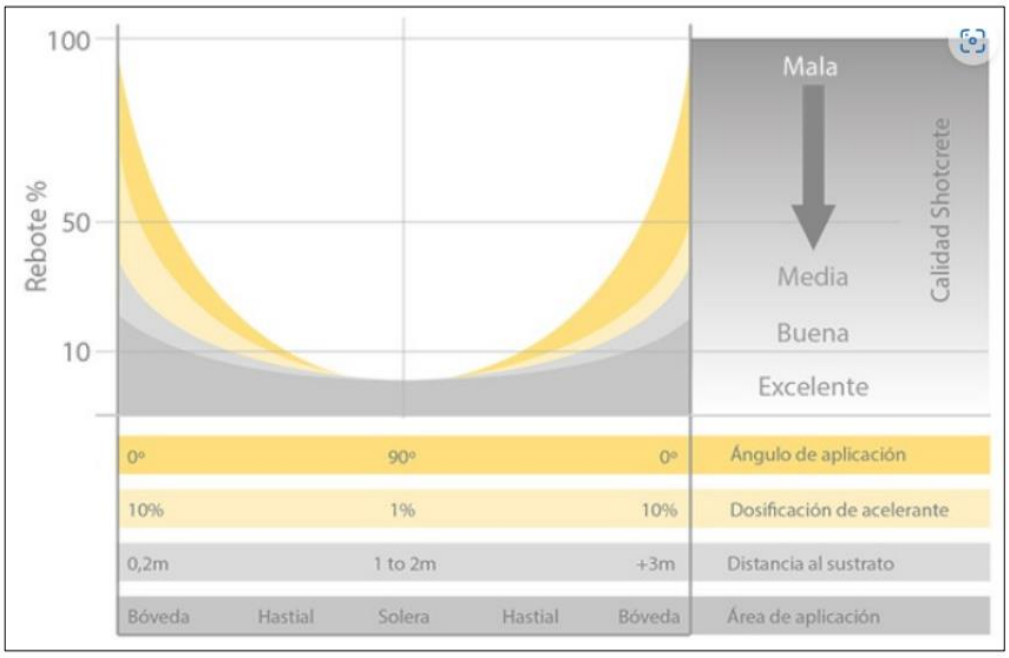


Figura No. 23 Relación entre parámetros de aplicación de concreto lanzado

El rebote cambia durante el proceso de proyectado. En los primeros minutos son principalmente los grandes agregados los que rebotan puesto que una capa de superficie adherente fina debe construirse sobre el sustrato y así todos los componentes de la mezcla rebotan durante la operación.

Sin mediciones separadas del rebote bajo condiciones existentes en el sitio, la cantidad solo puede estimarse de forma aproximada:

- Rebote con concreto lanzado seco 20 - 30 %.
- Rebote con concreto lanzado húmedo 5 - 15 %.

2.3.4.6 Desarrollo de polvo

Hay producción de polvo con la aplicación de cualquier tipo de concreto lanzado pero las cantidades y tipos de polvo varían considerablemente.

2.3.4.7 Sombras

La presencia de vacíos en el material aplicado, como por ejemplo detrás de los refuerzos, es un problema importante en la aplicación de concreto lanzado. Un experimentado operador de boquilla puede minimizar las sombras de proyectado únicamente mediante una correcta elección de las secuencias de proyectado. La importancia que tiene el operador de la boquilla como factor principal en la aplicación de concreto lanzado de alta calidad es fundamental.

2.3.5 Diseño de la mezcla de concreto

El diseño de la mezcla de concreto depende de los requerimientos especificados y la trabajabilidad esperada, es decir, los siguientes parámetros:

- Las especificaciones objetivo del concreto (resistencia a la compresión/durabilidad).
- Logística a usarse (métodos de manejo/condiciones de temperatura).
- Condiciones especificadas del material instalado (desarrollo de resistencia muy temprana, así como temprana).
- Aspectos económicos de la mezcla de concreto lanzado.

En función de estos parámetros, se seleccionan y confirman mediante pruebas o se adaptan tras evaluar los parámetros objetivo, el tipo y contenido de cemento, el tipo y la gradación del agregado, el contenido y tipo de agua, así como la cantidad de aditivos del concreto lanzado.

El factor principal de elección de la curva de graduación del tamaño de las partículas del agregado es el agregado que hay disponible localmente. La curva que mejor cumple con los requerimientos enunciados se establece por prueba y experimentación del material granulado disponible. Reemplazar el agregado es una opción sólo en casos excepcionales por razones económicas (transporte de grandes cantidades).

2.3.5.1 Diseño de mezcla en mina Farallón Negro

La mezcla de concreto utilizada en la mina está diseñada para alcanzar una densidad de 2332,8 kg/m³ y una resistencia a la compresión de 36,2 MPa a los 28 días de fraguado. Para su preparación, se emplea una fórmula teórica propuesta por geomecánica que establece las siguientes proporciones (ver Tabla No. 3):

FORMULA Nº 19 TEORICA DE SHOTCRETE (1 m3)		
Cemento	400	Kg
Agregado	1700	Kg
Agua	200	Kg
Fibra Polipropileno	3,75	Kg
Superplastificante	4,6	Kg
Estabilizador de mezcla	4,5	Kg
Acelerante	20	Kg

Tabla No. 3 Diseño de concreto lanzado en mina Farallón Negro

2.3.6 Equipos vinculados a la aplicación de concreto lanzado

La selección de los equipos de concreto lanzado depende de numerosos factores:

- Especificación del proyecto.
- Tipo de aplicación.
- La velocidad de colocación del concreto lanzado.
- Los tiempos disponibles para la proyección del concreto.
- Tipo de proceso de concreto lanzado (húmedo o seco).
- Disponibilidad y calidad de los materiales de la zona.
- El sistema de suministro de concreto, incluyendo distancia de transporte.

Una disposición básica de equipos para concreto lanzado por vía húmeda por lo general consiste en una bomba de hormigón, compresor, boquilla y la línea de descarga.

En los últimos años la tecnología en equipos de concreto lanzado ha avanzado hasta un nivel que ahora incluye proyección vía control remoto, bombas dosificadoras de acelerante de fraguado integradas, compresores a bordo del equipo de proyección, instalaciones de hidro lavado, etc.

La configuración seleccionada para el equipo debe ser capaz de descargar la mezcla dentro del tubo de suministro, bajo un exhaustivo control de calidad y entregar en la boquilla un flujo continuo de material mezclado de manera uniforme y a una velocidad adecuada. El volumen en caso de concreto lanzado con mezcla húmeda varía entre 3 y 25 m^3/hr. Debido a la gran variedad de equipos disponibles, es importante siempre remitirse a las especificaciones de funcionamiento del fabricante del equipo.

Para el caso de mina Farallón Negro se utilizan tres equipos, para el transporte un mezclador móvil, para la dosificación una tolva de preparación manual y un equipo de lanzado mecanizado. Entonces con esto podemos describir 3 etapas, transporte, preparación y aplicación de concreto lanzado.

2.3.6.1 Preparación

La preparación del concreto se refiere al proceso que establece las proporciones adecuadas de los materiales que conforman el concreto, con el objetivo de obtener las características deseadas en cuanto a resistencia a la compresión, durabilidad y manejabilidad. Dichos componentes incluyen cemento, agregados, fibras, aditivos y agua. Para la preparación de concreto existen distintas plantas que se adaptaran a las características de la operación y a las cantidades de concreto requeridas. Las cuales son:

- Plantas de Mezcla Seca
- Plantas de Mezcla Húmeda
- Plantas de Concreto Pre-Mezclado
- Plantas de Concreto en Sitio
- Plantas de Concreto Especializado

Las plantas de mezcla seca son un tipo de planta de concreto que se utiliza para mezclar y dosificar los componentes secos del concreto, como el cemento y la arena, además puede incluir una bomba para el agregado de agua.

Las principales características de estas plantas son:

- Mezcla seca: Las plantas de mezcla seca mezclan los componentes secos del concreto en una proporción específica.
- Almacenamiento en silos: Los componentes secos mezclados se almacenan en silos para su posterior uso.
- Sistema de pesaje: Las plantas de mezcla seca suelen incorporar un sistema de pesaje para controlar la cantidad de cada componente.
- Sistema de transporte: Los componentes secos mezclados se transportan a la planta de concreto para su mezcla con el agua y otros componentes.

La mina Farallón Negro desde que comenzó la aplicación de concreto lanzado, tiene una preparación manual, donde el dosaje de los componentes se hace de manera indirecta. Para esto, la mina cuenta con una tolva para la preparación donde se agrega el cemento, los agregados y la fibra, mientras que directamente en el camión mezclador se agregan los aditivos y el agua.

Planta de preparación mecanizada

Una planta de preparación mecanizada (Imagen No. 2) posee una tolva con sistema de pesado a través de celdas de carga en cualquiera de sus balanzas intervinientes (áridos, cemento, aditivos opcionales). Otros datos de la planta se encuentran en el Anexo VII.

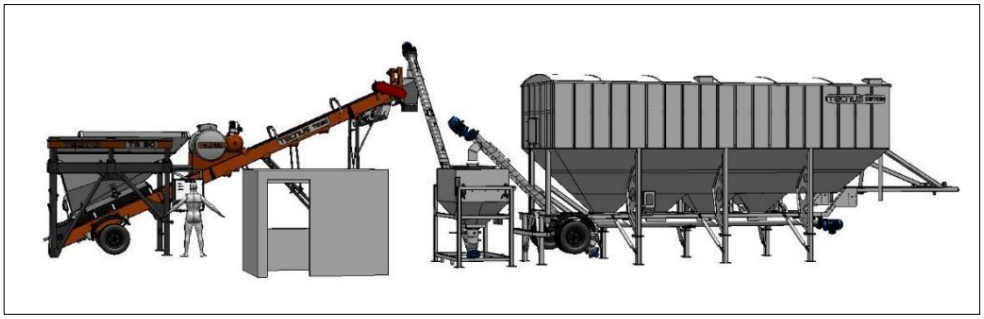


Imagen No. 2 Planta Tecnus TM30

2.3.6.2 Transporte

El transporte y la entrega del concreto implica suministrar el material al equipo en las cantidades adecuadas, en el momento requerido y con el menor tiempo de traslado posible. Este último aspecto resulta especialmente relevante, sobre todo en trabajos de construcción subterránea. Hay muchas maneras de llevar el concreto al sitio, por ejemplo, equipos agitadores montados en un camión, líneas de transporte vertical, sacos para mezcla seca, entre otros. La elección del método de transporte y entrega para concreto lanzado depende principalmente del proceso de proyección (húmedo o seco), de la accesibilidad, del sistema de manejo de materiales, ubicación de los lugares de trabajo, la demanda de concreto lanzado por turno. El transporte del hormigón desde la planta de mezclado hasta el punto de colocación debe realizarse en un equipo móvil que prevenga la segregación, la pérdida de material y la rigidización prematura.

Cuando la entrega de concreto lanzado se hace en un agitador sobre camión es necesario que el vehículo proporcione una agitación adecuada. En mina Farallón Negro el transporte de concreto hacia el lugar de lanzado se realiza por camión mezclador con una capacidad máxima de 4 m^3 (Imagen No. 3)

El camión mezclador (conocido también como camión-hormigonera, camión mezclador y/o agitador, entre otros), consiste en un camión equipado con una hormigonera. Gracias a esta disposición, es posible transportar concreto premezclado al mismo tiempo que procede a su amasado. Es el método más seguro y utilizado para transportar hormigón en trayectos largos y es poco vulnerable en caso de un retraso.

Imagen No. 3 Camión mezclador Huron 4

El trabajo del camión mezclador se inicia con el cargado del concreto preparado en la planta. Posteriormente el camión traslada este material hasta donde realizará el trabajo de descarga en forma directa a la superficie, o mediante el uso de una bomba de hormigón. Finalmente, el camión retorna a la planta de producción, para iniciar un nuevo ciclo de trabajo. Utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{60 * C * r * E}{T * (1 + h)} \left(\frac{m^3}{hra}\right)$$

- Q = productividad del camión mezclador en (m^3/hr)
- C = capacidad del camión mezclador (m^3)
- T = tiempo de duración del ciclo de trabajo (minutos)
- V = velocidad promedio de trabajo (m/min)
- E = factor de eficiencia del trabajo
- r = resistencia a la rodadura
- h = factor de corrección por altura m.s.n.m.

El tiempo total del ciclo de trabajo será la suma de los tiempos utilizados en las operaciones de carga y descarga del hormigón, en los recorridos de ida y vuelta y en las maniobras de viraje.

2.3.6.3 Aplicación de concreto lanzado

Un robot lanzador de concreto lanzado es un sistema automatizado que proyecta concreto a alta velocidad sobre una superficie para formar una masa densa.

A diferencia de los métodos tradicionales que requieren la intervención manual de operarios para el manejo de la boquilla, estos robots utilizan brazos robóticos y sistemas de control remoto precisos para aplicar el material con mayor eficiencia y precisión. Esto permite una mayor productividad, mejora la seguridad del personal y garantiza una calidad uniforme en el acabado. La proyección de concreto con equipos robotizados por vía húmeda es el método más eficiente en proyectos con altos niveles de producción, se utiliza sobre todo en obras subterráneas para aumentar la seguridad del operador.

El equipo utilizado en mina Farallón Negro es el Putzmeister SPM 4210. Presenta un alcance de proyección vertical de 10 m y un caudal máximo de 20 m³/h. Otros datos del roboshot se encuentran en el Anexo VII.

El concreto se introduce a través de la tolva del equipo y es transportado por la tubería hasta la boquilla del brazo proyector, donde se mezcla con el aire comprimido y el acelerante para proyectarse sobre la superficie del túnel. Las principales partes de un equipo lanzador de concreto son (Figura No. 24):

- Bomba de hormigón.
- Brazo de proyección.
- Compresor de aire.
- Bomba de aditivo.
- Sistema de control.
- Control remoto.
- Chasis motorizado.

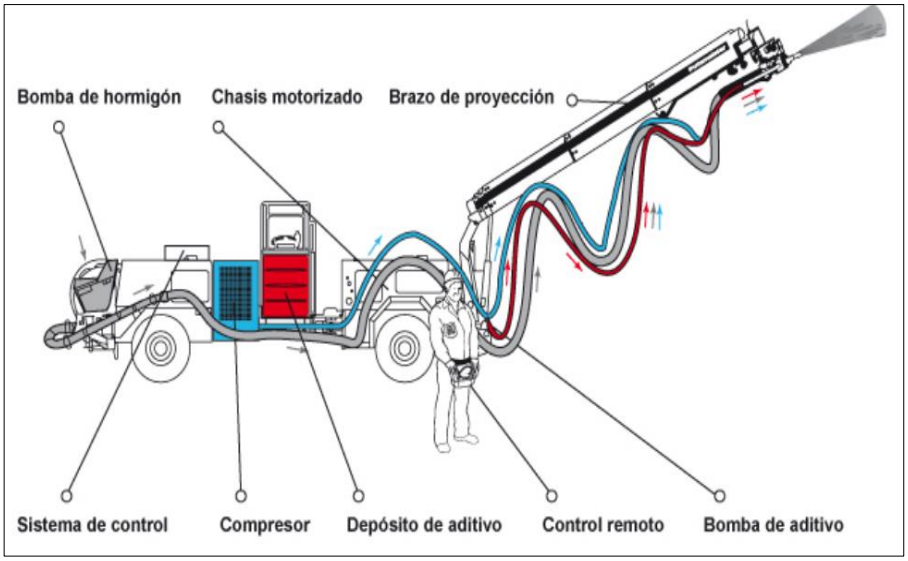


Figura No. 24 Partes del equipo lanzador

CAPITULO 3

RELEVAMIENTO DE OPERACIONES DE SOSTENIMIENTO

La operación unitaria de aplicación de concreto lanzado consiste en la combinación de tres operaciones: preparación manual de concreto, transporte de concreto y aplicación de concreto lanzado. El análisis posterior del presente trabajo se centrará en estas operaciones, mientras que el relevamiento de la colocación de pernos y mallas permitirá cuantificar los costos de sostenimiento. Los detalles de los tiempos registrados en campo se encuentran disponibles en el Anexo I.

La empresa cuenta con cuatro grupos de trabajo, denominados A, B, C y D, que se utilizan para la organización de los rosters. Los operarios, en su mayoría, siguen un esquema de turnos de 7 días de trabajo por 7 días de descanso, rotando en parejas (ej. descanso de grupos A y C y en trabajo B y D). En cada dupla, un grupo cubre el turno diurno mientras que el otro asume el turno nocturno. Cada turno de trabajo tiene una duración de 8 horas, tanto para el día como para la noche. Además, cada turno se divide en dos bloques de 4 horas (240 minutos cada uno), separados por un descanso intermedio; por ejemplo, durante el turno diurno, este descanso corresponde al horario de almuerzo. Estas especificaciones serán consideradas a lo largo de este capítulo y en el desarrollo general del trabajo.

3.1 Operación de preparación manual de concreto

3.1.1 Descripción de la operación

Esta operación tiene como finalidad dosificar los compuestos que constituyen al concreto que posteriormente será lanzado. La preparación se realiza en una tolva (Imagen No. 4) donde se colocan los agregados, la fibra de polipropileno y el cemento. El pesaje de estos elementos se hace de forma manual, ya que el cemento será función del pesaje de la arena. Los materiales descienden de la tolva por gravedad a una cinta transportadora donde se ubica el camión mezclador.

Imagen No. 4 Equipo de preparación manual

La preparación consiste del cargado de los componentes a la tolva para luego agregarlos al mezclador y formar el concreto. Éste será transportado por un camión mezclador hasta el lugar de aplicación. El proceso de preparación se lo puede fraccionar en las siguientes etapas:

1. Preparación de la pala para cargar arena y pesar: la primera tarea que se realiza es la búsqueda de una pala con operador disponible para realizar el pesado de la arena y cargar el cemento. La preparación del concreto involucra el trabajo de cuatro operarios, un operario de pala, un operario de camión mezclador y dos operarios para la carga de cemento.

Algo muy importante es que los dos operarios que se encargan de cargar el cemento y dirigir la preparación son también los que se encargan de lanzar el concreto.

2. Carga de arena: En la empresa existen palas de diferentes marcas y modelos, por lo tanto, antes de cargar la arena se tiene que hacer el tarado de la misma (Imagen No. 5), y luego por diferencia se conoce el peso que se cargó. Una vez tarada la pala se realiza la carga de arena y se la pesa en báscula. Son necesarios pesar unos 3500 kg de arena.

Imagen No. 5 Pala CAT en báscula

Dependiendo del tamaño de la pala se harán uno o dos pases para completar el peso necesario, La arena se descarga directamente en la tolva de preparación (Imagen No. 6). Una vez obtenido el peso de la arena se calcula la cantidad de cemento.

Imagen No. 6 Pala descargado arena

La preparación y aplicación del concreto lanzado son responsabilidad de los mismos operarios. A partir de la cantidad de arena pesada, una hoja de cálculo diseñada a tal fin calcula la cantidad necesaria de bolsas de cemento y los demás componentes (Tabla No. 4).

Esta tabla de Excel es utilizada por los operarios para registrar la carga de arena pesada en la báscula. De forma automática, la tabla calcula la cantidad de bolsas de cemento y las proporciones del resto de los componentes necesarios para la preparación en función del peso de la arena. Cabe destacar que estos valores son teóricos, y estos en la operación varían debido a que no se emplean herramientas de medición precisas para los componentes. En este caso se pesaron 3500 kg de arena, dando como resultado la cantidad de componentes que se observan en la tabla.

Formula teórica para 1 m^3			Dosificación	
Agregados	1700	kg	3500	kg
Cemento	400	kg	16	bolsas
Agua	200	kg	412	lt
Fibras	3,75	kg	8	kg
Superplastificante	4,6	kg	9	kg
Estabilizador de mezcla	4,5	kg	9	kg
Acelerante	20	kg	41	kg

Tabla No. 4 Dosificación teórica para 3500 kg de agregado

3. Carga manual de cemento: La pala se posiciona en el depósito de cemento y se carga de manera manual hasta tener la cantidad de bolsas requeridas. Luego las bolsas se rompen de manera manual directamente en el balde de la pala y posteriormente se descarga en la tolva de preparación (Imagen No. 7).

Imagen No. 7 Carga manual de cemento

4. Agregado de fibra y mezclado en tolva: luego de cargar el cemento, se espera la orden de mina para llenar mezclador con los componentes. La tolva de preparación se encuentra cargada con la arena, el cemento y las fibras, mientras que en el tambor del camión mezclador, tiene agua y superplastificante.

Los aditivos no se pesan, simplemente se agregan 2 bolsas de fibra (12 kg) y 10 litros de superplastificante. El agregado del agua para la mezcla queda a criterio del operador encargado de realizar la preparación del concreto.

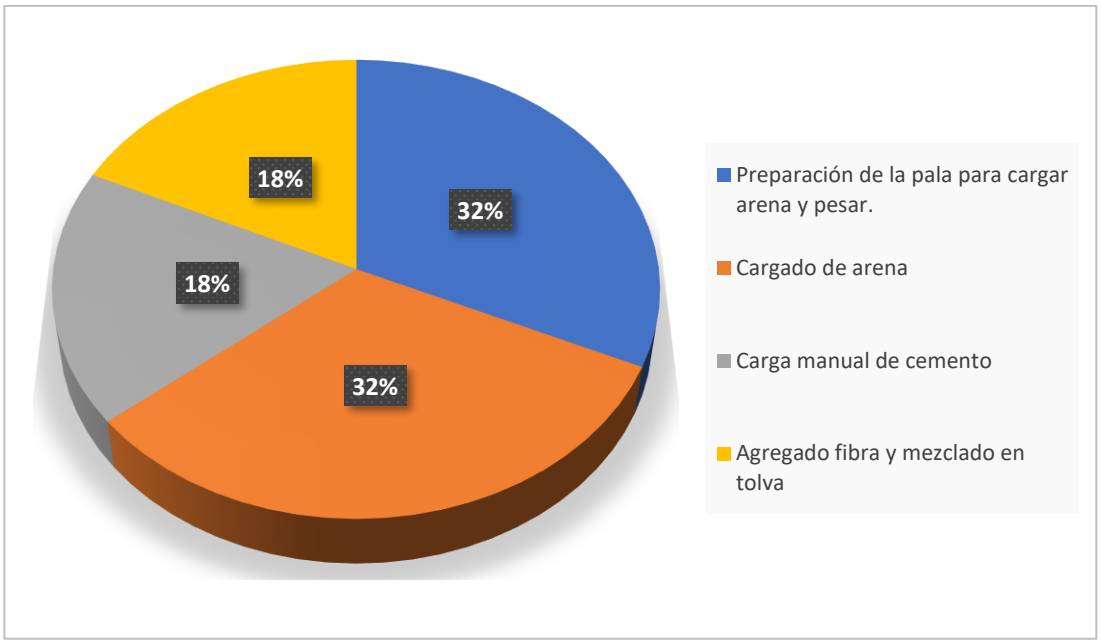
3.1.2 Ciclo de trabajo

Esta operación, descrita en cuatro etapas. En cada una de ellas se registraron los tiempos para calcular un tiempo medio de ciclo. Los resultados de este proceso son los siguientes (Tabla No. 5):

Nº	Tarea	T1	T2	T3	T4	Promedio (min)
1	Preparación de la pala para cargar arena y pesar.	13	10	25	14	**15,5**
2	Carga de arena (se requieren 1 o 2 pases)	19	12	12	20	**15,8**
3	Carga manual de cemento	11	8	9	7	**8,8**
4	Agregado fibra y mezclado en tolva, espera orden de mina	5	12	7	11	**8,8**
Total		**48**	**42**	**53**	**52**	**48,8 min**

Tabla No. 5 Tiempos de preparación manual

A partir de las mediciones realizadas se determinó que el tiempo medio de preparación manual de concreto es de 49 minutos. Cuando se termina esta tarea el mezclador está listo para llevar el concreto al interior de mina. Los tiempos se distribuyen de la siguiente manera (Grafica No. 1):



Grafica No. 1 Distribución de tiempos en preparación manual

3.2 Operación de transporte de concreto.

3.2.1 Descripción de operación

Esta etapa consiste en el traslado del concreto desde superficie (planta dosificadora manual) hasta interior de mina. Se realiza mediante un camión mezclador o mixer. Este camión, según especificaciones del fabricante, tiene una capacidad máxima de 4 m^3 en trayecto sin desnivel.

Debido a las pendientes que tiene el interior de mina, se determinó que la capacidad máxima es de 2,5 m^3 por ciclo. Las mediciones que se realizaron en esta etapa fueron en el nivel 2372 – Central, siendo este el nivel más profundo y lejano de la mina. Este punto implica la máxima distancia de transporte y, consecuentemente, el mayor tiempo de traslado.

3.2.2 Ciclo de trabajo

Las etapas del ciclo de transporte se suceden de forma secuencial. Inicialmente el equipo se encuentra posicionado en la descarga de la tolva de dosificación mientras se realiza la preparación (Imagen No. 8), Dentro de la hormigonera del equipo se agrega el agua y los aditivos líquidos. Una vez finalizada la preparación, los operadores del equipo lanzador de concreto ingresan al interior de mina para realizar el check-list del equipo lanzador, entonces el camión mezclador estará a la espera de la orden para iniciar el mezclado. El mezclador debe esperar la disponibilidad del robot lanzador para evitar la pérdida del concreto preparado por posibles fallas mecánicas.

Imagen No. 8 Camión mezclador posicionado para preparación

Una vez que se da la orden desde el interior de mina, inicia el mezclado del concreto para luego iniciar el viaje al lugar donde se realizará la aplicación del mismo. Una vez que el equipo llega al sector de aplicación se posiciona alineado con el equipo lanzador para iniciar la descarga del concreto. Cuando se termina la descarga el mezclador regresa a superficie para iniciar un nuevo ciclo.

Un esquema del ciclo de transporte lo podemos observar en la siguiente figura (Figura No. 25):

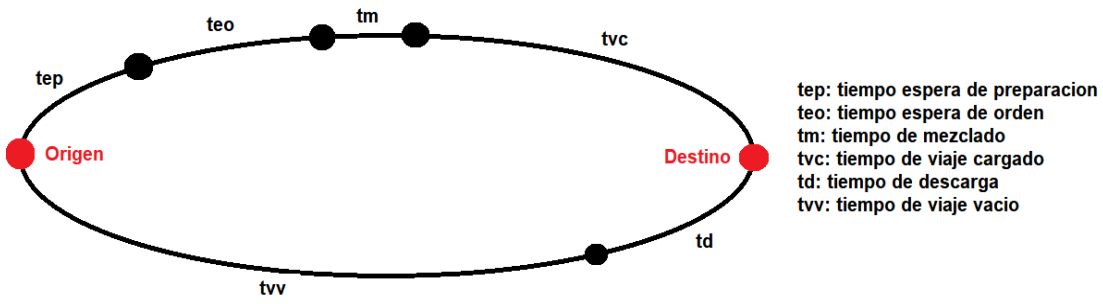


Figura No. 25 Ciclo de trabajo de camión mezclador

El ciclo de transporte se dividió en cuatro etapas principales sobre las cuales se realizaron mediciones de tiempos a fin de determinar un tiempo medio de ciclo. Se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla No. 6):

Tiempos (min)	
Tiempo espera de preparación	49
Tiempo espera de orden	74
Tiempo de mezclado	12
Tiempo viaje cargado	22
Descarga	21,6
Tiempo viaje descargado	22
Total	**200,6**

Tabla No. 6 Tiempos de ciclo de camión mezclador

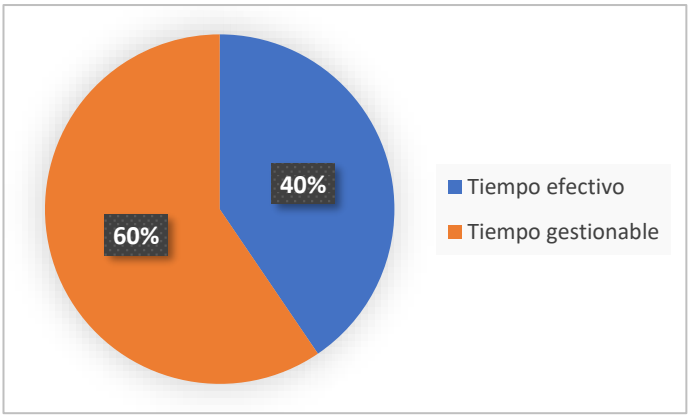
El tiempo de ciclo de transporte calculado es de 200,6 min. Se clasifican los tiempos en tiempos gestionables y tiempos efectivos. Dentro del tiempo efectivo se incluyen el tiempo de viaje de ida y vuelta, ya que corresponde a rutas previamente definidas, el tiempo de descarga, dado que el caudal de concreto que fluye a través de la boquilla del robot lanzador está definido y una porción del tiempo de preparación de concreto (entre 35% a 40%). De esta manera, se obtienen los siguientes tiempos (Tabla No. 7):

Tabla de tiempos (min)	
Tiempo efectivo	**97,2**
Tiempo gestionable	**103,4**
Tiempo gestionable (fuera del ciclo)	**39,4**

Tabla No. 7 Tiempos de camión mezclador

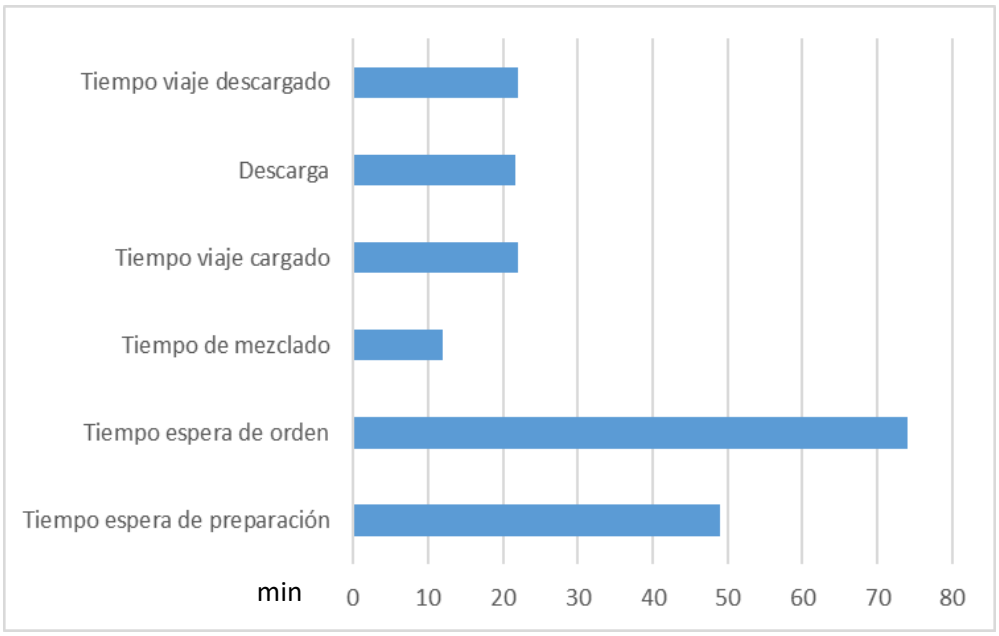
No solo se consideró el tiempo de ciclo, sino también el tiempo disponible. Por lo tanto, el tiempo gestionable total se definirá como la diferencia entre el tiempo disponible y el tiempo efectivo. Esta relación será tomada en cuenta a lo largo de todo el desarrollo del trabajo.

El tiempo gestionable es en el que se debe trabajar para mejorar el rendimiento del equipo. Este tiempo representa un 60% del tiempo operativo, como se observa en la Gráfica No. 2:



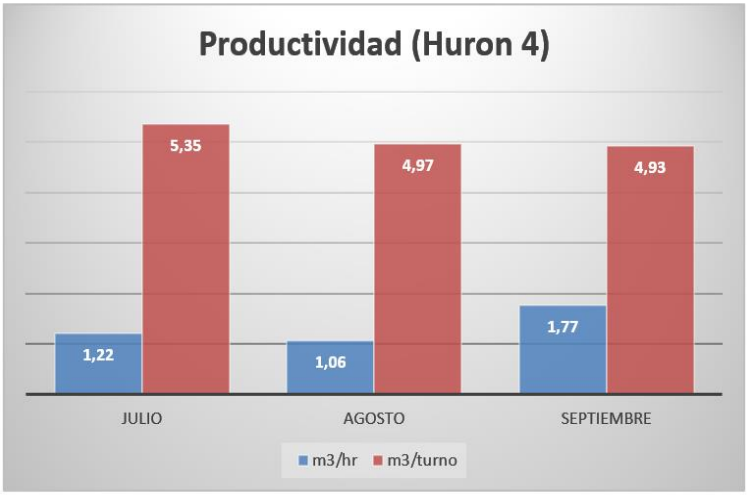
Grafica No. 2 Distribución de tiempos gestionables y tiempo efectivo (Camión mezclador)

En la gráfica No. 3 se puede observar cómo se distribuyen los tiempos y cuáles son los de mayor peso en el ciclo de trabajo. Se observa claramente que existen largos tiempos de espera de la orden de ingreso de mina y el tiempo de espera en la preparación



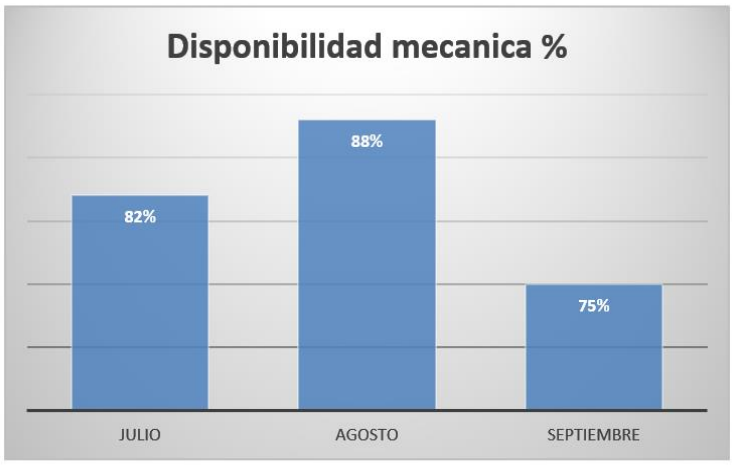
Grafica No. 3 Distribución de tiempos de ciclo en minutos (Camión mezclador)

Para establecer una línea de base del equipo, se recopilaron los parámetros operativos de los últimos tres meses, considerando como variables clave los m³/hr y m³/turno. Estos valores se obtuvieron a partir de los partes diarios realizados por los operarios de los equipos y representan un promedio mensual (Gráfica No. 4).



Grafica No. 4 Productividad (Camión mezclador)

Otro parámetro operativo a tener en cuenta es la disponibilidad mecánica. Al igual que con los parámetros anteriores, se busca tener un valor de referencia (Gráfica No. 5). El promedio de disponibilidad mecánica de los últimos tres meses es del 82%, valor que se utilizará en el próximo capítulo.



Grafica No. 5 Disponibilidad mecánica (Camión mezclador)

3.3 Operación de aplicación de concreto lanzado.

3.3.1 Descripción de la operación

La aplicación del concreto lanzado en la labor es la última etapa de la operación. se realiza con el equipo roboshot que es controlado por un operador con un mando inalámbrico (Imagen No. 9).

Un factor importante en la aplicación del concreto, es el caudal que sale por la boquilla el cual se configura desde el mando del equipo (caudal recomendado 8 a 12 m^3/hr). Este valor es importante porque influye directamente en el tiempo de aplicación y en la cantidad de concreto que descarga el camión mezclador.

Imagen No. 9 Roboshot aplicando concreto lanzado

Es importante que, antes de solicitar el inicio del mezclado del concreto, el equipo lanzador se encuentre en condiciones operativas. En el check-list del equipo se controlan los siguientes elementos:

- La caja de agua de los cilindros de transporte siempre debe estar llena de agua.
- Comprobación de los niveles de aceite del equipo son correctos.
- Verificación de la correcta operación del sistema de engrase automático en el equipo de bombeo y se engrasa de manera manual las articulaciones de la pluma distribuidora.
- Comprobación de las funciones de control para el manejo del equipo funcionan correctamente.
- Verificación de la rejilla y la tolva están limpias y que el vibrador funciona de manera correcta.
- Comprobación de los agujeros del difusor, tobera y líneas de aire y acelerante no presentan obstrucciones.
- Antes de comenzar la proyección, se verifica la salida del acelerante en punta (tobera), de la misma manera nos aseguramos que aparece en la pantalla la cantidad de acelerante deseada (kg/hr y %).
- Lubricar siempre las tuberías y mangueras de transporte antes de iniciar la proyección, lo que conocemos comúnmente como lechada.

Con el check-list controlado se hace el pedido del concreto, donde hay un tiempo de espera del mezclador para poder iniciar la aplicación. Al finalizar la aplicación se limpia el equipo en las partes expuestas al concreto.

3.3.2 Ciclo de trabajo

Para determinar el tiempo medio de ciclo en la aplicación del concreto, se midieron los tiempos de las diferentes tareas. La etapa de preparación se consideró en la medición, dado que los operarios del roboshot son quienes la llevan a cabo y constituye una parte esencial del ciclo de trabajo, con una influencia directa en la eficiencia de la aplicación. Los resultados obtenidos son los siguientes. (Tabla No. 8):

Tiempos (min)	
Tiempo preparación	49
Traslado de personal y equipo	34,5
Saneo y limpieza	60
Preparación de Robot	23
Tiempo de lanzado	20,3
Limpieza de robot	22
Total	**208,8**

Tabla No. 8 Tiempos de ciclo de aplicación de concreto lanzado

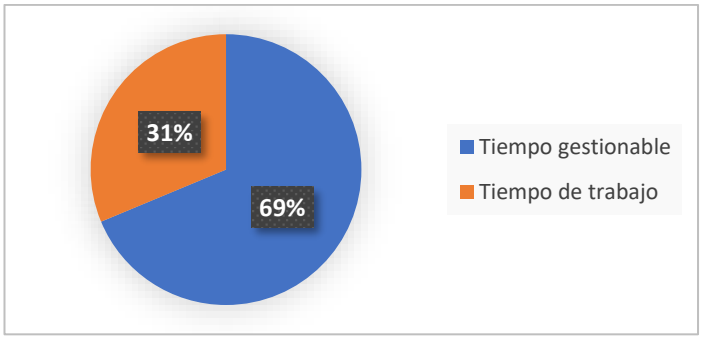
El tiempo del ciclo de aplicación determinado es de 208,8 min. En esta etapa, los tiempos no gestionables o efectivos considerados son la preparación del roboshot, el tiempo de lanzado y la limpieza del equipo.

Mientras que los tiempos gestionables son los traslados de personal y del equipo. Este último dependerá de la ubicación anterior del equipo. Los tiempos gestionables y tiempo efectivo de esta operación, se muestran en la siguiente tabla (Tabla No. 9):

Tabla de tiempos (min)	
Tiempo efectivo	**65,3**
Tiempo gestionable	**143,5**
Tiempo gestionable (fuera del ciclo)	**31,2**

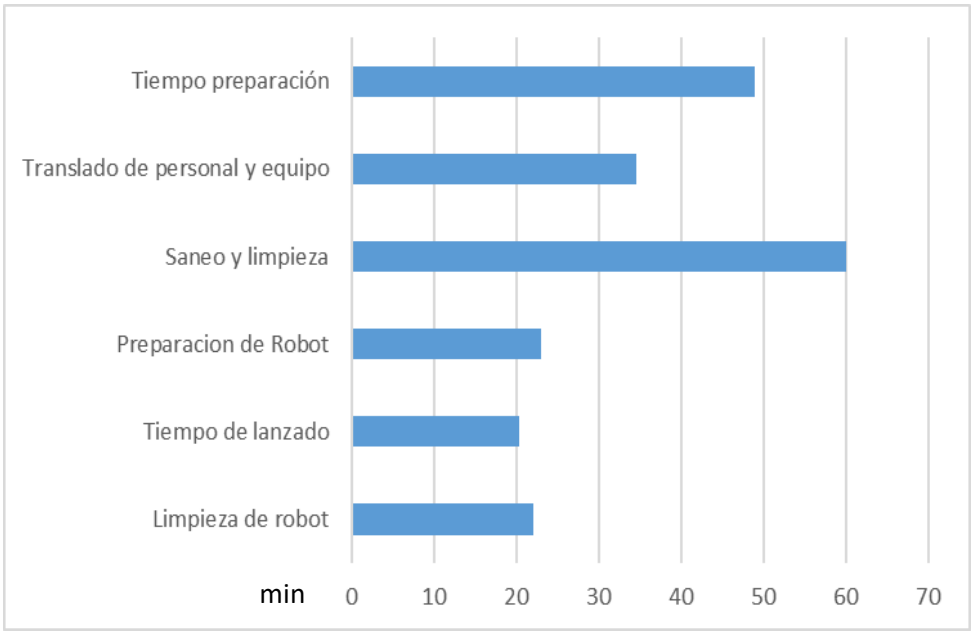
Tabla No. 9 Tiempos de aplicación de concreto lanzado

En los tiempos que se debe trabajar para mejorar la productividad es en el tiempo gestionable, ya que en este caso abarcan un 69% del tiempo operativo como podemos observar en la siguiente gráfica (Grafica No. 6):



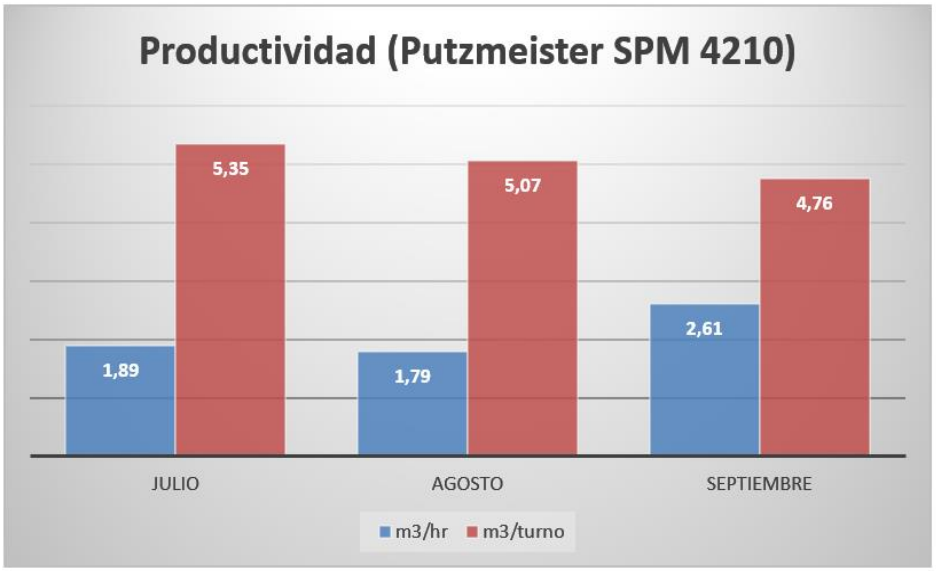
Grafica No. 6 Distribución de tiempos gestionables y tiempo efectivo (Roboshot)

En la Grafica No. 7 se observa la distribución de los tiempos del ciclo. Se evidencia claramente que los tiempos de preparación, saneo y limpieza son considerablemente extensos.



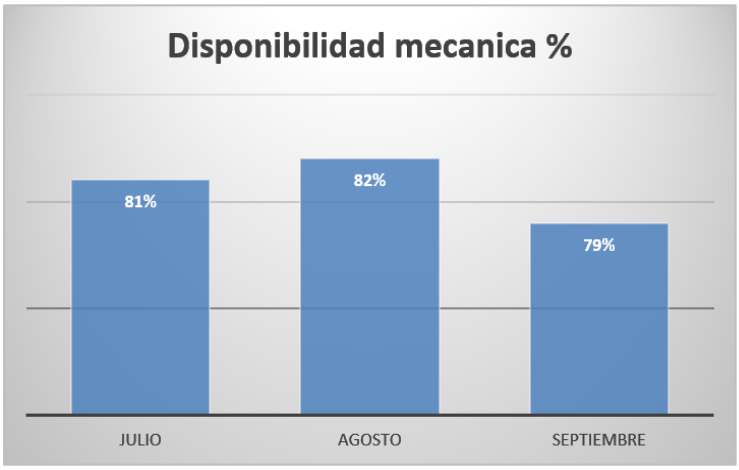
Grafica No. 7 Distribución de tiempos de ciclo en minutos (Roboshot)

Para establecer la línea de base del equipo, se recopilaron los parámetros operativos de los últimos tres meses, considerando como variables clave los m³/hr y m³/turno. Estos valores, que representan un promedio mensual, se obtuvieron de los partes diarios de los operarios de los equipos. (Gráfica No. 8).



Grafica No. 8 Productividad (Roboshot)

Otro parámetro operativo a tener en cuenta es la disponibilidad mecánica, Al igual que con los parámetros anteriores se busca tener un valor de referencia (Grafica No. 9). El promedio obtenido en los últimos tres meses resulta una disponibilidad mecánica del 82%.



Grafica No. 9 Disponibilidad mecánica (Roboshot)

3.4 Operación de colocación de sostenimiento (empernado).

3.4.1 Descripción de operación

La operación de fortificación se lleva a cabo en la mayoría de los tipos de calidad de roca. La instalación de pernos se inicia en rocas tipo B, mientras que, en las rocas tipo C, D y E, según la tabla GSI adaptada para la mina Farallón Negro (Tabla No. 1), se aplica una combinación de pernos y malla.

Los pernos utilizados son del tipo split set y swellex, aunque se observa una tendencia creciente hacia el uso de pernos swellex debido a sus ventajas y a su facilidad de instalación. El procedimiento a seguir varía según el tipo de perno que se coloque. Para la instalación de pernos split set, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

-Los taladros se perforan una vez definido el patrón de los pernos, verificando siempre que sean un poco más largos que los pernos. Luego, se hace pasar la placa a través del tubo ranurado y se coloca el extremo del tubo en la entrada del taladro.

Se saca el barreno de la perforadora y se coloca el adaptador o culatín, acoplando éste al otro extremo del tubo. Se acciona la perforadora la cual empuja el tubo hasta pegar la platina contra la roca. El equipo empernador empuja la malla sobre la superficie de la labor para una correcta colocación.

Para la colocación de los pernos swellex se tienen las siguientes consideraciones:

- Inicialmente se controla la correcta posición de la malla electrosoldada y el traspale de esta. Se observa donde se realizará la perforación para respetar la distribución romboidal recomendada por geomecánica (Imagen No. 10).

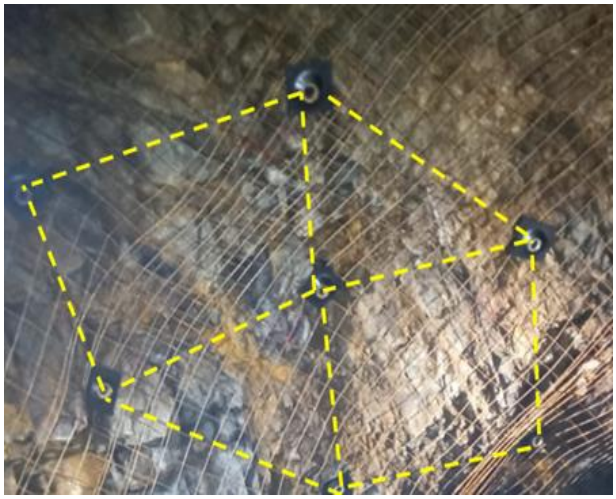


Imagen No. 10 Distribución romboidal de pernos

Una vez perforado el taladro, se introduce el perno en el taladro y mediante la bomba del equipo se aplica agua a alta presión para inflar el tubo, proceso que dura unos pocos segundos. Cuando la presión del agua llega a 300 bar, la bomba corta automáticamente. Durante el inflado, la longitud del perno se reduce, generando una tensión axial que empuja la placa de reparto contra la roca. Este tipo de perno no retiene agua en su interior.

3.4.2 Ciclo de trabajo

La determinación del tiempo de colocación de pernos y mallas es sumamente necesario para la determinación de los costos en los equipos de perforación. El tiempo que demande dependerá de la experiencia del perforista, la calidad y tipo de roca y el tipo de perno, entre otros factores. Se determinó el tiempo de colocación para los pernos swellex, ya que este resultó ser mayor en comparación con los pernos split set.

Para el estándar de geomecánica de una distribución romboidal de 1,3 m x 1,3 m con un avance de 6,8 m, se requieren dos mallas traslapadas. Para su correcta colocación se deben instalar como mínimo 18 pernos. Para este procedimiento se determinó un tiempo de instalación aproximado de 1,6 hr. Los tiempos medios de instalación de un perno se muestran en la siguiente tabla (Tabla No. 10):

Tiempo por perno		
Actividad	**Tiempo (min)**	**Total**
Colocacion de malla	2	**5,33**
Emboquille	0,72	
Tiempo de perforacion	1,96	
Colocacion de perno swellex	0,65	

Tabla No. 10 Tiempos de colocación de pernos

El detalle de las mediciones se encuentra en el Anexo II.

3.5 Identificación de problemas y consecuencias

Variación en la composición:

El diseño de mezcla que se utiliza en la mina tiene ciertas características, se busca que tenga una densidad de 2332,8 kg/m^3 con una resistencia a la compresión de 36,2 MPa y fraguado de 28 días. Para la preparación del concreto se sigue una fórmula teórica que fue diseñada por el área de geomecánica (Tabla No. 3) que tiene determinadas cantidades de componentes. Una variación en la composición hace que cambien las características del concreto y se tengan consumos variables y desmedidos.

La preparación manual presenta algunas deficiencias. La primera se evidencia en el manejo de la arena, ya que su pesaje se realiza de forma indirecta y varía según el turno que se lleva a cabo la operación. Además, no se considera la humedad presente en el agregado. La cantidad de bolsas de cemento se calcula en función del peso estimado de la arena, como se mostró en la Tabla No. 4. Esto genera un error de aproximadamente ± 50 kg de cemento.

Debido a la ausencia de un caudalímetro, la cantidad de agua agregada se basa en la estimación del operador, lo que introduce un factor humano considerable en esta etapa del proceso.

Un parámetro fundamental para la resistencia a la compresión es la relación agua/cemento, al no tener certeza de esta relación no se puede conocer la UCS (uniaxial compressive strength) haciendo disminuir el factor de seguridad en la aplicación de concreto.

Seguridad laboral: Existen problemas de seguridad laboral en la etapa de preparación del concreto. Los materiales peligrosos en el cemento son compuestos alcalinos tal como la cal que son corrosivos para el tejido humano, rastros de sílice cristalina que es abrasiva para la piel y puede dañar los pulmones y rastros de cromo que pueden causar reacciones alérgicas. Al realizar la preparación de manera manual los trabajadores se encuentran expuestos al polvo del cemento (Imagen No. 11).

El cemento puede causar problemas de salud a través de:

- Contacto con la piel: El contacto con el cemento puede causar dermatitis que es una inflamación de la piel donde se sufre de picazón y dolor, se ve roja, agrietada y escamosa. El cemento puede causar dermatitis tanto irritativa como alérgica.

- Contacto con los ojos: Cuando el polvo de cemento entra en los ojos puede causar enrojecimiento, quemaduras químicas o en casos más graves ceguera.

- Inhalación de Polvo: El manejo de cemento puede producir altos niveles de polvo. La inhalación de polvo de cemento puede provocar asfixia, irritación de la nariz y la garganta y dificultad para respirar. La exposición prolongada o repetida puede provocar una enfermedad pulmonar incapacitante.

Imagen No. 11 Pala descargando cemento

- Manejo manual: Trabajar con cemento también presenta riesgos físicos como distensiones y torceduras, particularmente en la espalda, los brazos y los hombros. Levantar y transportar repetidamente cargas pesadas, tal como bolsas de cemento puede provocar tensión muscular, distensión de ligamentos, hernias de disco, daños a los nervios y otros trastornos musculoesqueléticos (Imagen No. 12).

Imagen No. 12 Operarios realizando cargan manual de cemento

Productividad directa: Los KPI de los equipos vinculados a la aplicación de concreto lanzado (m^3/hr, m^3/turno, utilización %) se ven afectados por los largos tiempos de preparación del concreto y la cantidad de tiempos gestionables. Otro problema presente es contar con una flota reducida de equipos, ya que si algún equipo tiene una falla mecánica o problema se detiene toda la operación de sostenimiento ya que solo se cuenta con un roboshot y un camión mezclador.

Productividad indirecta: En este caso mencionamos los equipos que no están vinculados a la aplicación de concreto lanzado como ser perforadoras, scoops, empernadores, entre otros. Cuando se está avanzando en basales por lo general por lo general se encuentra roca de mala calidad geomecánica, la cual requiere sostenimiento bietápico o trietápico. En algunos casos la calidad de roca es tan mala que requiere sostenimiento tras avance.

El inconveniente surge cuando la aplicación del concreto lanzado se encuentra demorada o no se dispone de los equipos necesarios debido a fallas en los mismos. En estos casos, las condiciones de seguridad no permiten la ejecución de trabajos en ese sector, lo que impide el avance de las perforadoras, scoops, empernadores, entre otros, interrumpiendo así todo el ciclo de trabajo.

Saneo y limpieza: En el ciclo de trabajo (Figura No. 5) antes del sostenimiento está la operación de limpieza del material volado con scoop y saneo manual o mecanizado. Antes de la aplicación de concreto lanzado se recomienda un leve repaso del saneo por cuestiones de seguridad y para adecuar el sustrato a la aplicación de shotcrete. En muchas ocasiones, al realizar este repaso, se observa la caída de rocas de tamaño considerable o la caída de mucho material debido a que el saneo anteriormente no se realizó de manera correcta. Esto genera el problema que muchas veces que se debe solicitar un scoop para volver a limpiar el material caído (tiempo de espera de scoop) y como consecuencia se retrasa la aplicación de concreto lanzado, por ende, se atrasa todo el ciclo de trabajo.

Profundización: La preparación manual no se adapta a la mecanización completa de la mina, por lo tanto, no se ajusta a lo necesario para la profundización y el ciclo de minado, principalmente por los tiempos largos de preparación de concreto, tiempos muertos y falta de equipos.

La expansión constante de la mina, en el contexto de un ciclo de trabajo con deficiencias, podría generar una incapacidad para cubrir las necesidades de sostenimiento en las labores futuras. Esto, inevitablemente, pondrá en riesgo las condiciones de seguridad requeridas para el personal.

3.5.1 Análisis de causas

A continuación, se presenta un análisis de las causas asociadas a cada uno de los problemas mencionados, con el objetivo de facilitar su comprensión y priorización. Para ello, se ha empleado una metodología combinada basada en la metodología de Ishikawa y la técnica de los 5 porqués.

Variación en la composición del concreto

Problema	Causas directas	Causas raíz	Consecuencias
Variación en las propiedades del concreto	Pesaje inexacto de la arena y cemento	Falta de control de calidad en insumos	Consumo variable y excesivo de insumos
	No considerar humedad de agregado	Ausencia de equipos de medición precisos.	Resistencia del concreto variable.
	Estimación manual de agua.	- Proceso de preparación manual (variabilidad operador a operador)	- Factor de seguridad incierto

Tabla No. 11 Análisis de causas sobre composición

Seguridad laboral en la preparación de concreto

Problema	Causas directas	Causas raíz	Consecuencias
Exposición a riesgos químicos y físicos	Exposición al polvo de cemento.	Proceso manual.	Dermatitis, enfermedades respiratorias, lesiones musculoesqueléticas
	Manipulación manual de bolsas pesadas	Falta de controles de ingeniería.	Accidentes y enfermedades laborales

Tabla No. 12 Análisis de causas sobre seguridad

Productividad directa

Problema	Causas directas	Causas raíz	Consecuencias
KPI bajos	Largos tiempos de preparación	Falta de inversión en equipos	Demoras en aplicación de shotcrete.
	Flota reducida	No estandarización del proceso	Paradas frecuentes
		Mantenimiento deficiente de equipos	Bajo rendimiento operativo

Tabla No. 13 Análisis de causas de productividad directa

Productividad indirecta

Problema	Causas directas	Causas raíz	Consecuencias
Retraso en avance de otras labores (perforadoras, scoops, empernadores)	Demoras en aplicación de shotcrete por falta de equipos o fallas	Deficiencia en coordinación entre equipos	Paro de ciclo completo
	Mal saneo previo (retrabajos, limpieza adicional)	Saneo inicial deficiente por falta de supervisión o equipos	Aumento de tiempos muertos
		Falta de equipos de respaldo	- Costos indirectos altos

Tabla No. 14 Análisis de causas de productividad indirecta

Problemas en profundización y expansión

Problema	Causas directas	Causas raíz	Consecuencias
Incapacidad de sostener futuras labores	Proceso manual no escala con la mecanización.	No adaptación tecnológica.	Riesgo a futuro de sostenimiento insuficiente.
	Deficiencias en ciclo actual.	Falta de planificación estratégica de recursos y equipos.	Posible afectación a seguridad y producción
			Cuello de botella en expansión minera

Tabla No. 15 Análisis de causas de profundización

3.5.2 Matriz de Complejidad vs. Beneficio

Se elaboró una matriz que ayuda a medir los beneficios y la complejidad de las posibles acciones correctivas. Esta herramienta permitirá asignar prioridades de manera más ordenada y enfocarse en las soluciones que aporten más valor. Para realizar este análisis, se usó una escala del 1 al 5 para evaluar, por separado, la complejidad y el beneficio de cada acción, siguiendo los siguientes criterios:

En cuanto a la complejidad, una puntuación de 1 significa que la acción es fácil de implementar, se puede llevar a cabo rápidamente y con pocos recursos. Una puntuación de 3 indica que la acción necesita algo de planificación, algunos recursos y quizás ciertos ajustes dentro de la organización. Una puntuación de 5 representa una acción más compleja, que implica cambios importantes en los procesos o requiere una infraestructura considerable.

Respecto al beneficio, una puntuación de 1 indica que la acción tendría un impacto bajo y no generaría grandes cambios en la operación o la seguridad. Una puntuación de 3 señala una mejora clara en un área específica, aunque no tan significativa. Una puntuación de 5 corresponde a un beneficio alto, con un impacto importante y mejoras sostenidas en toda la operación o en el área donde se aplique.

Problema	Acción Correctiva	Complejidad (C)	Beneficio (B)	Criticidad C x B
Variación en composición del concreto	Implementación de planta automatizada de mezcla	5	5	**25**
Estimación manual de materiales	Estandarización de POE y capacitación	3	4	**12**
Falta de equipos	Incorporación de roboshot y camión mezclador de respaldo	4	5	**20**
Exposición a polvo de cemento	Mecanización de mezcla y EPP adecuado	3	5	**15**
Saneo deficiente	Capacitación en técnicas de saneo y comunicación	1	5	**5**
Profundización	Mecanización e incremento de equipo	5	4	**20**

Tabla No. 16 Matriz de complejidad vs beneficio

Interpretación

1. Prioridades más altas (Criticidad > 20):
    - Variación en la composición del concreto (25) y falta de equipos (20) son las acciones correctivas con mayor impacto y complejidad. Estas son las que deberían ser abordadas más rápidamente, ya que tienen un beneficio muy alto, pero también requieren mucha inversión y esfuerzo.
    - Profundización (20) es una prioridad crítica debido a su gran beneficio a largo plazo, aunque es muy compleja de implementar. La planificación debe ser iniciada cuanto antes para asegurar la capacidad de expansión futura.
2. Prioridades intermedias (Criticidad 10 - 20):
    - Estimación manual de materiales (12) y exposición a polvo de cemento (15) tienen un beneficio alto, pero con una complejidad moderada. Estas acciones son más fáciles de implementar.
3. Prioridades más bajas (Criticidad < 10):
    - Saneo deficiente (5) tiene un impacto positivo, pero no tan grande como las otras.

3.5.3 Plan de acción

A partir del análisis de las causas raíz identificadas, se han definido los siguientes planes de acción con el objetivo de corregir las problemáticas detectadas y prevenir su recurrencia. Estas acciones buscan abordar tanto las causas inmediatas como las subyacentes, asegurando una mejora sostenida en los procesos.

Problema	Acción correctiva propuesta
Variación en la composición del concreto	• Implementación de planta mecanizada. • Instalar caudalímetro para agua. • Medir de humedad de agregados.
Relación agua/cemento	• Instalar caudalímetro. • Capacitar personal en control de relación A/C. • Implementar sistema de pesaje exacto de cemento.
Problemas de seguridad laboral	• Dotación y uso obligatorio de EPP. • Mecanizar descarga y manipulación de cemento (tolva automática).
Productividad directa	• Implementación de planta mecanizada. • Adquirir equipos de respaldo.
Productividad indirecta	• Mejorar coordinación inter-áreas. • Adquirir equipos de respaldo.
Saneo deficiente	• Capacitación en saneo correcto. • Supervisión.
Profundización	• Implementación de planta mecanizada. • Adquirir equipos de respaldo.

Tabla No. 17 Plan de acción

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECANIZADO

Este capítulo se centra en el análisis de la mecanización en la preparación del concreto y la ampliación de la flota de equipos para concreto lanzado. Se detallan los ciclos de trabajo, los tiempos gestionables y efectivos de cada equipo, y se calculan indicadores clave de desempeño (KPI), entre otros aspectos relevantes

La adquisición de la planta dosificadora mecanizada (Tecnus TM 30) permite estandarizar la dosificación de los componentes del concreto (resistencia homogénea), mejorar los tiempos operativos, aumentar la productividad, disminuir la cantidad de operadores, aumentar la seguridad laboral, etc. El incremento de la flota de equipos y la mecanización de la preparación del concreto implican una nueva estructura en los ciclos de trabajo, y exigen una coordinación óptima de las tareas para maximizar el rendimiento en la operación de sostenimiento.

4.1 Operación de preparación mecanizada de concreto

4.1.1 Descripción de operación

Antes de describir el proceso de preparación mecanizado es importante mencionar algunas características principales de la planta (Imagen No. 13), Esta planta posee una tolva/balanza con sistema de pesado a través de celdas de carga en cualquiera de sus dos balanzas (áridos, cemento). Este sistema le permite trabajar por descuento y comienza el ciclo siempre cargado con los materiales a dosificar, es decir, las balanzas cargadas. El posicionamiento del camión mezclador permite el inicio inmediato de la descarga de los componentes, lo cual es una ventaja. Los agregados, cemento y agua son los componentes que se miden desde la planta, mientras que los aditivos y las fibras se agregan de forma manual, ya que tendrán medidas estándares para disminuir el error. En el anexo III se describen todas las partes que constituyen la planta de preparación mecanizada.

Imagen No. 13 Planta Tecnus TM 30 en campo

La planta cuenta con un software propio, desarrollado por la empresa proveedora del equipo, que suministra toda la información necesaria para su operación. La pantalla principal del sistema está dividida en tres visores principales: visor de áridos, visor de cemento y visor de agua (Imagen No. 14).

Dentro de la interfaz tenemos múltiples opciones para hacer la preparación de concreto lo más eficiente posible, se describen las más importantes y necesarias para la preparación.

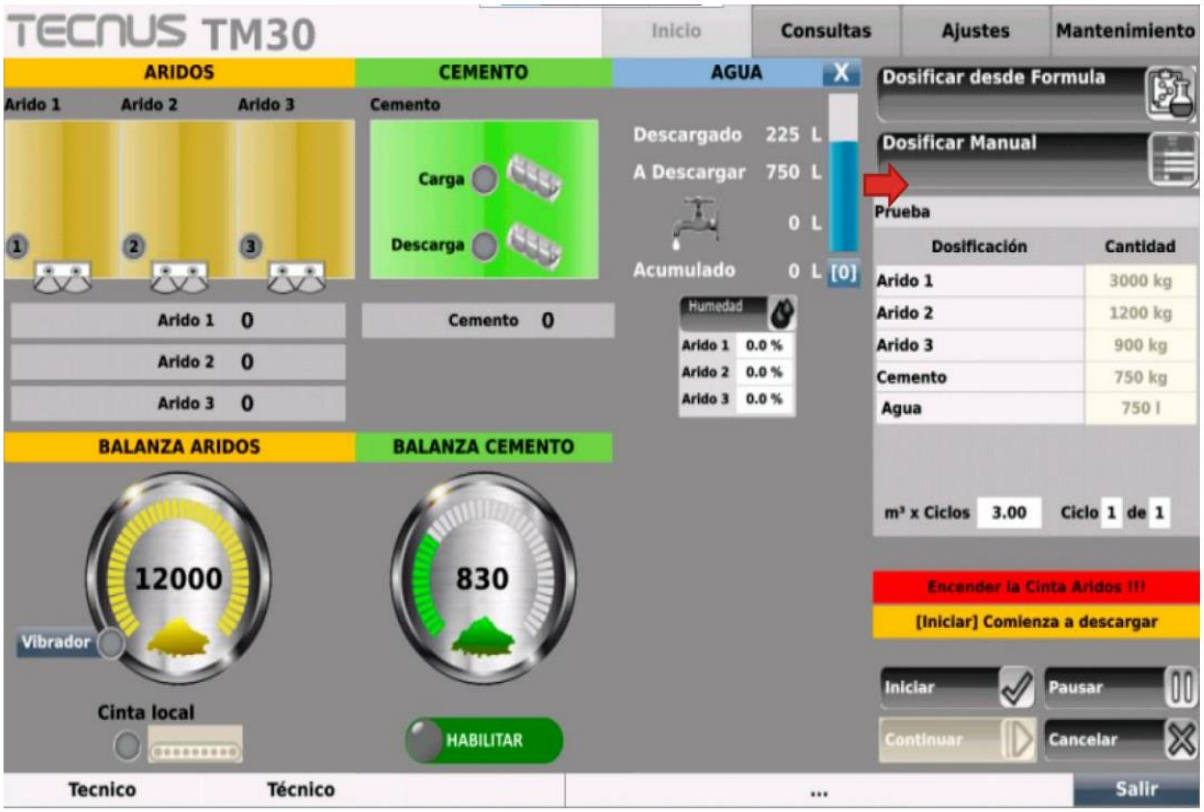


Imagen No. 14 Software de la planta

Las fórmulas de diseño del concreto cargadas en el software de la planta constituyen un elemento de gran importancia. El sistema permite almacenar hasta 20 formulaciones diferentes, indicando las cantidades necesarias de cada componente. La fórmula teórica previamente mencionada es la de mayor utilización en la operación (Tabla No. 3).

En el caso de los áridos, se muestran tres pesajes debido a los compartimentos de la tolva. Al momento de cargar las distintas fórmulas, se debe ingresar cuántos kilogramos de arena se desean por compartimento, así como también la cantidad de cemento y agua. Esta pestaña permite, además, conocer la cantidad de componentes necesarios en función del volumen de concreto a preparar. En la parte izquierda de la pantalla se visualiza el listado de fórmulas de concreto, mientras que a la derecha se encuentran las opciones correspondientes a la fórmula seleccionada (componentes, nombre, cálculo de dosificación, entre otros) (Imagen No. 15).

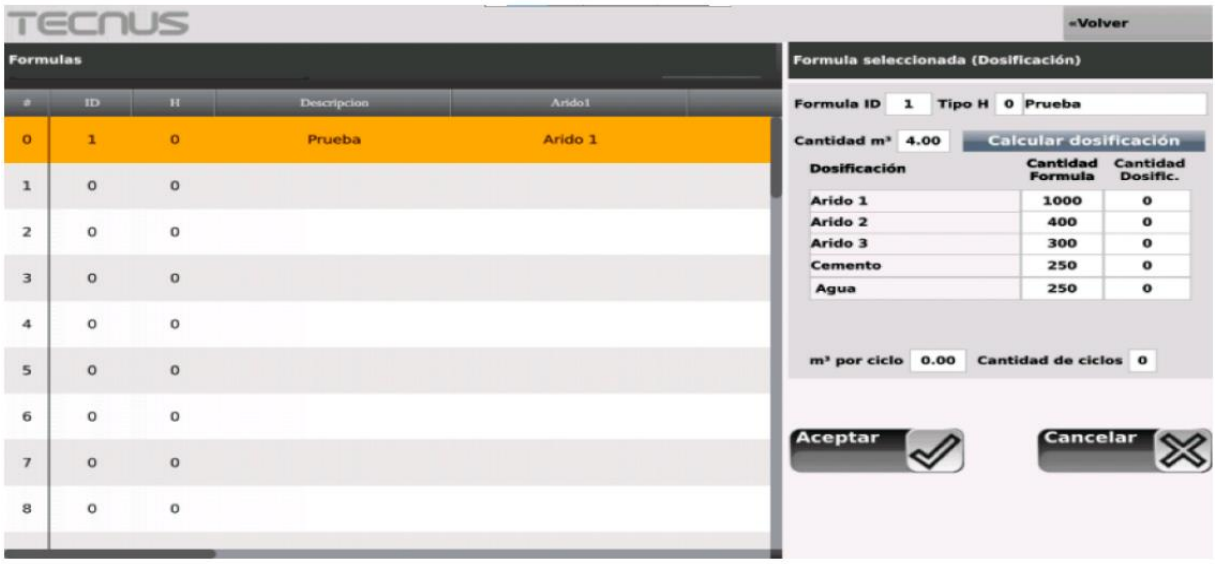


Imagen No. 15 Interfaz de formulas

Dosificación de áridos

La planta posee tres compartimentos en la balanza cuyas capacidades para cada una son: áridos 1: 3995 kg; áridos 2: 2556 kg; y áridos 3: 3995 kg (Imagen No. 16). Esto implica que el comando de la máquina puede dosificar hasta 10.600 kg de tres materiales diferentes (este dato depende de la densidad del agregado que se use). La única forma de cargar los áridos es mediante una pala cargadora con la capacidad adecuada a las necesidades.

Imagen No. 16 Tolva de arena

La interfaz de la planta facilita el seguimiento individual de cada compartimento y del total de arena disponible para la preparación del concreto (Imagen No. 17). Para la producción de concreto en la mina, se emplea un solo tipo de agregado, por lo que la tolva se carga con este único material. Una vez pesado el agregado este desciende y se descarga por cinta transportadora al camión mezclador.

Imagen No. 17 Pestaña de áridos

Dosificador de cemento

La balanza de cemento dispone de un único compartimento cuya capacidad total es de aproximadamente 3000 kg, lo que permite la preparación de unos 8,5 m^3 en medio turno con la balanza cargada (Imagen No. 18).

El cemento se descarga a través de un tornillo sin fin de 4 m. En el hipotético caso de problemas con el suministro a granel es posible usar bolsas.

Imagen No. 18 Balanza de cemento

La balanza de cemento se carga a través del silo móvil instalado “TECNUS SMT65” que posee una capacidad de 65 tn de cemento y funciona por medio de un tornillo sin fin de carga. El sistema trabaja por descarga, por lo que los valores serán los elegidos cuando el contador llegue a cero (Imagen No. 19).

Imagen No. 19 Silo de cemento

En la interfaz de la planta se puede observar la cantidad de cemento disponible en la balanza y también seleccionar entre las opciones de carga de la balanza o descarga en el camión mezclador (Imagen No. 20).

Imagen No. 20 Pestaña de cemento

Dosificación de agua

El agregado del agua se realiza por una bomba incorporada en la planta, la descarga es por pulsaciones (lt/pulso). El interfaz indica la cantidad de agua descargada, a descargar y el acumulado (Imagen No. 21).

La cantidad de agua estará en función de la fórmula seleccionada inicialmente, que depende básicamente de la cantidad de concreto a preparar y del porcentaje de humedad de los agregados. Es importante el control de humedad de los mismos, principalmente en épocas de lluvia, para tener un cálculo preciso de la preparación de concreto. Por lo general, el porcentaje de humedad de la arena oscila entre un 4% y un 8%. Sin embargo, en épocas de lluvia, este valor puede incrementarse entre un 10% y un 15%.

Imagen No. 21 Pestaña de agua

Con todas las balanzas controladas y cargadas con sus respectivos componentes, el camión mezclador se posiciona en la boca de descarga e inicia la preparación (Imagen No. 22).

Imagen No. 22 Camión posicionado para descarga de componentes

4.1.2 Ciclo de trabajo

El ciclo de preparación se resume en tres tiempos que se detallan en la Tabla No. 18. Dado que es un proceso mecanizado y la cantidad de concreto es fija (máximo 3 m^3), no se esperan variaciones significativas en los tiempos. Como resultado, se obtiene para la preparación de 3 m^3 un tiempo de ciclo de 9,1 min.

Ciclo de planta		
Posicionamiento H4 + Fibra + Agregado de aditivos	4	min
Agregado de agua	2,6	
Arena + Cemento	2,5	
Total	**9,1**	**min**

Tabla No. 18 Ciclo de planta mecanizada

4.2 Operaciones de transporte y aplicación de concreto lanzado

Se analizarán distintas alternativas de ciclos de trabajo, se elaborará un diagrama de Gantt que detallará la secuencia y duración de las actividades de cada equipo. A partir de este, se determinan los tiempos efectivos y gestionables, y se calcularan los indicadores clave de desempeño (KPI) de los equipos más relevantes.

Los indicadores clave de desempeño (KPI) que se calcularán para las distintas alternativas son los siguientes: productividad en metros cúbicos por hora (m³/hr), productividad en metros cúbicos por turno (m³/turno) y utilización (%). La disponibilidad mecánica (%) corresponde a un dato mensual de los equipos, para el cual se utilizó un promedio de los valores registrados en los últimos tres meses, tal como se mencionó en el capítulo anterior.
Para el cálculo de los KPI asociados a las distintas alternativas, se emplearán las siguientes expresiones:

Camión

$$Productividad\ \frac{m^3}{hr} = \frac{metros\ cubicos\ transportados}{hr\ efectivas}$$

$$Productividad\ \frac{m^3}{turno} = \frac{metros\ cubicos\ transportados\ por\ dia}{Cantidad\ de\ turnos}$$

$$Utilizacion\ (\%) = \frac{tiempo\ efectivo}{tiempo\ disponible}$$

Nota: tiempo disponible = tiempo nominal * % Disponibilidad mecanica

Roboshot

$$Productividad\ \frac{m^3}{hr} = \frac{metros\ cubicos\ lanzados}{hr\ efectivas}$$

$$Productividad\ \frac{m^3}{turno} = \frac{metros\ cubicos\ lanzados\ por\ dia}{Cantidad\ de\ turnos}$$

$$Utilizacion\ (\%) = \frac{tiempo\ efectivo}{tiempo\ disponible}$$

Para definir los nuevos ciclos de trabajo, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones para el cálculo: se prepararán 2,5 m^3 de concreto por viaje y la distancia de transporte será la máxima, es decir, al nivel más profundo de la mina. Los ciclos de trabajo calculados se consideran medio turno, que tiene una duración nominal de 240 min.

Las alternativas propuestas de los ciclos de trabajo son las siguientes:

- Alternativa 1: Un roboshot y un camión mezclador.

- Alternativa 2: Un roboshot y dos camiones mezcladores.

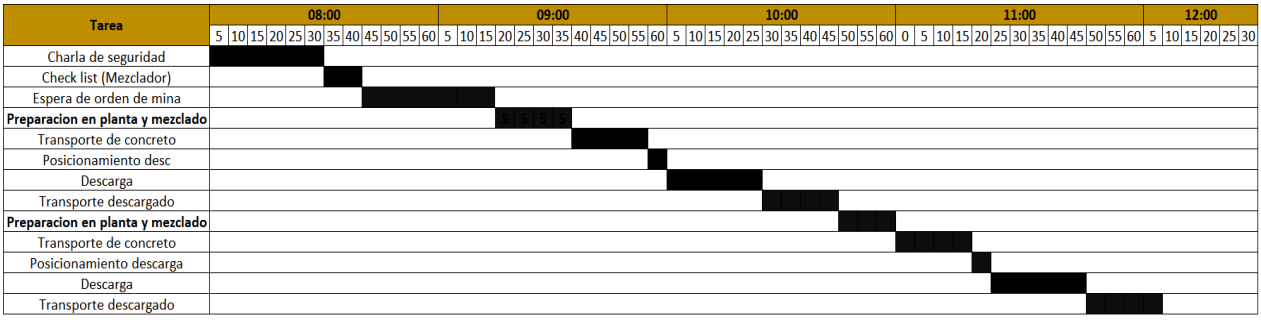
- Alternativa 3: Dos roboshot y dos camiones mezcladores.

4.2.1 Alternativa 1

Para la primera alternativa se utilizará un camión mezclador, un roboshot y la planta mecanizada. Este podría ser un escenario donde el resto de la flota se encuentra en mantenimiento, reserva o el caso de que no se tengan frentes disponibles para sostener.

Camión mezclador

Algunos puntos a considerar son que entre el tiempo de preparación y mezclado se tiene 15 minutos, esto se debe a que es recomendable un tiempo de mezclado de 5 minutos antes de iniciar el viaje y el restante es de la preparación. Mientras se espera la orden de mina el camión ya está posicionado para iniciar la preparación de concreto. El diagrama de Gantt con las tareas que realizará el camión mezclador es el siguiente (Grafica No. 10):



Grafica No. 10 Diagrama de Gantt para camión (Alternativa 1)

Según las tareas que realiza el camión los tiempos acumulados se observan en la siguiente tabla (Tabla No. 19):

Tiempos (min) - Camion	
Check list (Mezclador)	10
Tiempo de mezclado	10
Preparacion en planta y mezclado	20
Tiempo espera de orden	35
Posicionamiento descarga	10
Tiempo viaje cargado	44
Descarga	43,2
Tiempo viaje descargado	44
Total	**216,2**

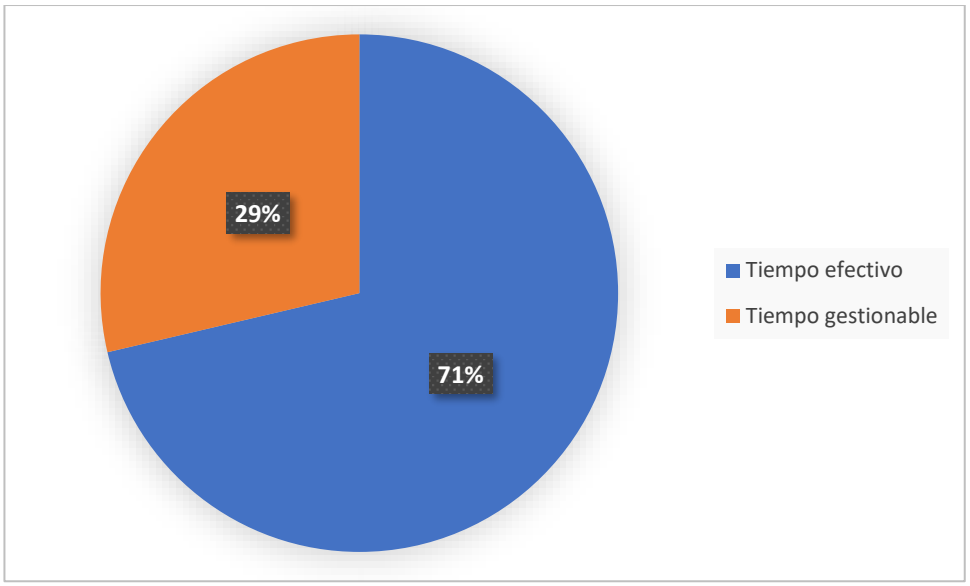
Tabla No. 19 Tiempos de ciclo para camión (Alternativa 1)

Analizando los tiempos de trabajo se realiza la clasificación de estos en tiempos gestionables y tiempos efectivos, obteniendo así los valores que se muestran en la Tabla No. 20:

Tabla de tiempos (min) - Camión	
Tiempo efectivo	171,2
Tiempo gestionable	45
Tiempo gestionable (fuera de ciclo)	23,8

Tabla No. 20 Tiempos de camión (Alternativa 1)

La distribución de los tiempos es la siguiente (Gráfica No. 11):



Grafica No. 11 Distribución de tiempos de camión (Alternativa 1)

Conociendo el ciclo de trabajo completo, el volumen de concreto transportado y los demás parámetros se calculan los KPI respectivos del camión mezclador, obteniendo los siguientes valores (Tabla No. 21):

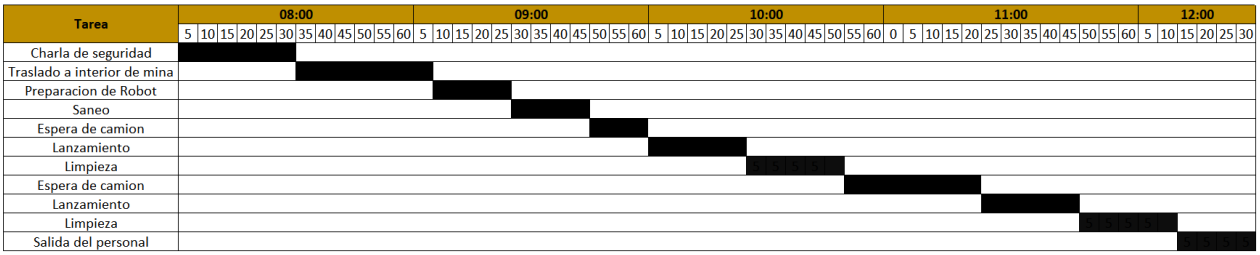
KPI - Camion	
Productividad (m3/hr)	1,75
Productividad (m3/turno)	10
Disponibilidad %	82,3%
Utilizacion %	86,7%

Tabla No. 21 KPI de camión (Alternativa 1)

Es importante aclarar que la disponibilidad mecánica se calculó basándose en datos de meses anteriores, y podría variar según las condiciones de la operación y las fallas del equipo.

Roboshot

Una consideración importante es que, al iniciar la preparación del robot, se analizan primero las partes más críticas del equipo para dar la orden de preparación de concreto lo antes posible, y así reducir el tiempo de espera del camión. Cuando el tiempo de espera, luego del lanzado, supera los 20 min, se recomienda realizar una limpieza rápida del equipo para evitar inconvenientes relacionados con el fraguado del concreto en las piezas del equipo. A continuación, se presenta el diagrama de Gantt con las tareas que realizan el roboshot (Grafica No. 12):



Grafica No. 12 Diagrama de Gantt para roboshot (Alternativa 1)

En el tiempo de traslado a interior de mina también contempla el traslado del equipo al frente de trabajo, En este caso el equipo realiza 2 lanzamientos por media jornada laboral. Según las tareas que realiza el roboshot los tiempos acumulados se observan en la siguiente tabla (Tabla No. 22):

Tiempos (min) - Roboshot	
Traslado a interior de mina	34,5
Preparacion de Robot	23
Saneo	20
Espera de camion	50
Lanzamiento	40,6
Limpieza	44
Salida del personal	20
Total	**232,1**

Tabla No. 22 Tiempos de ciclo para roboshot (Alternativa 1)

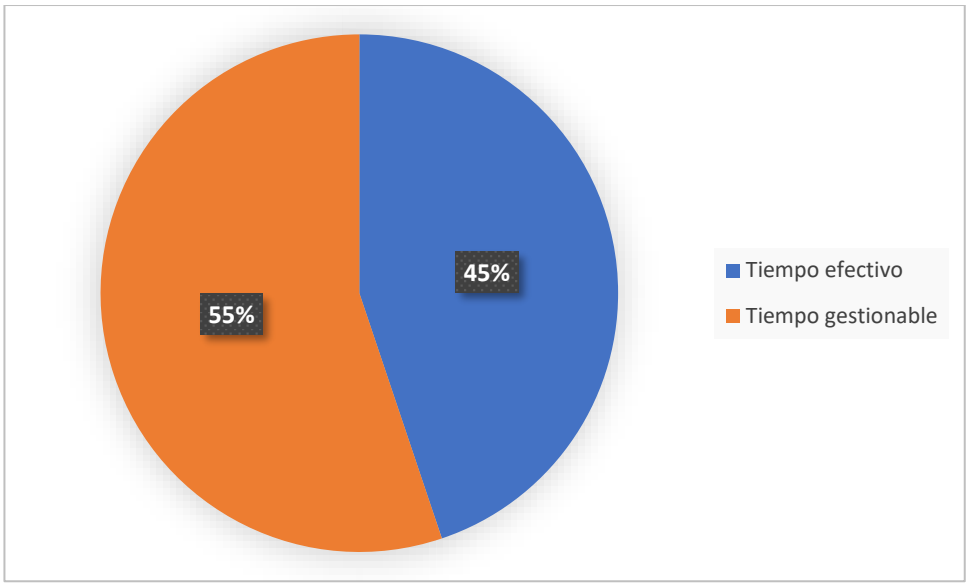
Al clasificar estos tiempos en tiempos gestionables y tiempos efectivos, se obtienen los siguientes valores (Tabla No. 23):

Tabla de tiempos (min) - Roboshot	
Tiempo efectivo	107,6
Tiempo gestionable	125
Tiempo gestionable (fuera de ciclo)	7,9

Tabla No. 23 Tiempo de roboshot (Alternativa 1)

El tiempo de traslado al interior de la mina y la espera del camión admiten una flexibilidad moderada. Su modificación depende de diversos factores, como la disponibilidad de camionetas, la ubicación del equipo Roboshot, el transporte del concreto, entre otros.

La distribución de los tiempos es la siguiente (Grafica No. 13):



Grafica No. 13 Distribución de tiempos de roboshot (Alternativa 1)

Conociendo el ciclo de trabajo completo, el volumen de concreto lanzado y otros parámetros se calculan los KPI respectivos del roboshot, obteniendo los valores mostrados en la Tabla No. 24:

KPI - Roboshot	
Productividad (m3/hr)	2,79
Productividad (m3/turno)	10
Disponibilidad %	82,7%
Utilizacion %	54,2%

Tabla No. 24 KPI de roboshot (Alternativa 1)

Es importante aclarar que la disponibilidad mecánica se calculó basándose en datos de meses anteriores, y podría variar según las condiciones de la operación y las fallas del equipo. Para el caso de los m^3/turno debe ser coincidente con los del camión mezclador ya que estos equipos trabajan de manera conjunta.

4.2.2 Alternativa 2

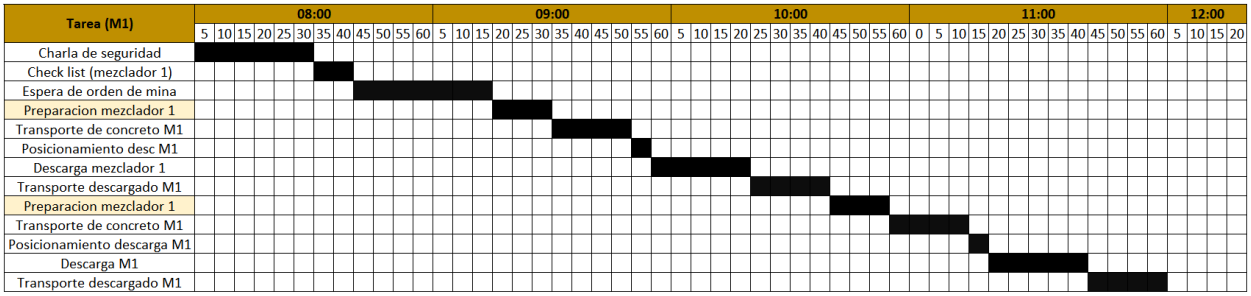
Para la segunda alternativa se utilizan dos camiones mezcladores, un roboshot y la planta mecanizada. Este podría ser un escenario donde un roboshot se encuentre en mantenimiento y solo se cuenta con estos equipos.

Camión mezclador

En este caso se utilizan dos camiones mezcladores. En el tiempo de media jornada se podrán realizar tres viajes con concreto al roboshot. Un camión realiza dos viajes y el otro un solo viaje. Se debe considerar el tiempo de preparación y mezclado explicado anteriormente.

Para evitar la superposición en la preparación de los camiones, se debe establecer que un camión ingrese solo después de que el anterior haya terminado su preparación

El diagrama de Gantt para el “camión mezclador 1” que realiza dos viajes es el siguiente (Grafica No. 14):



Grafica No. 14 Diagrama de Gantt para “camión 1” (Alternativa 2)

Los tiempos acumulados para las tareas que realiza este camión se observan en la Tabla No .25:

Tiempos (min) - Camion	
Check list (Mezclador)	10
Tiempo de mezclado	10
Preparacion en planta y mezclado	20
Tiempo espera de orden	35
Posicionamiento descarga	10
Tiempo viaje cargado	44
Descarga	43,2
Tiempo viaje descargado	44
Total	**216,2**

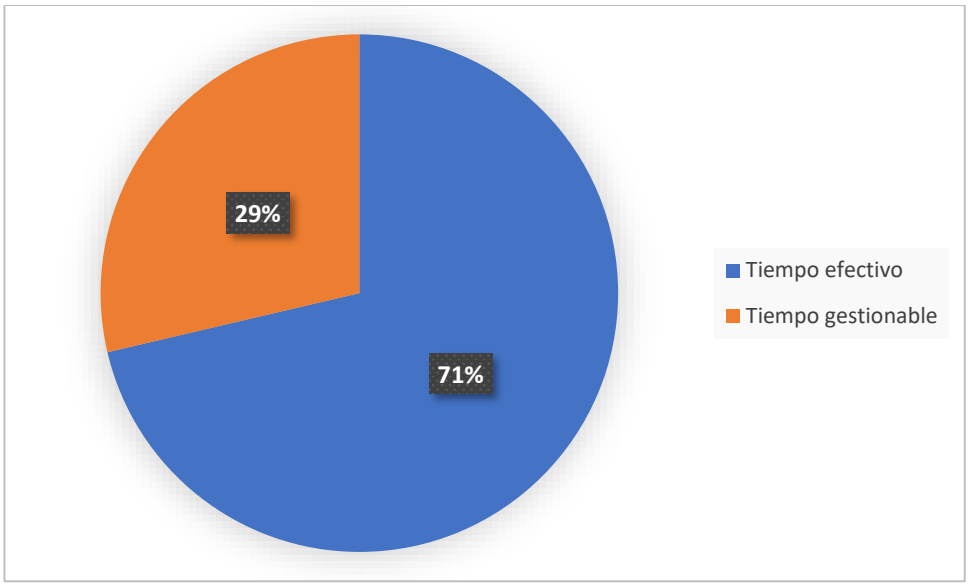
Tabla No. 25 Tiempos de ciclo para “camión 1” (Alternativa 2)

Analizando los tiempos de trabajo se realiza la clasificación de estos en tiempos gestionables y tiempos efectivos, obteniéndose resultados mostrados en la Tabla No. 26:

Tabla de tiempos (min) - Camión	
Tiempo efectivo	171,2
Tiempo gestionable	45
Tiempo gestionable (fuera de ciclo)	23,8

Tabla No. 26 Tiempos de “camión 1” (Alternativa 2)

La distribución de los tiempos es la siguiente (Grafica No. 15):



Grafica No. 15 Distribución de tiempos de “camión 1” (Alternativa 2)

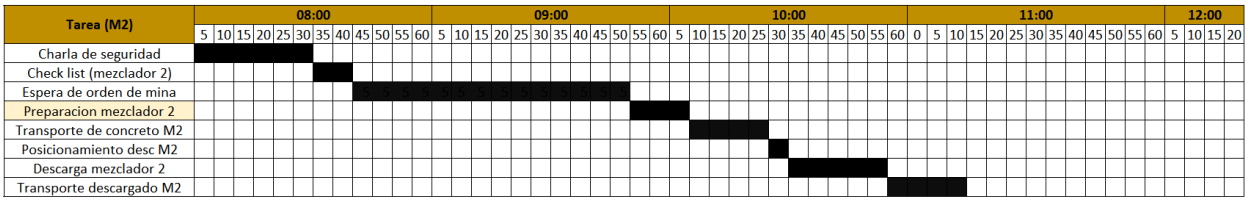
Una vez determinado el ciclo de trabajo, el volumen de concreto transportado y otros parámetros se calculan los KPI respectivos del camión mezclador, obteniendo (Tabla No. 27):

KPI - Camion 1	
Productividad (m3/hr)	1,75
Productividad (m3/turno)	10
Disponibilidad %	82,3%
Utilizacion %	86,7%

Tabla No. 27 KPI de "camión 1" (Alternativa 2)

Se observa una alta utilización, ya que aproximadamente la mitad del tiempo disponible de trabajo corresponde al viaje de ida (con carga) y de vuelta (sin carga) del camión mezclador, mientras que el tiempo restante se destina a maniobras y descarga del concreto.

El diagrama de Gantt para el “camión mezclador 2” que realiza un viaje es el siguiente (Grafica No. 16):



Grafica No. 16 Diagrama de Gantt para “camión 2” (Alternativa 2)

Según las tareas que realiza el camión los tiempos acumulados se observan en la siguiente tabla (Tabla No. 28):

Tiempos (min) - Camion	
Check list (Mezclador)	10
Tiempo de mezclado	5
Preparacion en planta y mezclado	10
Tiempo espera de orden	70
Posicionamiento descarga	5
Tiempo viaje cargado	22
Descarga	20,6
Tiempo viaje descargado	22
Total	**164,6**

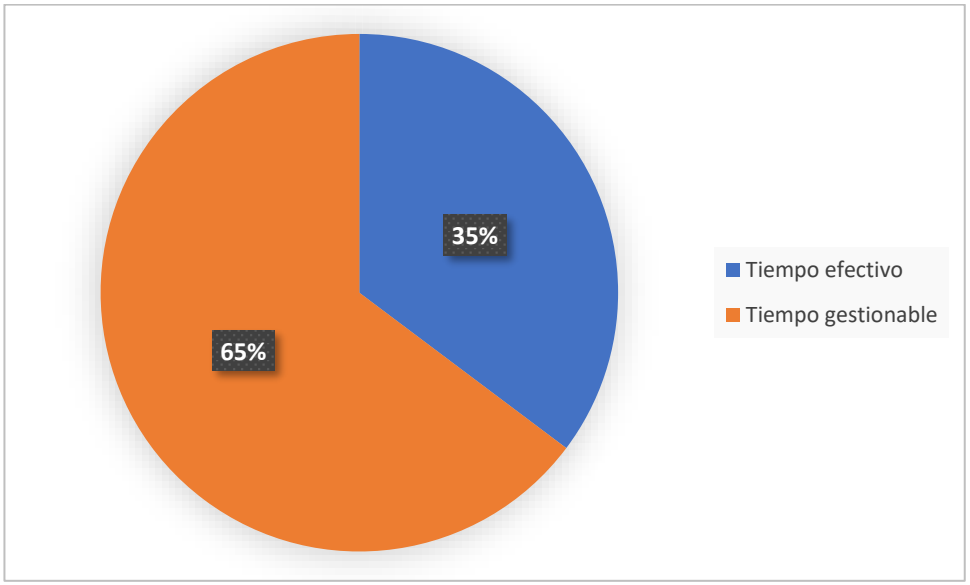
Tabla No. 28 Tiempos de ciclo para "camión 2" (Alternativa 2)

Los tiempos gestionables y tiempos efectivos, se muestran en la siguiente Tabla No. 29:

Tabla de tiempos (min) - Camión	
Tiempo efectivo	84,6
Tiempo gestionable	80
Tiempo gestionable (fuera de ciclo)	75,4

Tabla No. 29 Tiempos de "camión 2" (Alternativa 2)

La distribución de los tiempos es la siguiente (Grafica No. 17):



Grafica No. 17 Distribución de tiempos de "camión 2" (Alternativa 2)

Los KPI respectivos del camión mezclador, se muestran en la Tabla No. 30:

KPI - Camion 2	
Productividad (m3/hr)	1,77
Productividad (m3/turno)	5
Disponibilidad %	82,3%
Utilizacion %	42,8%

Tabla No. 30 KPI de "camión 2" (Alternativa 2)

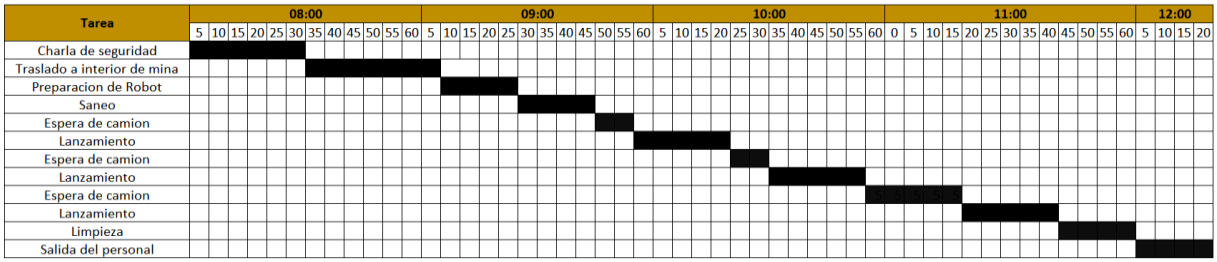
Para este caso observamos una menor utilización ya que en el tiempo disponible se realizan un solo viaje. Para este caso la flota en conjunto transporta 15 m^3/turno.

Roboshot

En este caso el equipo lanzador recibe 15 m^3/turno, es decir, realiza 3 lanzamientos en media jornada.

Existen algunas consideraciones similares al caso anterior, por ejemplo, que al iniciar la preparación del robot se analizan primero las partes más críticas del equipo para dar la orden lo antes posible para la preparación de concreto y con esto reducir el tiempo de espera del camión. Igual recomendación con la limpieza del equipo si el tiempo del lanzado supera los 20 minutos.

El diagrama de Gantt con las tareas que realizará el roboshot es el siguiente (Grafica No. 18):



Grafica No. 18 Diagrama de Gantt para roboshot (Alternativa 2)

El tiempo de traslado a interior de mina también contempla el traslado del equipo al frente de trabajo, en este caso el equipo realiza 3 lanzamientos por media jornada laboral. Según las tareas que realiza el roboshot los tiempos acumulados se observan en la Tabla No. 31:

Tiempos (min) - Roboshot	
Traslado a interior de mina	34,5
Preparacion de Robot	23
Saneo	20
Espera de camion	45
Lanzamiento	60,9
Limpieza	22
Salida del personal	20
Total	**225,4**

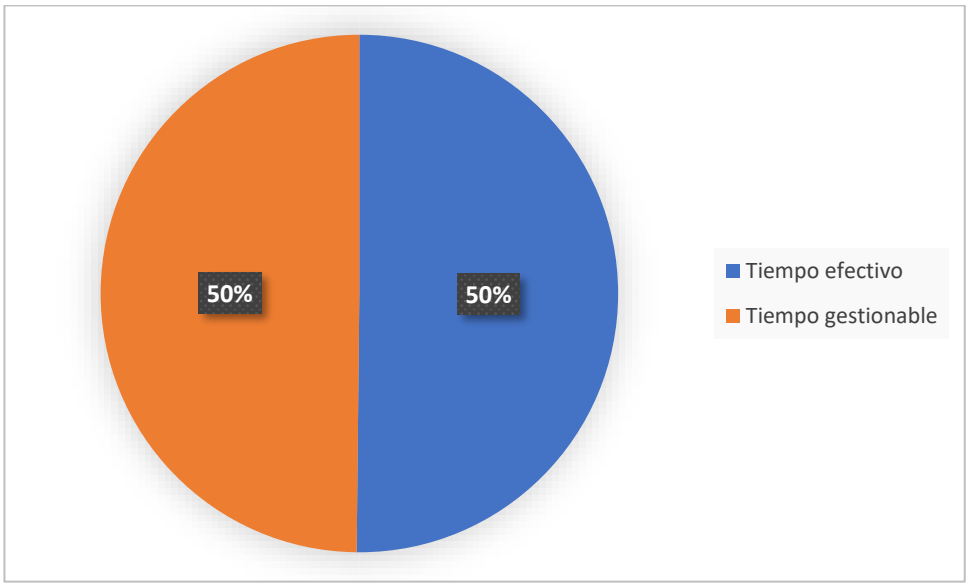
Tabla No. 31 Tiempos de ciclo para roboshot (Alternativa 2)

Los tiempos gestionables y tiempos efectivos obtenidos se muestran en la Tabla No. 32:

Tabla de tiempos (min) - Roboshot	
Tiempo efectivo	120,4
Tiempo gestionable	105
Tiempo gestionable (fuera de ciclo)	14,6

Tabla No. 32 Tiempos de roboshot (Alternativa 2)

La distribución de los tiempos es la siguiente (Grafica No. 19):



Grafica No. 19 Distribución de tiempos de roboshot (Alternativa 2)

Los KPI calculados para el roboshot se muestran en la Tabla No. 33:

KPI - Roboshot	
Productividad (m3/hr)	3,74
Productividad (m3/turno)	15
Disponibilidad %	82,7%
Utilizacion %	60,7%

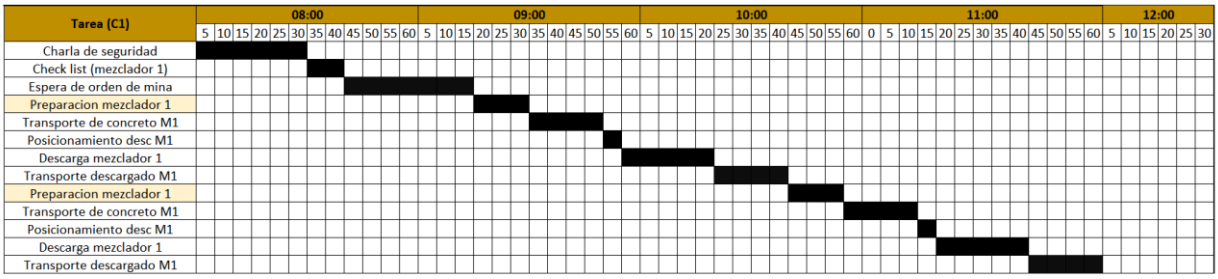
Tabla No. 33 KPI de roboshot (Alternativa 2)

4.2.3 Alternativa 3

Para la tercera alternativa se utilizarán dos camiones mezcladores, dos roboshot y la planta de preparación mecanizada. Este sería uno de los escenarios más favorables, ya que se utilizan todos los equipos disponibles para la aplicación de concreto lanzado. Al igual que en el caso anterior, la coordinación más importante se da en la etapa de preparación, dado que durante media jornada se prepara concreto cuatro veces. Las consideraciones son muy similares a las previamente mencionadas, y los camiones tienen ciclos operativos similares, aunque en distintos frentes de trabajo.

Camión mezclador

En este caso se utilizarán dos camiones mezcladores. Durante la media jornada y dentro del tiempo disponible, es posible realizar cuatro viajes de concreto hacia los roboshot. El diagrama de Gantt para el "camión mezclador 1" que realiza dos viajes es el siguiente (Grafica No. 20):



Grafica No. 20 Diagrama de Gantt para "camión 1" (Alternativa 3)

Según las tareas que realiza el camión los tiempos acumulados se observan en la siguiente tabla (Tabla No. 34):

Tiempos (min) - Camion 1	
Check list (Mezclador)	10
Tiempo de mezclado	10
Preparacion en planta y mezclado	20
Tiempo espera de orden	35
Posicionamiento descarga	10
Tiempo viaje cargado	44
Descarga	41,2
Tiempo viaje descargado	44
Total	**214,2**

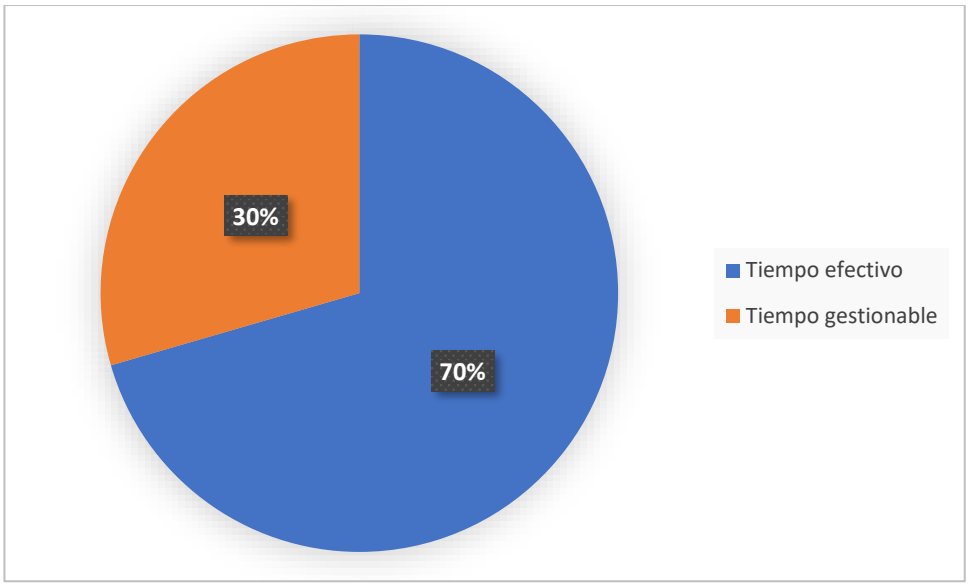
Tabla No. 34 Tiempos de ciclo para "camión 1" (Alternativa 3)

Los tiempos gestionables y tiempos efectivos obtenidos se muestran en la Tabla No. 35:

Tabla de tiempos (min) - Camión 1	
Tiempo efectivo	169,2
Tiempo gestionable	45
Tiempo gestionable (fuera de ciclo)	25,8

Tabla No. 35 Tiempos de "camión 1" (Alternativa 3)

La distribución de los tiempos es la siguiente (Grafica No. 21):



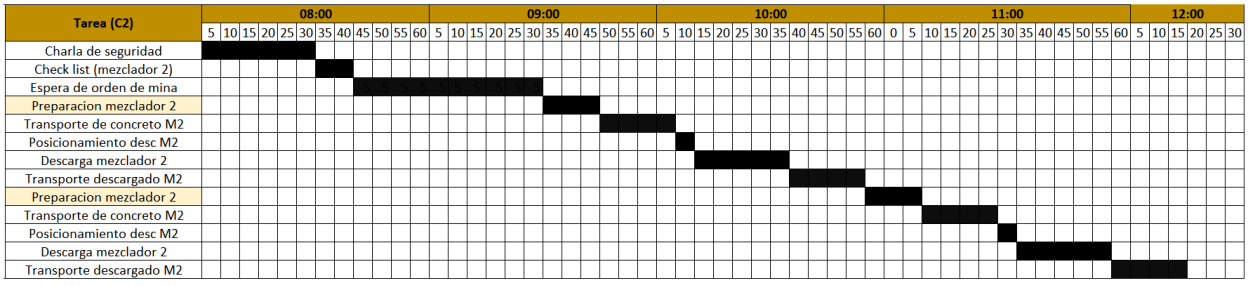
Grafica No. 21 Distribución de tiempos de “camión 1” (Alternativa 3)

Los KPI respectivos del camión mezclador obtenidos son (Tabla No. 36):

KPI - Camion 1	
Productividad (m3/hr)	1,77
Productividad (m3/turno)	10
Disponibilidad %	82,3%
Utilizacion %	85,7%

Tabla No. 36 KPI de "camión 1" (Alternativa 3)

El diagrama de Gantt para el “camión mezclador 2” que realizará dos viajes es el siguiente (Grafica No. 22):



Grafica No. 22 Diagrama de Gantt para “camión 2” (Alternativa 3)

Según las tareas que realiza el camión los tiempos acumulados se observan en la siguiente tabla (Tabla No. 37):

Tiempos (min) - Camion 2	
Check list (Mezclador)	10
Tiempo de mezclado	10
Preparacion en planta y mezclado	20
Tiempo espera de orden	50
Posicionamiento descarga	10
Tiempo viaje cargado	44
Descarga	41,2
Tiempo viaje descargado	44
Total	**229,2**

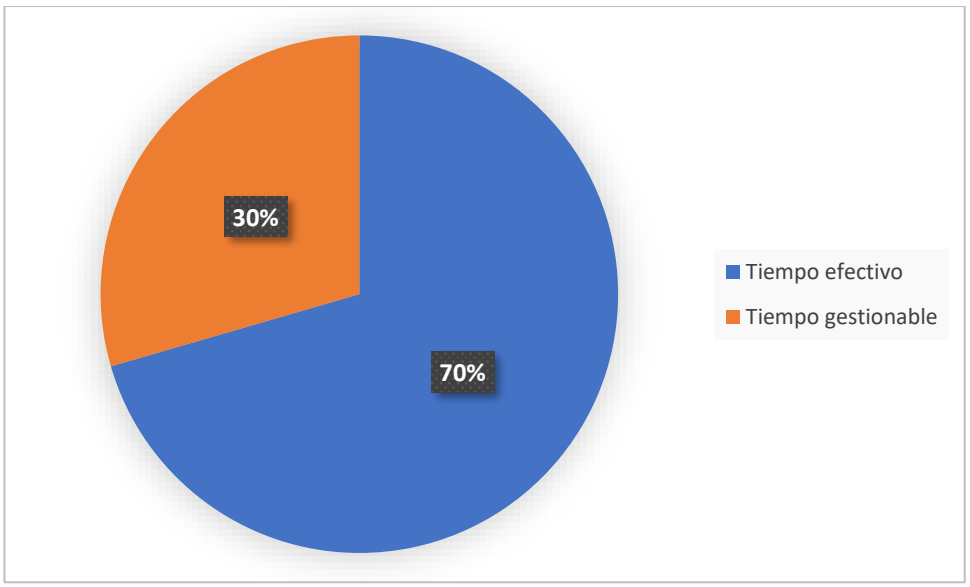
Tabla No. 37 Tiempos de ciclo para "camión 2" (Alternativa 3)

Los tiempos gestionables y tiempos efectivos obtenidos se muestran en la Tabla No. 38:

Tabla de tiempos (min) - Camión 2	
Tiempo efectivo	169,2
Tiempo gestionable	60
Tiempo gestionable (fuera de ciclo)	10,8

Tabla No. 38 Tiempos de "camión 2" (Alternativa 3)

La distribución de los tiempos es la siguiente (Grafica No. 23):



Grafica No. 23 Distribución de tiempos de "camión 2" (Alternativa 3)

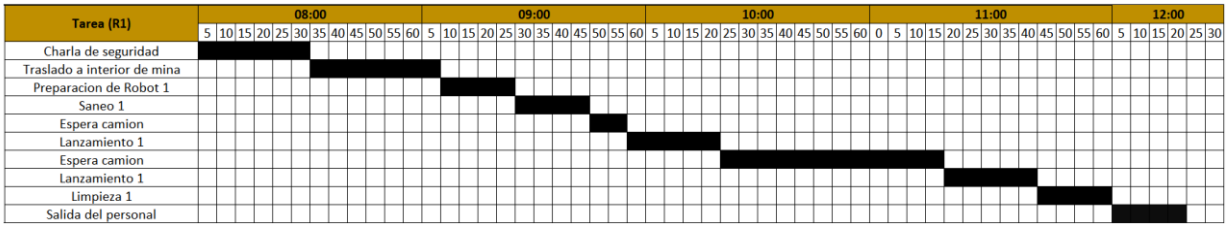
Los KPI respectivos del camión mezclador son (Tabla No. 39):

KPI - Camion 2	
Productividad (m3/hr)	1,77
Productividad (m3/turno)	10
Disponibilidad %	82,3%
Utilizacion %	85,7%

Tabla No. 39 KPI de "camión 2" (Alternativa 3)

Roboshot

En este caso, los equipos lanzadores recibirán 10 m³/turno cada uno, lo que equivale a realizar cuatro lanzamientos por media jornada. Se contemplan las consideraciones establecidas en los casos anteriores. El diagrama de Gantt con las tareas que realizará el “roboshot 1” se muestra en la Grafica No. 24:



Grafica No. 24 Diagrama de Gantt para “roboshot 1” (Alternativa 3)

Según las tareas que realiza el camión los tiempos acumulados se observan en la siguiente tabla (Tabla No. 40):

Tiempos (min) - R1	
Traslado a interior de mina	34,5
Preparacion de Robot	23
Saneo	20
Lanzamiento	40,6
Limpieza	44
Espera de camion	48
Salida	20
Total	**230,1**

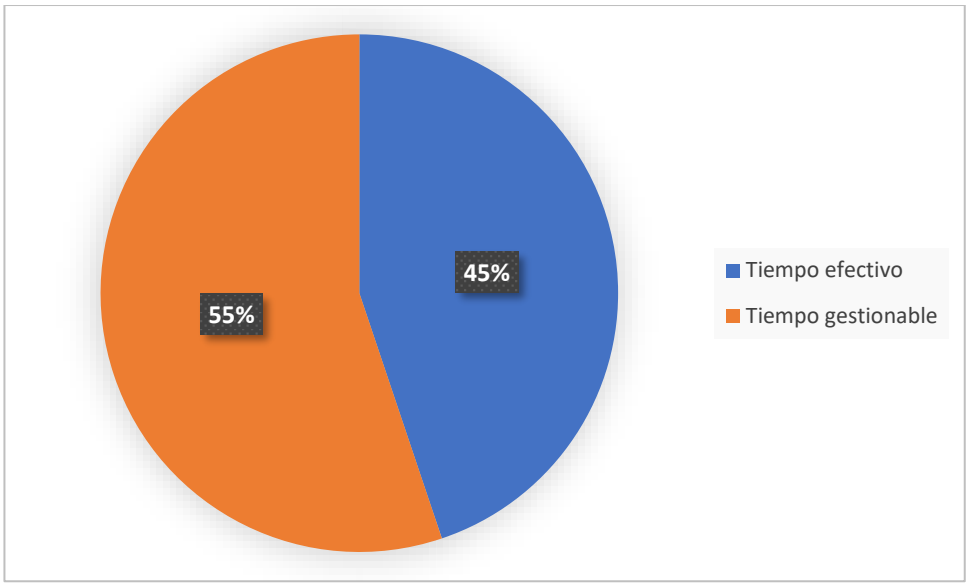
Tabla No. 40 Tiempos de ciclo para “roboshot 1” (Alternativa 3)

Los tiempos gestionables y tiempos efectivos obtenidos se muestran en la Tabla No. 41:

Tabla de tiempos (min) - R1	
Tiempo efectivo	107,6
Tiempo gestionable	123
Tiempo gestionable (fuera de ciclo)	9,9

Tabla No. 41 Tiempos de “roboshot 1” (Alternativa 3)

La distribución de los tiempos es la siguiente (Grafica No. 25):



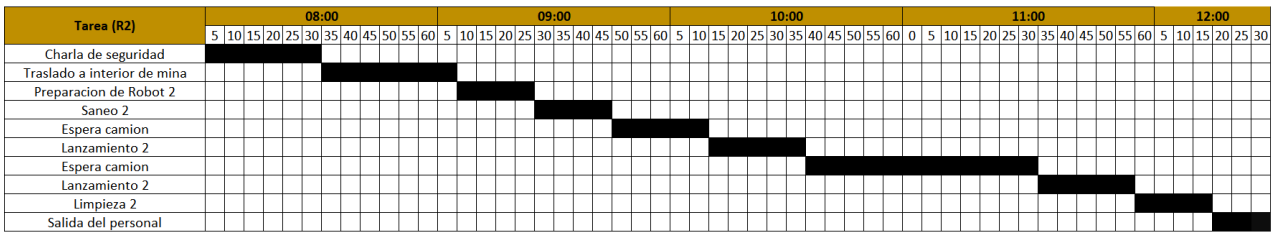
Grafica No. 25 Distribución de tiempos de “roboshot 1” (Alternativa 3)

Los KPI respectivos del “roboshot 1” calculados son (Tabla No. 42):

KPI - R1	
Productividad (m3/hr)	2,79
Productividad (m3/turno)	10
Disponibilidad %	82,7%
Utilizacion %	54,2%

Tabla No. 42 KPI de “roboshot 1” (Alternativa 3)

El diagrama de Gantt con las tareas que realizara el “roboshot 2” es el siguiente (Grafica No. 26):



Grafica No. 26 Diagrama de Gantt para “roboshot 2” (Alternativa 3)

Según las tareas que realiza el camión los tiempos acumulados se observan en la siguiente tabla (Tabla No. 43):

Tiempos (min) - R2	
Traslado a interior de mina	34,5
Preparacion de Robot	23
Saneo	20
Lanzamiento	40,6
Limpieza	44
Espera de camion	63
Salida	15
Total	**240**

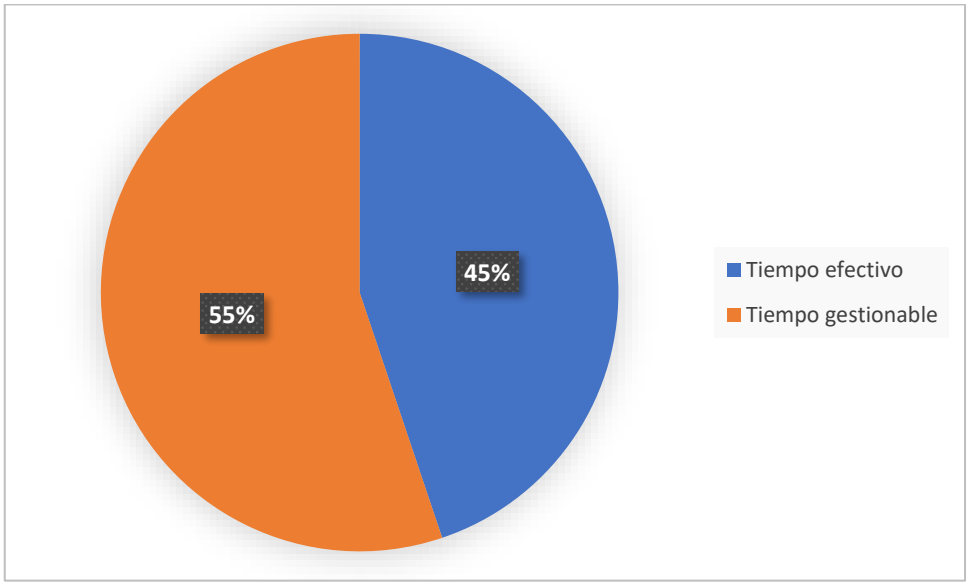
Tabla No. 43 Tiempos de ciclo para "roboshot 2" (Alternativa 3)

Lo tiempos gestionables y tiempos efectivos determinados se muestran en la Tabla No. 44:

Tabla de tiempos (min) - R2	
Tiempo efectivo	107,6
Tiempo gestionable	132,4

Tabla No. 44 Tiempos de "roboshot 2" (Alternativa 3)

La distribución de los tiempos es la siguiente (Grafica No. 27):



Grafica No. 27 Distribución de tiempos de "roboshot 2" (Alternativa 3)

Los KPI respectivos del “roboshot 2” obtenidos son (Tabla No. 45):

KPI - R2	
Productividad (m3/hr)	2,79
Productividad (m3/turno)	10
Disponibilidad %	82,7%
Utilizacion %	54,2%

Tabla No. 45 KPI de “roboshot 2” (Alternativa 3)

CAPITULO 5

DETERMINACIÓN DEL RATIO OPERATIVO Y COSTOS DE SOSTENIMIENTO

El seguimiento de costos implica la identificación, medición e información de los costos asociados a un proyecto u operación. Este seguimiento permite ayudar a identificar áreas donde se podrían reducir costos y maximizar la operación. Además, controlar los gastos de forma regular permite identificar cualquier cambio en la situación financiera que requiera atención.

El cálculo del ratio operativo (m^3/m) en la aplicación de concreto lanzado permite estimar la cantidad de concreto necesaria por metro de avance. Con esta información, se pueden conocer los insumos requeridos para la preparación del concreto, definir los ciclos de trabajo y, por consiguiente, estimar los costos asociados.

5. 1 Determinación del ratio operativo de concreto lanzado

La determinación de un ratio operativo para la aplicación de concreto lanzado permite tener una estimación de la cantidad de concreto necesaria por metro de avance, teniendo en cuenta los parámetros de la operación. Con este ratio se puede planificar el sostenimiento para labores futuras.

El ratio operativo evaluado en secciones de 3.8 m x 3.8 m (típicamente en labores basales y realces), está influenciado por parámetros como el rebote, la sobre excavación, la calidad de la roca (condición superficial) y el transporte, entre otros.

El sistema operativo del equipo lanzador de concreto cuenta con un dispositivo de medición en la bomba, el que indica tanto el volumen de concreto lanzado (m^3) como la cantidad de aditivo utilizado.

Las mediciones de campo se llevaron a cabo en sectores con las condiciones previamente descritas. Sin embargo, una limitación clave fue la realización de estas mediciones sobre concreto fresco, lo cual podría haber generado un pequeño error debido a la exposición. Se midieron el espesor aplicado, el avance y el volumen de concreto utilizado.

La medición del volumen se realizó directamente desde la pantalla del equipo (Imagen No. 23). Antes de iniciar el lanzado, se resetea el contador de volumen, y al finalizar la descarga del camión mezclador, se registró la lectura correspondiente

Imagen No. 23 Display Roboshot (consumos)

Para la medición de espesores se utilizaron calibres de 5 cm, mientras que para medir el avance se empleó un distanciómetro. Los calibres permiten verificar si el espesor aplicado corresponde al especificado por el área de Geomecánica para el avance (Imagen No. 24).

Imagen No. 24 Calibre de 5 cm

Con las medidas del avance, espesor y volumen lanzado se procede a realizar los cálculos preliminares de un ratio, los que se muestran en la Tabla No. 46:

Seguimiento espesor 5 cm			
Nº	**Volumen lanzado (m3)**	**Avance**	**Ratio (m3/m)**
1	2,04	3,1	0,66
2	2,1	3	0,70
3	3,3	4	0,83
4	4,6	6,2	0,74
5	3,7	6	0,62
Promedio			**0,71**

Tabla No. 46 Medición en campo de parámetros

Creación de planilla de cálculo

El objetivo es diseñar una hoja de cálculo que permita obtener la cantidad de componentes y el volumen de concreto necesario para el sostenimiento de labores, a partir del ingreso de parámetros operativos de fácil obtención.

Los parámetros para la creación de la planilla se clasifican en dos categorías: parámetros geométricos y parámetros operativos. A partir de esta información, se calcula la cantidad de componentes necesarios para la preparación, lo cual permite determinar el volumen de concreto a preparar.

El primer parámetro a considerar es la dimensión de la labor, que permite calcular el perímetro, el cual está directamente relacionado con la cantidad de concreto a aplicar: a mayor perímetro, mayor será el volumen requerido. Se debe considerar además el avance, es decir, los metros lineales de labor en los que se aplican concreto, así como el espesor de aplicación, que será solicitado por el área de geomecánica. Para basales tenemos los siguientes valores (Tabla No. 47):

Valores a completar para preparacion		
Parametros		
Dimensiones (m)	Alto	3,8
	Ancho	3,8
	Radio	1,5
Perimetro (m)		10,1
Avance (m)		1
Espesor (m)		0,05

Tabla No. 47 Parámetros geométricos

El avance depende de la cantidad de metros lineales que requieran la aplicación de concreto lanzado, mientras que el espesor se define según los estándares de sostenimiento, siendo de 5 cm o 10 cm.

Los parámetros operativo**s** considerados son los siguientes:

- Sobre excavación: este valor lo mide el área de Topografía y se expresa en porcentaje (%). Su magnitud dependerá de varios factores, como la calidad de la roca, la forma en que se ejecutará la perforación y voladura, factor de carga, entre otros.

- Rebote: es un parámetro complejo de medir y cuantificar, ya que depende de múltiples factores, como la experiencia del operador del roboshot, los parámetros de configuración del equipo, las condiciones superficiales de la roca, la calidad en la preparación del concreto, la dosificación del aditivo acelerante, entre otros. Para simplificar su estimación, se considera un rebote del 10% para roca clase D y un 15 % para roca clase E. Esta simplificación considera la diferencia entre el tipo de roca, cohesión, rugosidad, línea de base teórica, geología, entre otros.

- La cuba y transporte es un porcentaje de concreto que se pierde en el transporte y en la descarga del mismo, desde el equipo mezclador al equipo lanzador. Se considera como un parámetro para este cálculo.

- La compactación y fraguado. Este aspecto está relacionado con la pérdida de volumen que se produce al proyectar el concreto y durante su fraguado. Se considera como un parámetro fijo.

La siguiente tabla muestra la disposición de estos parámetros operativos en la planilla de cálculo. Estos son los parámetros que se deben introducir para que la misma devuelva el volumen a preparar para satisfacer las necesidades en función del avance y espesor (Tabla No. 48).

Sobreexcavacion	12%
Rebote	10%
Cuba y transporte	2%
Compactacion y fraguado	10%
Volumen a preparar (m3)	0,68

Tabla No. 48 Parámetros operativos

Inicialmente se cargan los datos geométricos de la labor, lo cual permite obtener un volumen teórico, calculado como el perímetro × espesor × avance (p*e*a=v). Posteriormente, se ingresan los datos operativos, que permiten ajustar el volumen teórico y así obtener el volumen real a preparar.

Algo importante para calcular los costos y la cantidad de ciclos de trabajo, es saber cuántos viajes deberá realizar el camión mezclador y cuantas aplicaciones de concreto deberá realizar el roboshot. De forma manual se ingresan la cantidad de mezcladores en la planilla, considerando la limitante del volumen óptimo a transportar por el camión mezclador en pendiente (2 a 2,5 m^3).

La planilla calcula la cantidad de componentes necesarios para la preparación de concreto (Tabla No. 49). Otro parámetro importante a tener en cuenta en la aplicación es el porcentaje de acelerante. Este se recomienda que este en un rango entre 6% a 8% (configurado desde el roboshot).

Valores para preparacion de concreto				
Formula Teórica	**YMAD**			
Agregado	1700	Kg	1151,8	Kg
Cemento	400	Kg	271,0	Kg
Agua	200	Kg	135,5	Kg
Fibra Polipropileno	6	Kg	4,1	Kg
Superplastificante (Sikament S Plus)	4,6	Kg	3,1	Kg
Estabilizador de mezcla (Sikatar 930)	4,5	Kg	3,0	Kg
Acelerante (Sigunita L 500)	20	Kg	13,6	Kg
Cantidad a preparar	1	m3	0,68	m3

Tabla No. 49 Parámetros de componentes de concreto

El ratio calculado arrojó un valor de 0.68 m³/m. La siguiente tabla presenta la comparación entre este cálculo empírico y las mediciones realizadas en campo. (Tabla No. 50):

Nº	Medicion	Error absoluto (m3/m)	Error Relativo
1	0,66	0,02	2,9%
2	0,70	0,02	3,4%
3	0,83	0,15	21,8%
4	0,74	0,06	9,5%
5	0,62	0,06	9,1%
Promedio	0,71	**0,06**	**9,3%**

Tabla No. 50 Desvió de mediciones

5.2 Costos de sostenimiento

Para la determinación de costos, se tiene en cuenta los costos directos asignados a la operación de sostenimiento como el costo de equipos, costo de elementos de sostenimiento (pernos, mallas, placas de apoyo), costos de aceros de perforación, costos de mano de obra y costos de componentes del concreto. En cuanto a los costos de los equipos, una consideración importante es que se utilizará el método de depreciación lineal. Para determinar los costos vinculados al sostenimiento, en primer lugar, se analizan los costos relacionados a los equipos de sostenimiento. Este es un costo en común que tienen todos los estándares de sostenimiento.

Los costos a considerar para los equipos que se expresaran en USD/hr son:

- Costo de amortización (CA): es el valor que se le asigna a la pérdida de valor de un activo a lo largo del tiempo debido a su uso, desgaste o envejecimiento.

$$CA\left(\frac{USD}{hr}\right) = \frac{Precio\ de\ adquisicion\ (USD)}{Vida\ util\ (hr)}$$

- Costo de mantenimiento (CM): es el gasto asociado a conservar un activo, equipo, instalación o sistema en buen estado de funcionamiento a lo largo del tiempo. Para simplificar los cálculos se expresan en un porcentaje del costo de depreciación recomendado por el fabricante.

- Costo de repuestos y reparación (CRR): es el gasto que se incurre para comprar piezas o componentes nuevos (repuestos) y realizar reparaciones cuando un equipo sufre un daño, falla o desgaste. También se expresan en un porcentaje del costo de depreciación recomendado por el fabricante.

- Costo energético (CE): es el gasto asociado al consumo de energía que ese equipo necesita para funcionar durante un período de tiempo determinado. Este costo dependerá de la potencia del equipo (kw) y del consumo de combustible promedio (lt/hr).

- Costos de lubricantes/grasas/filtros (Cl): es el gasto relacionado con la compra y uso de insumos que se necesitan para proteger, conservar y asegurar el buen funcionamiento de equipos y maquinarias. También se expresan en un porcentaje del costo de depreciación recomendado por el fabricante.

- Tiempo de operación (top): es la cantidad de tiempo durante el cual un equipo, máquina está en funcionamiento efectivo, realizando el avance planificado.

A partir del cálculo de los costos previamente mencionados, así como de la determinación del tiempo de operación necesario para lograr un determinado avance y considerando las especificaciones y características de cada equipo involucrado, es posible calcular los costos por metro de avance (USD/m) mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Costo\ por\ metro\ de\ avance\ \left(\frac{USD}{hr}\right) = \sum Costos\ \left(\frac{USD}{hr}\right) * \frac{top\ (hr)}{Metros\ de\ avance\ (m)}$$

Los equipos que se utilizan en la operación de sostenimiento son:

- Jumbo Epiroc Boltec.
- Roboshot – Putzmeister SPM 4210.
- Camión mezclador – Huron 4.
- Planta dosificadora (Tecnus TM30).

5.2.1 Equipo para colocación de pernos y mallas

Para la instalación de los pernos y mallas se tendrán las siguientes consideraciones operativas:

- Perforaciones efectivas 2,4 m.
- Avance de 6,8 m, que es la longitud de dos mallas traslapadas. Este valor es necesario para fraccionar el avance y obtener el costo por metro de avance.
- Tiempo de colocación de un perno. Incluye perforación, introducción de perno y el inflado. El tiempo promedio es de 5 min.
- Cantidad de pernos es función de los parámetros; análisis geomecánico, rugosidad del contorno de la labor, entre otros, siendo el mínimo 18 pernos en 6,8 m. Esto tiene influencia en los costos totales de sostenimiento.

Con las consideraciones mencionadas se determinan los siguientes costos para el equipo empernador por metro de avance (Tabla No. 51):

Jumbo Epiroc Boltec	
Precio de adquisición (USD)	610000
Vida útil (hr)	26000
CA (USD/hr)	**23,5**
Horas de trabajo al año	2920
N (número de años de vida)	9
CM (USD/hr) - 8%	**1,2**
CRR (USD/hr) - 10%	**2,3**
Potencia kw	55
Consumo (lt/hr)	25
CE (USD/hr)	**4,79**
Cl (USD/hr) - 2,5 %	**0,59**
top (hr)	**0,22**
Costo Total (USD/m)	**7,1**

Tabla No. 51 Costos de equipo empernador

Como los costos del equipo son directamente proporcionales a la cantidad de pernos, podemos calcular los costos a medida que incrementan los pernos, obteniendo los siguientes valores (Tabla No. 52):

Cant. Pernos	**(USD/m)**
24	9,52
30	11,89
36	14,27

Tabla No. 52 Costo de equipo en función de los pernos

Es importante aclarar que la cantidad de pernos indicada en la Tabla No. 45 corresponde a un avance de 6.8 m. Por ejemplo, 36 pernos equivaldrían a una distribución de 6 pernos por metro, manteniendo el patrón romboidal previamente mencionado.

5.2.2 Equipos para aplicación de concreto lanzado

Para la aplicación de shotcrete se tienen las siguientes consideraciones operativas en los equipos utilizados:

- Roboshot: El tiempo de ciclo para realizar dos lanzamientos es de 1,6 hora. En este ciclo se logra aplicar en 6 m de avance de una labor de 3,8 m x 3,8 m con un espesor de 5 cm. El consumo de energía está distribuido entre la energía eléctrica y el motor diésel, siendo mayoritario el consumo eléctrico (Tabla No. 53).

Putzmeister SPM 4210	
Precio de adquisición (USD)	250000
Vida útil (hr)	22000
CA (USD/hr)	**11,4**
Horas de trabajo al año	2920
N (número de años de vida)	7,5
CM (USD/hr) - 5%	**0,57**
CRR (USD/hr) - 7%	**0,80**
Potencia (kw)	80
Consumo (lt/hr)	25
CE (USD/hr)	**6,79**
CI (USD/hr) - 6%	**0,68**
top (hr)	**1,6**
Costo Total (USD/m)	**5,3**

Tabla No. 53 Costos de roboshot

Camión mezclador: El tiempo de ejecución tiene en cuenta el tiempo de viaje de ida y vuelta, tiempo de posicionamiento, tiempo de preparación y descarga de concreto (Tabla No. 54). El camión mezclador debe realizar 2 viajes para completar 6 m de avance con el espesor requerido (Anexo V - Diseño de concreto).

Huron 4	
Precio de adquisición (USD)	120000
Vida útil (hr)	19000
CA (USD/hr)	**6,3**
Horas de trabajo al año	2920
N (número de años de vida)	6,5
CM (USD/hr) - 10%	**0,6**
Potencia HP	193
Consumo promedio (lt/hr)	15
CE (USD/hr)	**10,0**
CI (USD/hr) - 1,5%	**0,1**
top (hr)	**3**
Costo Total (USD/m)	**8,5**

Tabla No. 54 Costos de camión mezclador

Planta mecanizada (Tecnus TM 30): El tiempo que se tiene en cuenta para este equipo está relacionado con la carga de las balanzas de arena, cemento y agua. También tiene en cuenta el tiempo de preparación, es decir, cuando se colocan los componentes en el mezclador. El equipo debe realizar 2 ciclos para 6 m de avance, que es la preparación para el camión mezclador (Tabla No. 55).

Tecnus TM30	
Precio de adquisición (USD)	121000
Vida útil (hr)	29000
CA (USD/hr)	**4,2**
Horas de trabajo al año	2920
N (número de años de vida)	9,9
CM (USD/hr) - 20%	**0,8**
Potencia kW	50
CE (USD/hr)	**3,2**
top (hr)	**0,7**
Costo Total (USD/m)	**1,84**

Tabla No. 55 Costos de planta

El diseño de la mezcla empleado para los cálculos se encuentra detallados en el Anexo V. Los costos se detallan en el Anexo VI.

5.2.3 Costos de sostenimiento

El desarrollo de los costos a detalle se encuentra en el anexo VI. Los costos directos vinculados a cada estándar de sostenimiento, se encuentran expresados en USD/m, en cada ítem se expresan algunas cuestiones operativas que se tuvieron en cuenta y el detalle de la cantidad de unidades se encuentran en el Anexo VI.

5.2.3.1 Sostenimiento tipo "Shfp 5cm + Malla con XbP 2.10 m"

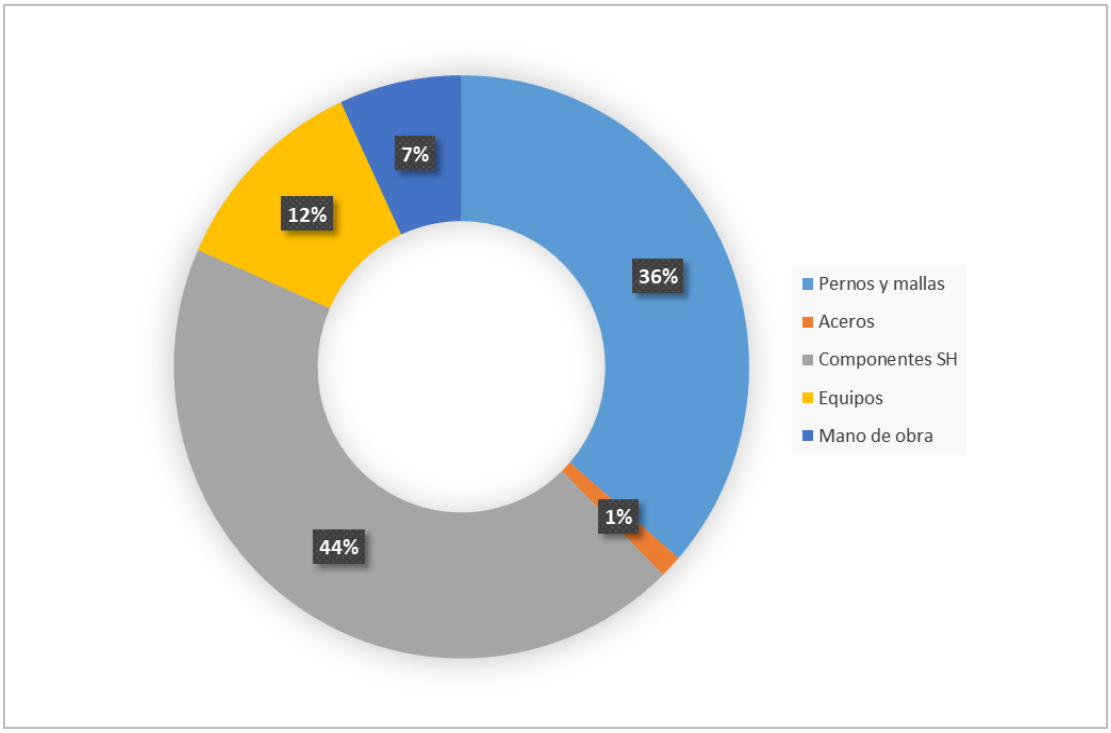
El estándar de este tipo de sostenimiento recomienda una distribución romboidal de 1,3 m x 1,3 m. En la operación cotidiana por lo general se colocan 30 pernos en un avance de 6,8 m. Puede deberse a la presencia de algún bloque, mejor traslape entre mallas, rugosidad de la labor, entre otros.

En la siguiente tabla se resumen de todos los costos directos vinculado a la aplicación de este estándar de sostenimiento (Tabla No. 56):

Pernos y mallas	87,0
Aceros	3,00
Componentes SH	105
Equipos	27,6
Mano de obra	16,44
Total (USD/m)	**238,9**

Tabla No. 56 Costos de " SOSTENIMIENTO (SH 5 cm + Malla con XbP)"

Los costos están distribuidos de la siguiente manera (Grafica No. 28):



Grafica No. 28 Distribución de costos "SOSTENIMIENTO (SH 5 cm + Malla con XbP)"

Los costos más representativos están distribuidos entre los componentes del concreto, pernos y mallas que suman el 80 % del total del costo de sostenimiento.

5.2.3.2 Sostenimiento tipo "Shfp 5cm + Malla con XbP 2.1m + Shfp 5 cm".

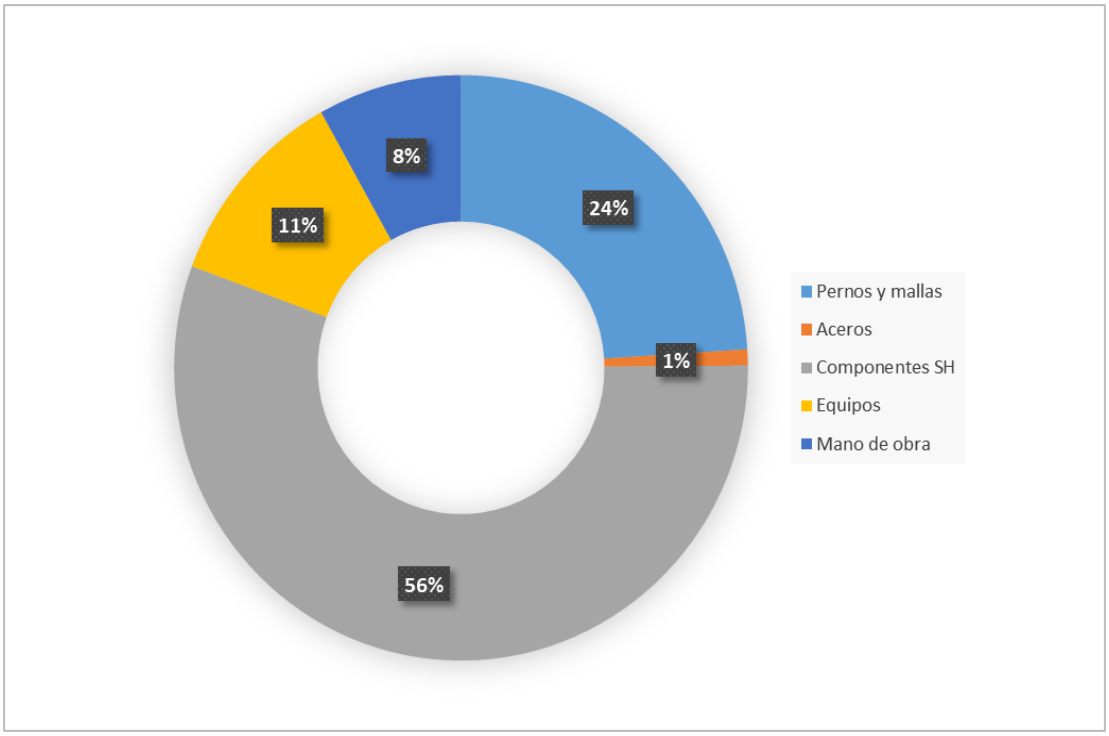
El estándar de este tipo de sostenimiento (Trietápico) recomienda una distribución romboidal de 1,3 m x 1,3 m. En la operación cotidiana por lo general se colocan 36 pernos en un avance de 6,8 m. Principalmente esta cantidad de pernos se debe a que se necesita que las mallas estén en completo contacto con la labor para disminuir la vibración al colocar la próxima capa de concreto lanzado o también por presencia de algún bloque, mejor traslape entre mallas, rugosidad de la labor, entre otros.

En la siguiente tabla se resumen de todos los costos directos vinculado a la aplicación de este estándar de sostenimiento (Tabla No. 57):

Pernos y mallas	97,4
Aceros	3,59
Componentes SH	226,31
Equipos	45,66
Mano de obra	32,89
Total (USD/m)	**405,8**

Tabla No. 57 Costos de "SOSTENIMIENTO (SH 10 cm + pernos + mallas)"

Los costos están distribuidos de la siguiente manera (Grafica No. 29):



Grafica No. 29 Distribución de costos "SOSTENIMIENTO (SH 10 cm + pernos + mallas)"

Los costos más representativos están distribuidos entre los componentes del concreto, pernos y mallas que suman el 77 % del total del costo de sostenimiento.

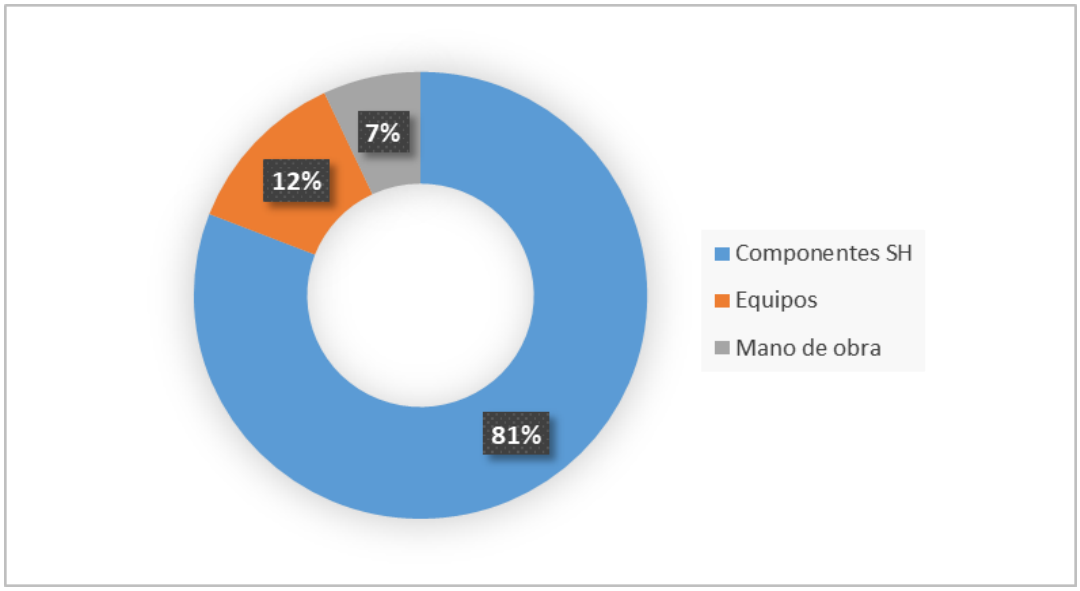
5.2.3.3 Sostenimiento tipo "Shotcrete de sacrificio de 5 cm".

La utilización de este tipo de sostenimiento generalmente es en labores de poca vida útil, principalmente basales, que tendrán una duración menor a un mes y se aplica el concreto lanzado como medida de seguridad (Tabla No. 58). El diseño de mezcla se encuentra en el anexo V.

SOSTENIMIENTO SH 5 cm	
Componentes SH	104,9
Equipos	15,7
Mano de obra	9,0
Total (USD/m)	**129,7**

Tabla No. 58 Costos de SH de sacrificio (5 cm)

Los costos están distribuidos de la siguiente manera (Grafica No. 30):



Grafica No. 30 Distribución de costos "SOSTENIMIENTO SH 5 cm"

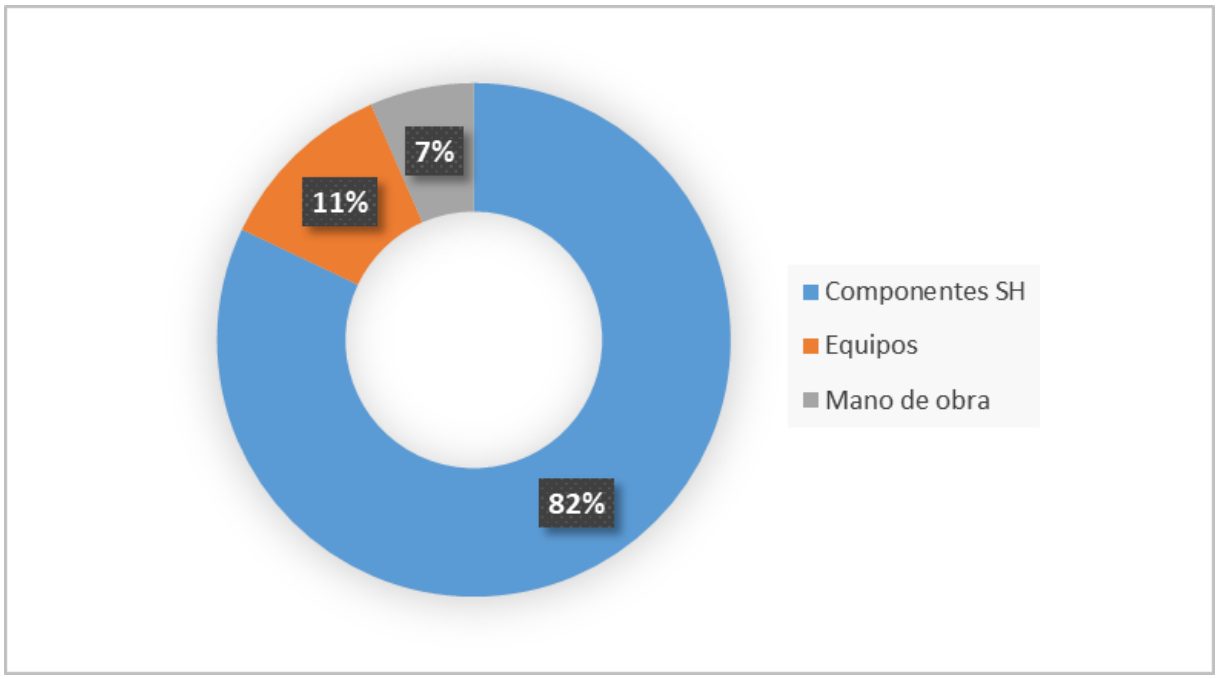
5.2.3.4 Sostenimiento tipo "Shotcrete de sacrificio 10 cm".

La utilización de este tipo de sostenimiento generalmente es en labores de poca vida útil, principalmente basales que tendrán una duración menor a un mes y se aplica el concreto lanzado como medida de seguridad (Tabla No. 59). El diseño de la mezcla se encuentra en el anexo V.

SOSTENIMIENTO 10 cm	
Componentes SH	226,3
Equipos	31,4
Mano de obra	18,1
Total (USD/m)	**275,8**

Tabla No. 59 Costos de SH de sacrificio (10 cm)

Los costos están distribuidos de la siguiente manera (Grafica No. 31):



Grafica No. 31 Distribución de costos "SOSTENIMIENTO 10 cm"

CAPITULO 6

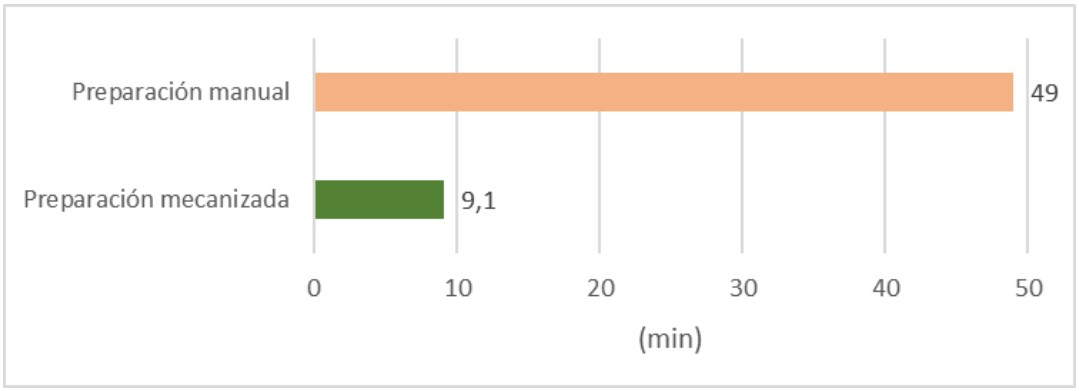
ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de los ciclos de trabajo en la preparación manual evidenció demoras significativas en la preparación, transporte y aplicación del concreto. Estas demoras impactaban negativamente tanto en la duración total de los ciclos de trabajo, como en la continuidad de las labores de sostenimiento, generando tiempos muertos que reducían la productividad general de la mina. La implementación de la mecanización en la preparación, no solo reduce los tiempos gestionables, sino que también optimiza el flujo operativo de manera integral, logrando una mejor coordinación entre los distintos equipos y un aprovechamiento más eficiente de los turnos de trabajo.

6.1 Preparación de concreto

El sistema mecanizado para la preparación de concreto mejora notablemente la eficiencia del ciclo de trabajo, disminuyendo los tiempos de espera de los equipos de transporte y aplicación de concreto. Una ventaja importante es que el mismo operador del camión mezclador se encargará de manejar la planta de preparación.

En la siguiente gráfica, se comparan los tiempos entre la preparación manual y la preparación mecanizada de concreto (Gráfica No. 32):



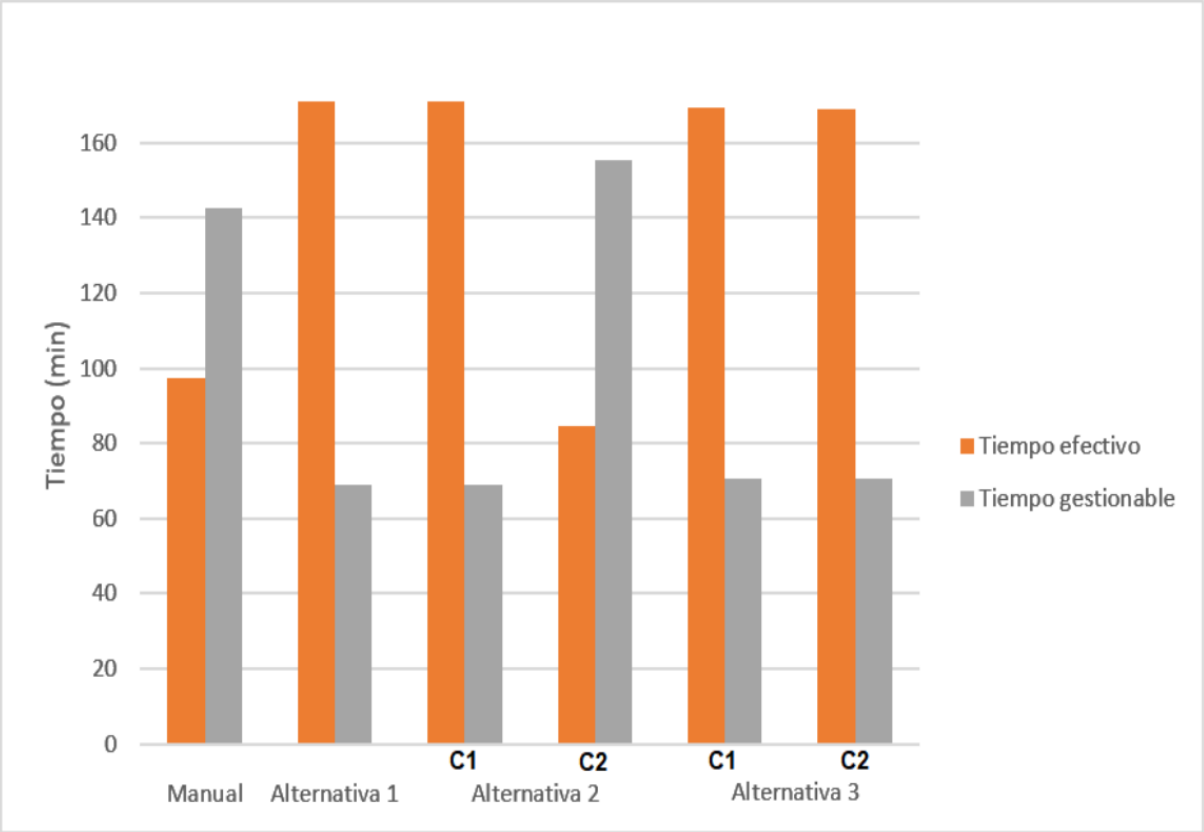
Grafica No. 32 Comparación de tiempos de preparación manual y mecanizada

Se puede observar una notable disminución en el tiempo de preparación por la mecanización del proceso. Esta implementación mejora la productividad del ciclo de minado, especialmente en los equipos vinculados a la aplicación de concreto lanzado. Además, se logra una composición del concreto conocida con exactitud, lo que garantiza una resistencia homogénea, consumos de componentes fijos (permitiendo un mejor control de costos), y un aumento en la seguridad operativa, entre otros beneficios.

Otra ventaja que presenta el sistema mecanizado es la capacidad de producción de concreto (m^3/hora), En el caso de la preparación manual es limitado debido al largo tiempo que lleva la preparación, esto permite el aprovechamiento máximo de los equipos de aplicación de shotcrete.

6.2 Transporte de concreto

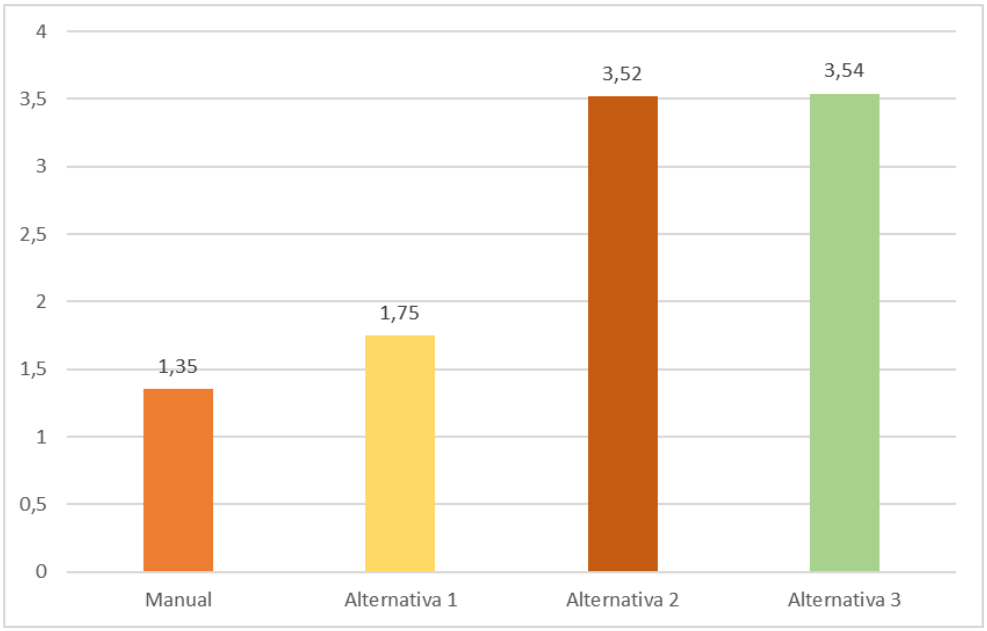
La implementación del sistema mecanizado en la preparación de concreto, aumenta los tiempos efectivos de trabajo dando como resultado mayor rendimiento de los equipos de transporte. En la siguiente gráfica se comparan los tiempos para cada una de las alternativas propuestas (Grafica No. 33):



Grafica No. 33 Comparación de tiempos de camiones

Productividades

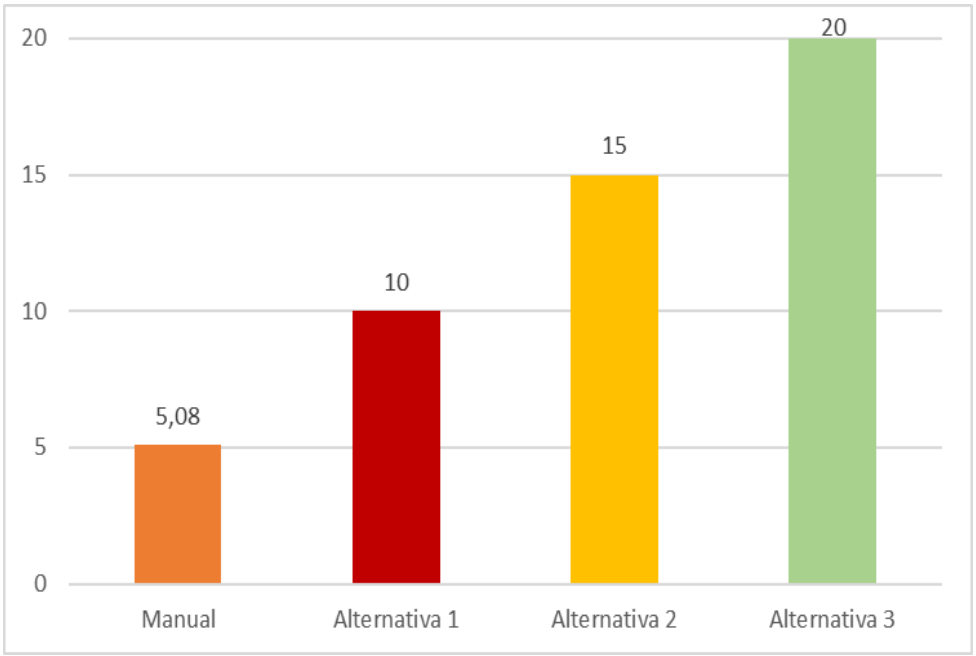
En la siguiente gráfica, se comparan las productividades (m^3/hr) de la preparación manual con las alternativas de ciclo de trabajo para los camiones planteadas (Grafica No. 34):



Grafica No. 34 Productividad de camiones (m^3/hr)

Se observa como la productividad (m^3/hr) aumenta de manera notable en las alternativas 2 y 3. A pesar que las alternativas 2 y 3 son similares, la principal diferencia está en los m^3/turno. Esto se debe a que, en el caso del "camión 2" de la alternativa 2, la disminución en los m^3 transportados es equivalente a la reducción en el tiempo efectivo, lo que resulta en productividades similares.

En la Gráfica No. 35 se comparan las productividades (m^3/turno) de la preparación manual con las alternativas de ciclo de trabajo para los camiones planteadas.



Grafica No. 35 Productividad de camiones (m^3/turno)

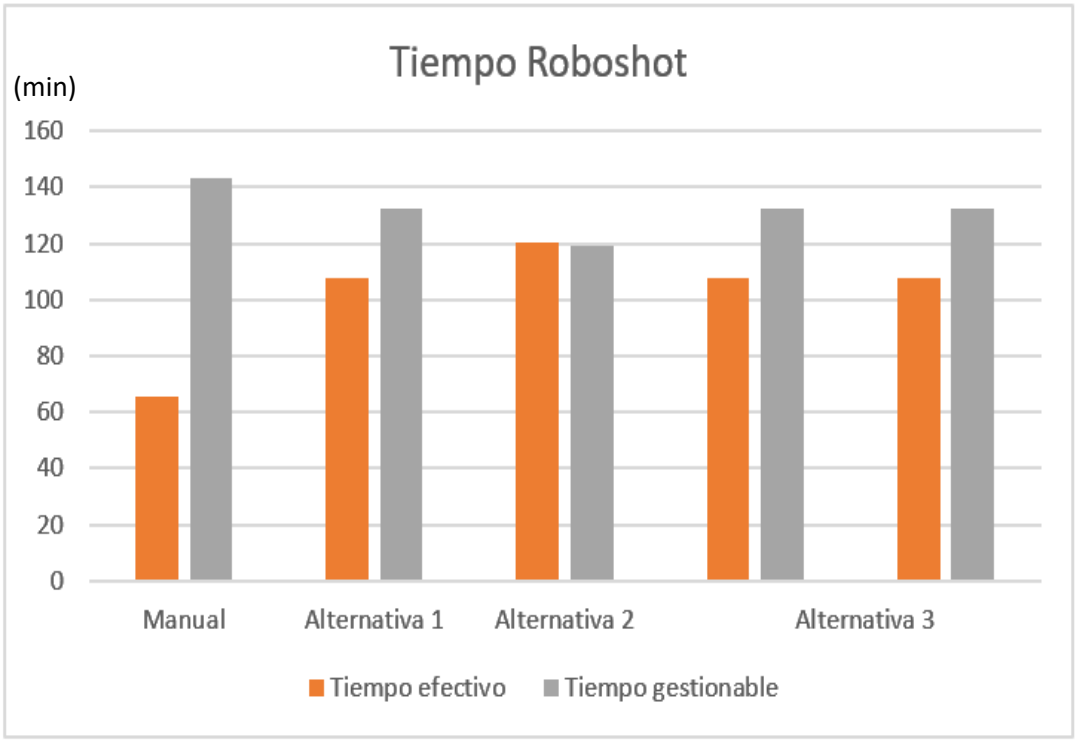
Se observa un claro incremento en las productividades (m^3/turno) por la implementación del sistema mecanizado en la preparación de concreto, aplicando cualquiera de las alternativas propuestas. La alternativa 3 será la más óptima, siempre y cuando las condiciones de la operación permitan su uso, es decir, tener operativa la flota completa de shotcrete.

6.3 Aplicación de concreto

La implementación del sistema mecanizado en la preparación de concreto, aumenta los tiempos efectivos de trabajo dando como resultado mejor rendimiento de los equipos de aplicación de concreto.

La preparación manual es crítica por distintas cuestiones para el ciclo de trabajo, una restricción es que los operarios que aplican el shotcrete son los encargados de la preparación del concreto. La consecuencia de esta situación es un retraso en la aplicación del concreto, ya que se hace necesario esperar a que, luego de la preparación, el personal se trasladará al interior de mina, realizará la preparación del roboshot y recién entonces se solicitará el concreto. Con la implementación de la mecanización, se reducen los tiempos de preparación, también permite que el encargado de la preparación sea el mismo operador del camión mezclador, lo que reduce significativamente los tiempos de espera.

En la siguiente gráfica, observamos como están distribuidos los tiempos para cada una de las alternativas propuestas (Grafica No. 36):

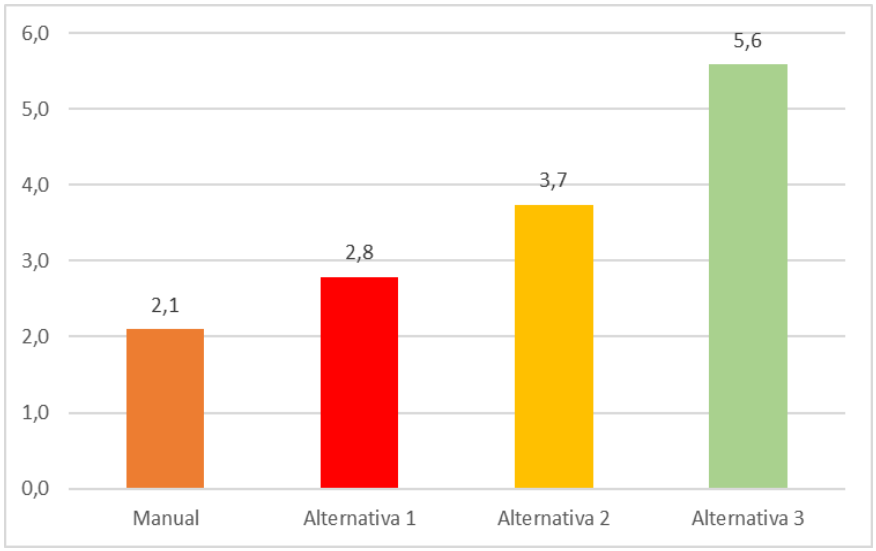


Grafica No. 36 Tiempos de roboshots

Se observa una leve disminución en el tiempo gestionable en comparación con la preparación manual, mientras que el tiempo efectivo aumenta en todas las alternativas. Como resultado, mejora la utilización de los equipos de aplicación de concreto.

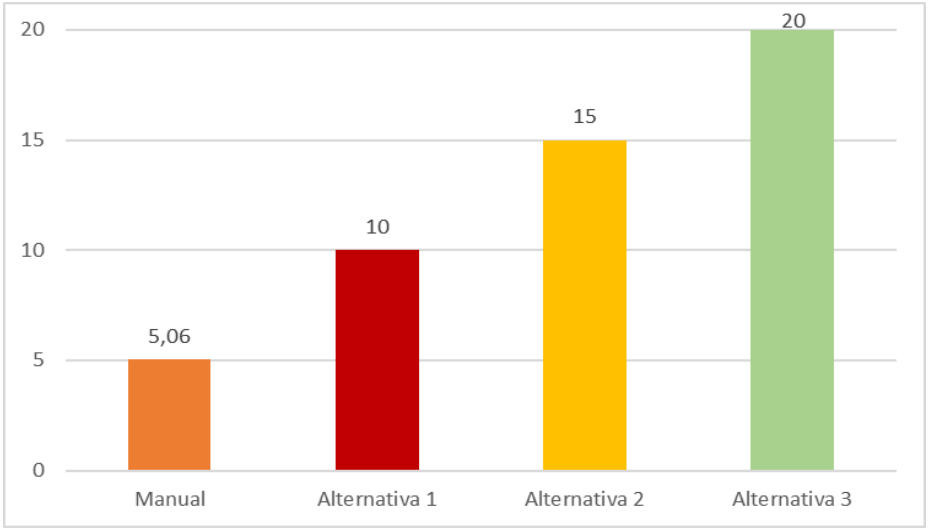
Es importante tener en cuenta que, en este caso, el tiempo de transporte es un factor crítico (debido a la espera del concreto), ya que presenta una flexibilidad limitada. Por esta razón, se refleja este comportamiento en los tiempos gestionables.

En la siguiente gráfica, se comparan las productividades (m^3/hr) de la preparación manual con las alternativas de ciclo de trabajo para los roboshot planteadas (Grafica No. 37):



Grafica No. 37 Productividad de Roboshot (m^3/hr)

En la siguiente gráfica, se comparan las productividades (m^3/turno) de la preparación manual con las alternativas de ciclo de trabajo para los roboshot planteadas (Gráfica No. 38):



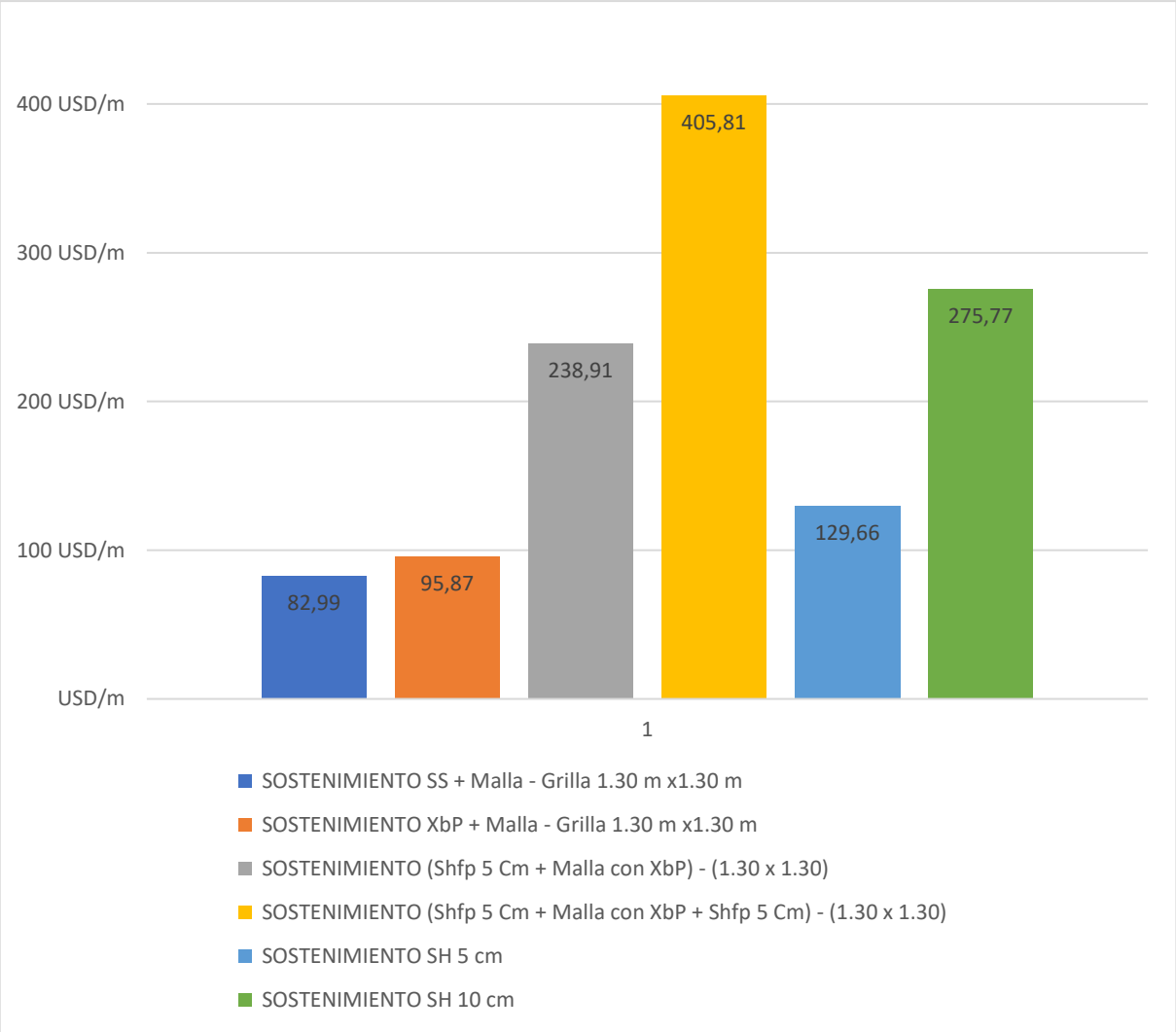
Grafica No. 38 Productividad de Roboshot (m^3/turno)

Las productividades del roboshot mejoran notablemente por la implementación del sistema mecanizado en la preparación, sumado los ciclos de trabajos recomendados para el equipo.

Al igual que con los camiones, la situación óptima es la alternativa 3 donde se observa la mayor productividad por turno. Estos equipos al trabajar en conjunto presentan las mismas productividades por turno.

6.4 Costos de sostenimiento

En la siguiente grafica se observa cómo se encuentran distribuido los costos de sostenimiento para los distintos estándares utilizados en la mina (Grafica No. 39):



Grafica No. 39 Costos totales de sostenimiento

Los costos más elevados se encuentran en los sostenimientos de tipo bietápico y trietápico. Esto se debe principalmente a los componentes que requieren dichos sostenimientos. Una reducción en el tiempo de los ciclos de trabajo mejora los costos vinculados a los equipos, ya que el costo de estos es función del tiempo en el que ejecutan tarea. El cálculo para el sostenimiento de pernos (split set o swellex) y malla se encuentra en el anexo VI.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación del sistema mecanizado para la preparación de concreto ofrece múltiples beneficios, como la mejora significativa en la eficiencia del ciclo de trabajo, la reducción de tiempos de espera, la reducción de tiempos de preparación, mejora en los parámetros operativos globales y un control más preciso de la composición del concreto.

Conclusiones

- En el método de preparación manual se alcanzó una productividad de 5,08 m³ por turno. Para los camiones, el tiempo gestionable representó el 60% del tiempo disponible, mientras que el tiempo efectivo fue del 40%. En el caso del roboshot, el tiempo gestionable alcanzó el 69%, y el tiempo efectivo correspondió al 31%

- Alternativa 1: Al evaluar la productividad, se observa un aumento, pasando de 5,08 m³/turno a 10 m³/turno. Al comparar los tiempos de trabajo, se observa una disminución en los tiempos gestionables y un aumento en los tiempos efectivos. En el camión se logró una mejora del 31% en los tiempos operativos, mientras que en el roboshot una mejora del 26%.

- Alternativa 2: Al analizar la productividad por turno, se observa un aumento, pasando de 5,08 m³/turno a 15 m³/turno. Al comparar los tiempos de trabajo, se observa una disminución en los tiempos gestionables y un aumento en los tiempos efectivos. En los camiones se logró una mejora promedio del 30% en los tiempos operativos, mientras que en el roboshot una mejora del 19%.

- Alternativa 3: Esta situación refleja las condiciones más óptimas de operación, ya que se utiliza toda la flota de equipos disponible. Bajo estas condiciones, se alcanzan las máximas productividades, logrando una aplicación de 20 m³/turno. Al comparar los tiempos de trabajo, se observa una disminución en los tiempos gestionables y un aumento en los tiempos efectivos. En el camión se logró una mejora del 30% en los tiempos operativos, mientras que en los roboshot una mejora del 24%.

- La implementación de un sistema mecanizado permite la estandarización de la dosificación, mejorando la calidad del concreto, logrando así una dosificación precisa y constante del mismo y mejorando la calidad y eficiencia del sostenimiento. La importancia de controlar la cantidad de los componentes radica en que estos representan entre el 44 % y el 56 % de los costos totales directos de sostenimiento.

- La cuantificación de los costos asociados a los estándares de sostenimiento, permite determinar los recursos necesarios para garantizar la estabilidad de las excavaciones en minería subterránea.

- Se logro una disminución de la exposición de los trabajadores a labores manuales pesadas, que se traduce en mejores condiciones laborales, fortaleciendo la seguridad en el trabajo.

- Se determinó un ratio operativo de aplicación de concreto lanzado más ajustado a la realidad de las condiciones de Mina Farallón Negro, constituyendo un recurso técnico de valor para futuras planificaciones de sostenimiento.

Recomendaciones:

- Establecer una comunicación clara, constante y efectiva entre los distintos equipos de trabajo, con el fin de evitar la superposición de actividades durante la preparación mecanizada. Una adecuada coordinación permitirá optimizar los tiempos operativos, minimizar riesgos de interferencias y mejorar la eficiencia general del proceso.

- Se recomienda cargar los partes diarios con precisión para contar con una base de datos clara que permita detectar a tiempo posibles puntos de inflexión en los ciclos de trabajo.

- Se sugiere la utilización y ajuste permanente de la planilla de cálculo del ratio operativo en función de las condiciones de la operación, con el objetivo de obtener una estimación precisa del volumen de concreto lanzado por metro de avance.

- El rebote es un factor fundamental en la aplicación del shotcrete, un correcto conocimiento y aplicación de las técnicas de lanzamiento es fundamental para disminuir este parámetro y maximizar la colocación de shotcrete. Se recomiendan capacitaciones periódicas sobre las técnicas adecuadas para la aplicación de shotcrete y un control de esta operación.

- La mecanización en las distintas etapas de un ciclo de trabajo no solo aumenta la productividad, sino también la seguridad. La implementación de equipos mecanizados para la colocación de calibres en el control de espesores de concreto contribuiría significativamente a aumentar la seguridad, al reducir la exposición de los trabajadores al concreto fresco. Además, se recomienda la incorporación de un escáner para medir la uniformidad del shotcrete, lo cual optimizaría el control de los espesores aplicados, mejorando la calidad y eficiencia del proceso de sostenimiento.

- Se recomienda un control en la sobre excavación para controlar el consumo en los componentes que son el costo mayoritario en el uso de shotcrete.

BIBLIOGRAFÍA

1_ Guía chilena para el hormigón proyectado, Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, Segunda Edición (2015).

2_ Manual de Sika para Shotcrete, Sika AG, Edición 2011.

3_ Diseño de ademes en minas, Autor: Biron Cemal, Sistemas editoriales técnicos S.A, Edición 1990.

4_ Tunneling & Mining - Guía de soluciones para la minería, Sika Perú S.A, Edición 2014.

5_ Trabajo final "Reducción de Costos Operativos en Mina Farallón Negro – Optimizando Estándares de Perforación & Voladura en Desarrollo - Preparación", Marcos Espeche (2022), Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas.

6_ Apuntes de cátedra: Planificación de minas (2021) - Autor: Ing. Ramón Martinez; Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas.

7_ Apuntes de cátedra: Administración de Empresas Mineras (KPI, costos y estudio del trabajo). Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas.

8_ Best Support Underground – Putzmeister (Enero de 2025)

- https://bestsupportunderground.com/equipo-robotizado-shotcrete/
- https://bestsupportunderground.com/shotcrete-perforacion-voladura/
- https://bestsupportunderground.com/reducir-rebote-shotcrete/
- https://bestsupportunderground.com/relacion-agua-cemento/
- https://bestsupportunderground.com/errores-aplicacion-shotcrete/

9_ Curso de supervisión de concreto lanzado, CICS (Colegio de ingenieros civiles de Sonora), Dictado 2023.

10_ Información proporcionada por las diferentes áreas de la empresa YMAD (Yacimientos Mineros Agua de Dionisio).

ANEXOS

Anexo I - Medición de tiempos

Medición Nº1

Fecha	28/8/2024
Lugar	-
Turno	-

Datos	L1	L2
Volumen (m_3)	2,3	
Aditivo (kg)	72	

Hora	Actividad	Tiempo (min)	Observacion
	Revision de equipo	22	
	Prepracion, limpieza, armado de boquilla	22	
	saneo y limpieza	90	
	tiempo de lanzado	12	
	limpieza de robot	21	

Medición Nº 2

Fecha	31/8/2024
Lugar	Central - 2372
Turno	Mañana

Datos	
Volumen (m_3)	1,8
Aditivo (kg)	54

Hora	Actividad	Tiempo (min)	Observacion
09:00	Entrada	28	Translado
09:05	Llegada a lugar de equipo		
09:08	Revision rapida del equipo y translado del personal		
09:16	Llegada al lugar de trabajo (Scoop realizando limpieza cuando se llego) y espera		
09:28	Llegada del robot para el inicio de la preparacion		
09:44	Se pidio la preparacion del mezclador	32	Prep Robot
10:00	Se termimno la preparacion del robot		
10:00	Inicio de saneo mientras se espera equipo	60	Saneo y limpieza
10:25	Se realizo saneo de 25 minutos por que el saneo realizado anteriormente estaba mal hecho entonces habia roca suelta y no tendriamos un terminado de SH. En esta etapa se produjo la caida de mucha roca, asi que la pala tuvo que ingresar nuevamente a limpiar los saneado.		
10:25	Espera de pala y mezclador	49	Prep concreto
10:30	Llegada de Scoop e inicio de limpieza		
10:33	Llegada de mezclador y espera		
11:00	Inicio de descarga de mezclador		
11:00	Tiempo de lanzado	24	Lanzado
11:24	Finalizacion de descarga	24	Descarga
11:28	Mezclador se retira		
11:28	Inicio limpieza de robot	17	Limpieza
11:45	Finalizacion de limpieza y fin de turno por falta de tiempo para otra aplicación		

Tarea
Geomecanica dio la orden de lanzar 3 cubas de Huron, esto fue en roca tipo E donde luego se colocarian pernos y malla, tambien se pidio repasar una zona que estaba mal realizado el trabajo dando como resultado un trietapico. Se hacen 2 pasadas eran en roca intacta y una de reparacion.

Observaciones
La preparacion consiste en la revision de filtros, limpieza, armado de boquilla, aplicación de antiadherente al equipo, entre otros.
El turno inicia 7:50 pero los operadores del robot tambien son los encargados de preprar el concreto de forma manual.
Los operarios se encargan de preprar el concreto, sanear y lanzar. Lo idea seria que realicen lanzamiento unicamente.

Medición Nº 3

Fecha	31/8/2024
Lugar	Central
Turno	Tarde

Datos	**L1**	**L2**
Volumen (m_3)	2,1	2,6
Aditivo (kg)	74,7	86,3
Cemento	L1 - 28 bolsas	

Hora	Actividad	Tiempo (min)	Observacion
14:20	Preparacion de la pala para cargar arena y pesar (mezclador posicionado en tolva)	45	Preparacion
14:33	Tolva cargada con la primera pala (se requieren 2 pases)		
14:39	Tolva cargada con la segunda pala (se requieren 2 pases)		
14:50	Tolva cargada con cemento		
15:05	Se agrego fibra y se mezclo, esperando la orden de mina		
15:20	Entrada de Huron	20	Transporte
15:40	Llegada de Huron		
16:02	Retirada de mezclador e inicio de limpieza de equipo	68	Preparacion y espera de concreto
17:00	En espera de mezclador en posicion		
17:10	Llegada de mezclador (espera por control de HyS)		
17:20	Mezclador posicionado y comenzo descarga.	22	Descarga
-	Tiempo de lanzado	23,3	Lanzado
17:47	Mezclador descargado		
17:47	Inicio de limpieza	20	Limpieza
18:07	Fin de limpieza		

Observaciones
Para preparar la mezcla se usa la formula teorica que es a partir de la arena pesada
Por lo general la pala realiza 3 pesadas porque la segunda se pasa de la capacidad de preparacion, hay una mala dosificacion de componentes. Usaron 2,5 lt de plastificante.
Longitud de 9,6 m en reparacion. Dimensiones donde se lanzo 4,64*5,5 en roca intacta.
Reparacion sera en 10 metros con 2 aplicaciones de SH.

Tarea
La tarea a realizar era completar la primera pasada realizada a la mañana y la remediacion de la lanzada anterior.

Medición Nº 4

Fecha	1/9/2024
Lugar	-
Turno	Tarde

Datos	**L1**	**L2**
Volumen (m_3)	-	
Aditivo (kg)		

Hora	Actividad	Tiempo (min)	Observacion
14:22	Inicio de preparacion (la pala se dirige a cargar arena y pesada en bascula, luego descarga en tolva	40	Preparacion
14:29	Tolva cargada con primera pala (1)		
14:33	Tolva cargada con segunda pala.		
14:35	Inicio de carga manual.		
14:43	Fin de carga manual		
14:55	Tolva cargada con cemento		

Tarea
Prepracion de concreto. El huron espera orden para entrar a mina, en ese momento se agregan los compuestos esta demora se debe a que los lanzadores preparan la mezcla, en vez de ir a realizar la preparacion del equipo.

Observaciones
(1) Luego de esto se busca la segunda palada, con el mismo proceso anterior.
La preparacion la realizan los lanzadores.
El agua y el plastificante se carga en el Huron antes del posicionamiento.
Falta el tiempo de mezclado, tiempo de translado y posicionamiento de Huron.

Medición Nº5

Fecha	2/9/2024
Lugar	2460
Turno	Mañana

Hora	Actividad	Observacion
08:18	Lubricacion de maquina y espera de maquinista	
	Demora por falta de operador de pala	
08:35	Inicio de cara de arena	1 pase de arena + pesada + desc
08:40	Se llevo la arena a la tolva pero ya estaba carga	
08:52	Entrada	
08:54	Llegada al lugar donde estaba el equipo, se encontraba con problemas mecanico. Aviso a mecanicos.	
09:53	Llegada de mecanicos	
10:19	No se pudo solucionar asiento, el equipo quedo sin trabajar	

Medición Nº 6

Fecha	3/9/2024
Lugar	Central
Turno	Mañana/tarde

Datos	L1	L2
Volumen (m_3)	2,3	
Aditivo (kg)	37,7	

Hora	Actividad	Tiempo (min)	Observacion
08:23	Busqueda de pala y operador de pala	25	Preparacion
08:25	Inicio de carga de arena		
08:32	Inicio de carga manual de cemento		
08:43	Tolva carga con cemento lista para el mezclador		
08:49	Entrada a mina Bloque 29 central	41	Traslado
09:00	Llegada a central		
09:30	Llegada de robot e inicio de preparacion		
09:57	Pedido de preparacion de mezclador		
10:43	Llegada de mesclador		
	Posicionamento de Huron y robot	6	
	Descarga de huron	19	
	Tiempo de lanzado	19	
11:09	Inicio de limpieza	30	
11:39	Fin de limpieza		
12:12	Salida		

Tarea
Geomecanica solicito en este sector un espesor de 5 cm de SH, para un sostenimiento bietapico, el la roca marron y se observa una veta negra de 1 metros de espesor.

Observaciones
Lectura parcial de robot 3238,1 m3 y 92726 kg de aditivo.
Al usar distintas la pesada varia, desde pesar 3 veces hasta a pesar 1. Se peso 5300 kg arena que equivale 26 bolsas

Medición Nº7

Fecha	6/9/2024
Lugar	-
Turno	Mañana

Hora	Actividad	Tiempo (min)	Observacion
08:00	Inicio de turno		
08:25	Charla de seguridad		
08:40	Inicio de preparacion	52	Preparacion
08:47	Se agrego plastificante y agua		
08:49	agregado de fibras		
09:01	Espera de palero para cargar arena		
09:19	Carga de arena		
09:21	Inicio de carga de cemento		
09:27	tolva cargada de cemento		
09:32	Espera de orden para cargar huron		

Observaciones
No se realizo pesada de arena, directamente se pidio una pala completa de la pala 36 y se usaron 25 de cemento.

Medición Nº8

Fecha	8/9/2024
Lugar	-
Turno	Mañana

Hora	Actividad	Tiempo (min)
	Revision de equipo	22
	Preparacion del equipo	23
	Saneo y limpieza con pala	80
	Lanzado	15
	Limpieza de robot	21

Observaciones
No se pudieron medir espesores, pero se solicitó por geomecánica mayor espesor en el hastial izquierdo, tampoco se utilizaron calibres.

Anexo II - Colocación de pernos

Nº	Actividad	Tiempo (min)	Total
1	Tiempo de perforacion	2,17	3,88
	Colocacion de perno swellex	0,32	
	Emboquille	1,39	
2	Tiempo de perforacion	2,28	2,93
	Colocacion de perno swellex	0,4	
	Emboquille	0,25	
3	Tiempo de perforacion	1,43	3,18
	Colocacion de perno swellex	1,24	
	Emboquille	0,51	

Promedios por perno		
Actividad	Tiempo (min)	Total
Tiempo de perforacion	1,96	3,33
Colocacion de perno swellex	0,65	
Emboquille	0,72	

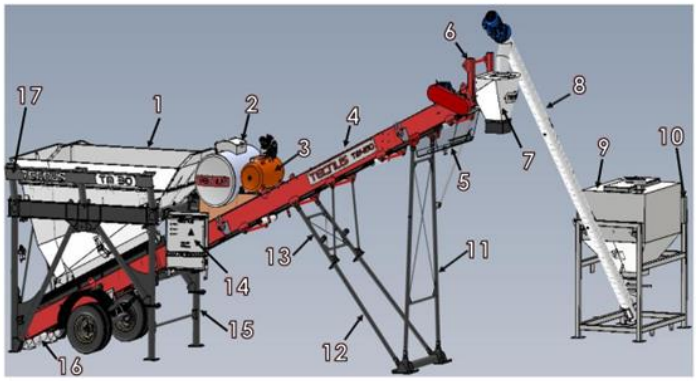
Parametros	
Nivel de trabajo	2320
Equipo	Epiroc Boltec
Longitud de perforacion	2,6 m
Tipo de perno	Swellex
Longitud de perno	2,10 m
Presion de agua	300 bar
Espaciamiento (roca buena)	1,3 m
Velocidad de perforacion	1,33 m/min

Nivel de trabajo
2409 NO

Parametro optimos			
Parametro	Emboquille	Full	
Rotacion	40 - 50		bar
Empuje	60	70 a 100	
Percusion	130	170 - 200	
Barrido	> 10		
Aire	> 3		

Rotacion	Empuje	Percusion
60	100	125
60	50	180
50	100	180
60	100	200
55	80	200
50	100	200
50	80	180
50	50	150
50	150	50
50	90	180
50	60	180
50	180	190
55	90	200
Promedio		
53,1	94,6	170,4

Anexo III - Planta mecanizada (Tecnus TM30)



1) Tolva de áridos.
2) Tanque de agua.
3) Compresor de aire.
4) Cinta transportadora de áridos.
5) Plato de enganche para transporte.
6) Bandera de sin fin de descarga (accesorio).
7) Tolva final de cinta.
8) Tornillo sin fin de descarga.
9) Balanza de cemento.
10) Banderas de sin fin de carga.
11) Pata larga.
12) Pata flecha.
13) Pata flecha corta.
14) Tablero de potencia.
15) Apoyo secundario.
16) Base trasera.
17) Baranda de seguridad de tolva.

Check list

Grupo	I	Descripción	Diario 8 Hs	Semanal 40 Hs	Quincenal 80 Hs.	Mensual 160 Hs	Tres meses 480 Hs
Agua	1	Limpiar filtros				X	
Agua	2	Limpiar regador.		X			
Aire	1	Desagote FRL.	X				
Aire	2	Desagote tanque compresor.	X				
Aire	3	Limpiar filtros cabezal.			X		
Aire	4	Verificar nivel de aceite B68 del FRL.				X	
Aire	5	Verificar tensión correas compresor.			X		
Aire	6	Cambiar filtros cabezal.				X	
Aire	7	Reemplazar aceite cabezal.				X	
Balanza	1	Verificar anclajes celdas de carga.				X	
Balanza	2	Verificar ceros de balanzas.				X	
Balanza	3	Control de balanzas.					X
Cemento	1	Verificar respiradero balanza de cemento.		X			
Cemento	2	Verificar mangas de lona.			X		
Cemento	3	Sellar mangas de lona.				X	
Cemento	4	Verificar uniones RC.				X	
Cemento	5	Sellar tapas de inspección RC.				X	
Cemento	6	Limpiar descarga cemento TFC.					X
Cemento	7	Limpiar respiraderos silos.				X	
Cemento	8	Drenar reserva aire fluidificador.	X				
Cemento	9	Cambiar mangas de lona.					X
Cemento	10	Limpiar balanza de cemento.					X
Cemento	11	Limpiar sinfín de descarga de cemento.					X
Cemento	12	Limpiar fluidificadores.					X
Dos. Aditivos	1	Lavar caudalímetro de aditivos.	X				
Dos. Aditivos	2	Verificar descarga dosificadora de aditivos.				X	
Dos. Aditivos	3	Verificar válvulas anti retorno dosif. Aditivo.				X	
Electricidad	1	Limpiar tableros eléctricos.		X			

Anexo IV – Tiempos de preparación mecanizada

Alternativa 1

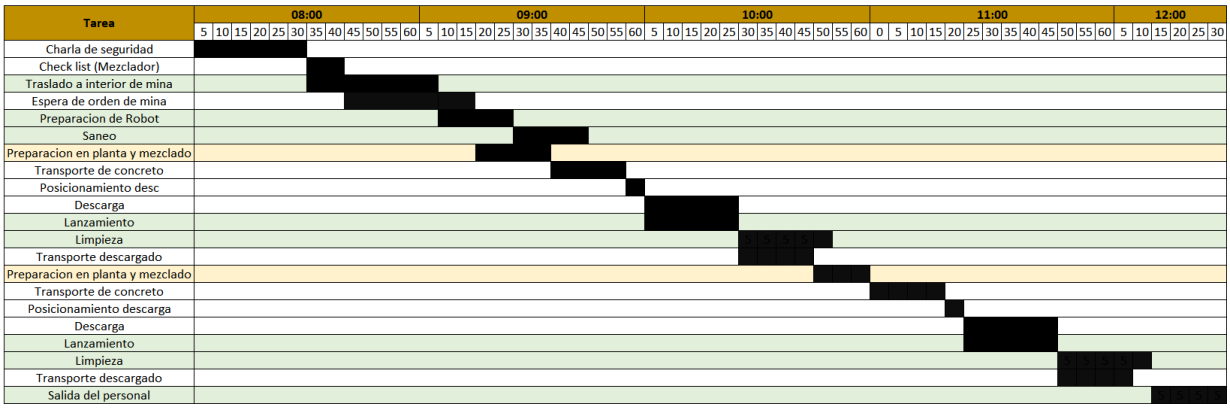
Tiempos de camion

Tarea	Tiempo (min)
Charla de seguridad	30
Check list (Mezclador)	10
Espera de orden de mina	35
Preparacion en planta y mezclado	**15**
Transporte de concreto	22
Posicionamiento desc	5
Descarga	21,6
Transporte descargado	22
Preparacion en planta y mezclado	**15**
Transporte de concreto	22
Posicionamiento descarga	5
Descarga	21,6
Transporte descargado	22
Total	216,2

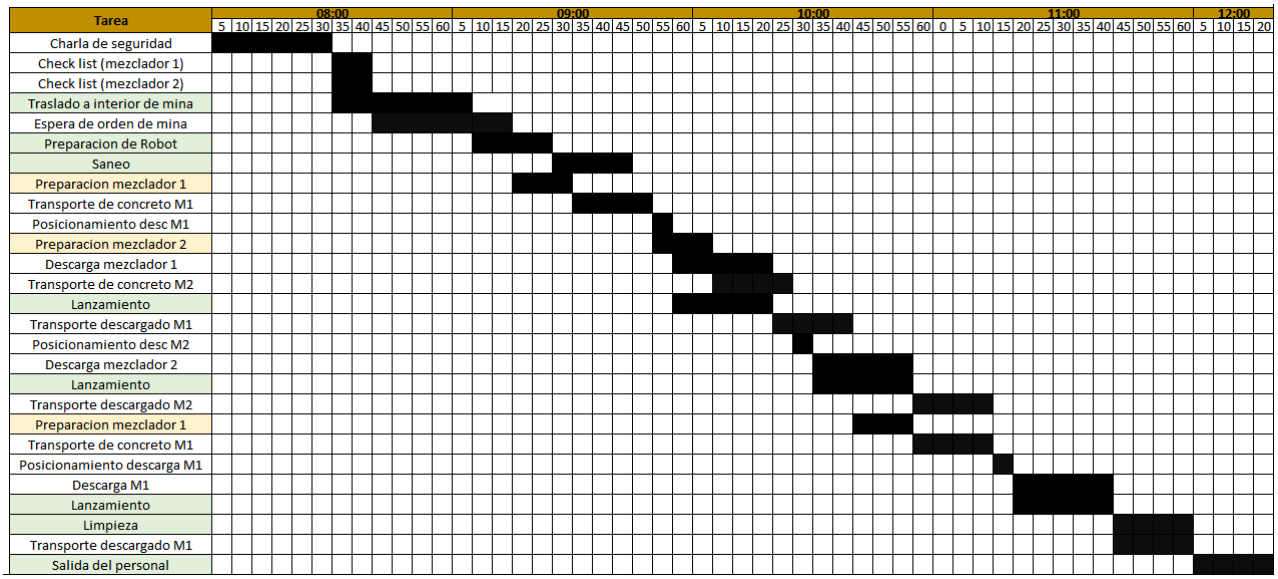
Tiempos de roboshot

Tarea	Tiempo (min)
Charla de seguridad	30
Traslado a interior de mina	34,5
Preparacion de Robot	23
Saneo	20
Espera de camion	15
Lanzamiento	20,3
Limpieza	22
Espera de camion	35
Lanzamiento	20,3
Limpieza	22
Salida del personal	20
Total	232,1

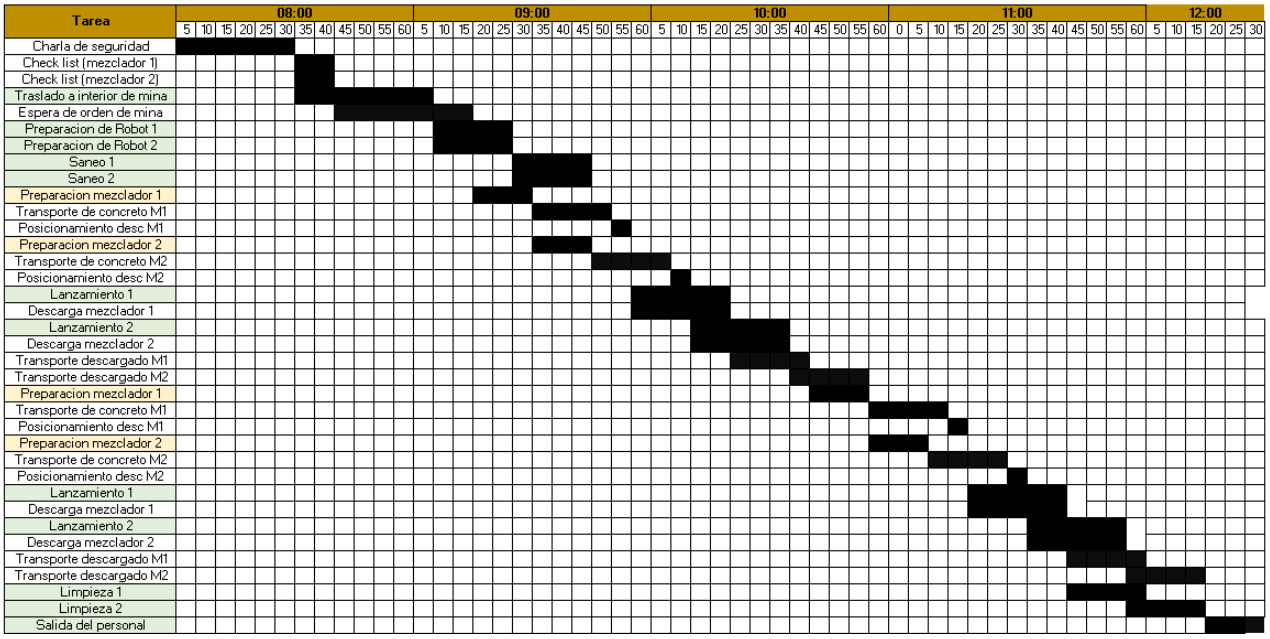
Gantt de equipos trabajando en conjunto



Alternativa 2



Alternativa 3



Anexo V - Diseño de concreto

Concreto para camión mezclador

Valores a completar para preparacion		
Parametros		
Dimensiones (m)	Alto	3,8
	Ancho	3,8
	Radio	1,5
Perimetro (m)		10,1
Avance (m)		6
Espesor (m)		0,05

Sobreexcavacion	13%
Rebote	15%
Cuba y transporte	2%
Compactacion y fraguado	10%

Volumen a preparar (m3)	4,25

Valores para preparacion de concreto				
Formula Teórica	YMAD			
Agregado	1700	Kg	3610,1	Kg
Cemento	400	Kg	849,4	Kg
Agua	200	Kg	424,7	Kg
Fibra Polipropileno	6	Kg	12,7	Kg
Superplastificante (Sikament S Plus)	4,6	Kg	9,8	Kg
Estabilizador de mezcla (Sikatar 930)	4,5	Kg	9,6	Kg
Acelerante (Sigunita L 500)	20	Kg	42,5	Kg
Cantidad a preparar	1	m3	2,12	m3

Capacidad de H4	4 m3
Cantidad de mezcladores	2

Observaciones
Cargar dimensiones estandar de la labor, metros de avance y el espesor requerido por geomecanica.
-
En condicion de roca clase D considerar 10% de rebote, en caso de clase E considerar 15% de rebote.
Espesor D (5 cm) = 0,05
Espesor E (10 cm) = 0,1
Acelerante en RS (6 a 8%)

Diseño de concreto para SH sacrificio de 5 cm

Valores a completar para preparacion		
Parametros		
Dimensiones (m)	Alto	3,8
	Ancho	3,8
	Radio	1,5
Perimetro (m)		10,1
Avance (m)		1
Espesor (m)		0,05

Sobreexcavacion	10%
Rebote	10%
Cuba y transporte	2%
Compactacion y fraguado	10%

Volumen a preparar (m3)	0,67

Valores para preparacion de concreto				
Formula Teórica	YMAD			
Agregado	1700	Kg	1134,6	Kg
Cemento	400	Kg	267,0	Kg
Agua	200	Kg	133,5	Kg
Fibra Polipropileno	6	Kg	4,0	Kg
Superplastificante (Sikament S Plus)	4,6	Kg	3,1	Kg
Estabilizador de mezcla (Sikatar 930)	4,5	Kg	3,0	Kg
Acelerante (Sigunita L 500)	20	Kg	13,3	Kg
Cantidad a preparar	1	m3	0,67	m3

Diseño de concreto para SH sacrificio de 10 cm.

Valores a completar para preparacion		
Parametros		
Dimensiones (m)	Alto	3,8
	Ancho	3,8
	Radio	1,5
Perimetro (m)		10,1
Avance (m)		1
Espesor (m)		0,1

Sobreexcavacion	15%
Rebote	15%
Cuba y transporte	2%
Compactacion y fraguado	10%

Volumen a preparar (m3)	1,44

Valores para preparacion de concreto				
Formula Teórica	YMAD			
Agregado	1700	Kg	2441,1	Kg
Cemento	400	Kg	574,4	Kg
Agua	200	Kg	287,2	Kg
Fibra Polipropileno	6	Kg	8,6	Kg
Superplastificante (Sikament S Plus)	4,6	Kg	6,6	Kg
Estabilizador de mezcla (Sikatar 930)	4,5	Kg	6,5	Kg
Acelerante (Sigunita L 500)	20	Kg	28,7	Kg
Cantidad a preparar	1	m3	1,44	m3

Anexo VI - Costos de sostenimiento

Costos de mano de obra

CALCULOS MANO DE OBRA							
Descripcion	F	Tareas	W	Incidencia	Categoria	Sueldo (30 dias)	$/dia
Lanzador SH	0,125	2	4	50%	3	1400000	46666,6667
Ayudante Sh	0,125	2	4	50%	1	1100000	36666,6667
Operador de Jumbo S	0,125	2	4	50%	3	1400000	46666,6667
Ayudante S	0,125	2	4	50%	1	1100000	36666,6667
Operario H	0,125	4	2	25%	1	1100000	36666,6667

Calculo de costos de Mano de obra							
Descripcion	**Incidencia (%)**	**Unidad**	**Horas de Turno**	**Precio Unitario [$/h]**	**Precio parcial [$/Avance]**	**Subtotal [$/m]**	**Total [U$D/m]**
Lanzador SH	50%	h-h	8	5833,3	23333,3	5185,2	4,15
Ayudante Sh	50%	h-h	8	4583,3	18333,3	4074,1	3,26
Operador de Jumbo S	50%	h-h	8	5833,3	23333,3	5185,2	4,15
Ayudante S	50%	h-h	8	4583,3	18333,3	4074,1	3,26
Operario H	25%	h-h	8	4583,3	9166,7	2037,0	1,63

Sostenimiento tipo "Shfp 5cm + Malla con XbP 2.10 m"

SOSTENIMIENTO (Shfp 5 Cm + Malla con XbP) - (1.30 x 1.30)				
ITEM	**Cantidad**	**Precio unitario ($)**	**Costo total**	**Costo por avance (U$D/m)**
Pernos XbP (2,1 m)	30	$ 14.739	$ 442.167	**87,0**
Malla electrosoldada	4	$ 74.243	$ 296.973	

Acero	Vida Util [m]	Precio unitario ($/unid)	Precio ($/m)	Metros a perforar	Costo (U$D)	Costo por avance (U$D/m)
Barras 2,4 m R32	1.500	$ 245.653	$ 164	72	11791,34	**3,00**
Broca 37 mm R32	600	$ 58.075	$ 97		6968,96	
Shank COP1132 R32 035/410	3.000	$ 218.145	$ 73		5235,48	
Manguito de acople	3.000	$ 60.928	$ 20		1462,27	

Componente	Precio Unitario ($)	Unidad	Cantidad	unid	Costo ($)	Costo por avance (U$D/m)
Cemento CP40	191,3	kg	267	kg	$ 51.077	**104,93**
Acelerante	1966,7	kg	13,3		$ 26.157	
HP	4454,6	kg	3		$ 13.364	
Fibra	1970,0	kg	4		$ 7.880	
Arena	28,8	kg	1135		$ 32.645	
Agua	0,3	kg	133		$ 38	

Equipos	JUMBO BOLTEC S - EPIROC		Costo por avance (U$D/m)	11,9	**27,6**
	Putzmeister SPM 4210			5,3	
	Huron 4 + Planta			10,4	

Mano de obra	Operador de Jumbo S	Total [U$D/m]	$ 4,15	Total [U$D/m]	**16,44**
	Ayudante S		$ 3,26		
	Lanzador SH		$ 4,15		
	Ayudante Sh		$ 3,26		
	Operario H		$ 1,63		

Total (U$D/m)	**238,9**

Sostenimiento tipo "Shfp 5cm + Malla con XbP 2.1m + Shfp 5 cm.

SOSTENIMIENTO (Shfp 5 Cm + Malla con XbP + Shfp 5 Cm) - (1.30 x 1.30)				
ITEM	Cantidad	Precio unitario ($)	Costo total	Costo por avance (U$D/m)
Pernos XbP (2,1 m)	36	$ 14.739	$ 530.600	97,4
Malla electrosoldada	4	$ 74.243	$ 296.973	

Acero	Vida Util [m]	Precio unitario ($/unid)	Precio ($/m)	Metros a perforar	Costo ($)	Costo por avance (U$D/m)
Barras 2,4 m R32	1.500	$ 245.653	$ 164	86,4	$ 14.150	3,59
Broca 37 mm R32	600	$ 58.075	$ 97		$ 8.363	
Shank COP1132 R32 035/410	3.000	$ 218.145	$ 73		$ 6.283	
Manguito de acople	3.000	$ 60.928	$ 20		$ 1.755	

Componente	Precio Unitario ($)	Unidad	Cantidad	unid	Costo ($)	Costo por avance (U$D/m)
Cemento	191,30	kg	574	kg	$ 109.806	226,3
Acelerante	1966,72	kg	28,7		$ 56.445	
HP	4454,57	kg	6,6		$ 29.400	
Fibra	1970,00	kg	8,6		$ 16.942	
Arena	28,76	kg	2441		$ 70.209	
Agua	0,29	kg	287		$ 83	

Equipo	JUMBO BOLTEC S - EPIROC		Costo por avance	14,3	45,7
	Putzmeister SPM 4210			10,7	
	Huron 4 + Planta		(U$D/m)	20,7	
Mano de obra	Operador de Jumbo S	Total [U$D/m]	$ 8,30	Total [U$D/m]	32,89
	Ayudante S		$ 6,52		
	Lanzador SH		$ 8,30		
	Ayudante Sh		$ 6,52		
	Operario H		$ 3,26		
Total (U$D/m)					405,81

Sostenimiento tipo "Shotcrete de sacrificio de 5 cm".

SOSTENIMIENTO SH 5 cm						
Componente	Precio Unitario ($)	Unidad	Cantidad	Unid	Costo ($)	Costo por avance (U$D/m)
Cemento CP40	191,3	kg	267	kg	$ 51.077	104,93
Acelerante	1966,7	kg	13,3		$ 26.157	
HP	4454,6	kg	3		$ 13.364	
Fibra	1970,0	kg	4		$ 7.880	
Arena	28,8	kg	1135		$ 32.645	
Agua	0,3	kg	133		$ 38	

Equipos	Putzmeister SPM 4210	C. unit	5,3	(U$D/m)	15,7
	Huron 4 + Planta		10,4		

Mano de obra	Lanzador SH	C. unit	$ 4,15	[U$D/m]	9,04
	Ayudante Sh		$ 3,26		
	Operario H		$ 1,63		
Total (U$D/m)					129,7

Sostenimiento tipo "Shotcrete de sacrificio 10 cm".

SOSTENIMIENTO 10 cm						
Componente	**Precio Unitario ($)**	**Unidad**	**Cantidad**	**Unid**	**Costo ($)**	**Costo por avance (U$D/m)**
Cemento CP40	191,30	kg	574	kg	$ 109.806	226,31
Acelerante	1966,72	kg	28,7		$ 56.445	
HP	4454,57	kg	6,6		$ 29.400	
Fibra	1970,00	kg	8,6		$ 16.942	
Arena	28,76	kg	2441		$ 70.209	
Agua	0,29	kg	287		$ 83	

Equipos	Putzmeister SPM 4210	C. unit	10,7	(U$D/m)	31,4
	Huron 4 + Planta		20,7		

Mano de obra	Lanzador SH	C. unit	$ 8,30	[U$D/m]	18,07
	Ayudante Sh		$ 6,52		
	Operario H		$ 3,26		

Total (U$D/m)	**275,8**

Costos de pernos y malla sin SH.

SOSTENIMIENTO XbP + Malla - Grilla 1.30 m x1.30 m				
ITEM	**Cantidad**	**Precio unitario ($)**	**Costo total**	**Costo por avance (U$D/m)**
Pernos XbP (2,1 m) + Placa	24	$ 14.739	$ 353.733	76,6
Malla electrosoldada	4	$ 74.243	$ 296.973	

Acero	**Vida Util [m]**	**Precio unitario ($/unid)**	**Precio ($/m)**	**Metros a perforar**	**Costo ($)**	**Costo por avance (U$D/m)**
Barras 2,4 m R32	1.500	$ 245.653	$ 164	57,6	$ 9.433	2,40
Broca 37 mm R32	600	$ 58.075	$ 97		$ 5.575	
Shank COP1132 R32 035/410	3.000	$ 218.145	$ 73		$ 4.188	
Manguito de acople	3.000	$ 60.928	$ 20		$ 1.170	

Equipo	JUMBO BOLTEC S - EPIROC		**Costo por avance (U$D/m)**	9,5

Mano de obra	Operador de Jumbo S	Total [U$D/m]	$ 4,15	**Total [U$D/m]**	7,41
	Ayudante S		$ 3,26		

Total (U$D/m)	95,87

SOSTENIMIENTO XbP + Malla - Grilla 1.30 m x1.30 m				
ITEM	**Cantidad**	**Precio unitario ($)**	**Costo total**	**Costo por avance (U$D/m)**
Pernos XbP (2,1 m) + Placa	24	$ 14.739	$ 353.733	76,6
Malla electrosoldada	4	$ 74.243	$ 296.973	

Acero	**Vida Util [m]**	**Precio unitario ($/unid)**	**Precio ($/m)**	**Metros a perforar**	**Costo ($)**	**Costo por avance (U$D/m)**
Barras 2,4 m R32	1.500	$ 245.653	$ 164	57,6	$ 9.433	2,40
Broca 37 mm R32	600	$ 58.075	$ 97		$ 5.575	
Shank COP1132 R32 035/410	3.000	$ 218.145	$ 73		$ 4.188	
Manguito de acople	3.000	$ 60.928	$ 20		$ 1.170	

Equipo	JUMBO BOLTEC S - EPIROC		**Costo por avance (U$D/m)**	9,5

Mano de obra	Operador de Jumbo S	Total [U$D/m]	$ 4,15	**Total [U$D/m]**	7,41
	Ayudante S		$ 3,26		

Total (U$D/m)	95,87

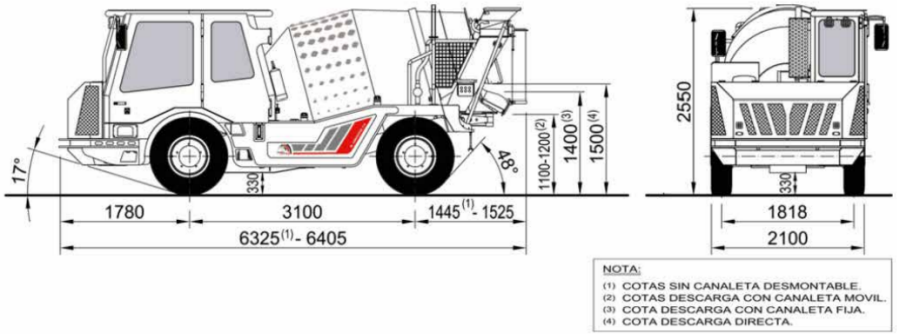
Anexo VII – Roboshot (Putzmeister SPM 4210)

Bomba de hormigón Putzmeister PM1507		
Tipo		Doble pistón
Accionamiento		Hidráulico
Caudal máx. teórico	m^3/h	20
Presión máx. teórica sobre hormigón	bar	65
Diámetro cilindro de transporte	mm	150
Árido máx.	mm	16

Brazo telescópico de proyección Putzmeister SA 10.1		
Alcance máx (vertical/horizontal)	m	10 / 8,5
Sección mín trabajo (vertical/horizontal)	m	2,5 / 2,4
Número de extensiones		4 (3 telescópicas)
Movimientos telescópicos	m	4
Movimientos de ejes		6
Ángulo máximo	º	+65 / -40
Focos de trabajo (x2 Xenon)	V / W	24 / 45

Anexo VIII – Camión mezclador (Huron 4)

DIMENSIONES GENERALES



VOLUMEN GEOMÉTRICO	CAPACIDAD AMASADO	ÁNGULO INCLINACIÓN	DIÁMETRO MÁXIMO	MÁXIMAS RPM
5100 L	4 m^3	15°	1.750 mm	22

MARCA		MULTIMINING
MODELO		HURON 4
CARACTERÍSTICAS GENERALES	LARGO	6405 mm
	ANCHO	2150 mm
	ALTO	2550 mm
	DISTANCIA AL SUELO	350 mm
	DISTANCIA ENTRE EJES	3100 mm
	PEN. MAXIMA ORDEN DE MARCHA	30%
	IN. MAXIMA EN ORDEN DE MARCHA	28%
	RADIO DE GIRO INTERNO	3200 mm
	RADIO DE GIRO EXTERNO	5900 mm
	PESO	7200 Kg
	CAPACIDAD DE AMASADO	4 m3
	CAPACIDAD DE CUBA	5100 Lt
	TAPA CIERRE EN CUBA	SI
MOTOR	MARCA	DEUTZ
	MODELO	TCD 2012 L04
	POTENCIA	100 KW (138 CV)
	EMISIONES	TIER 3
TRANSMISIÓN	TIPO	HIDROSTATICA
	MARCA BOMBA	LINDE
	CILINDRADA	135 CC
	MARCA MOTOR	LINDE
	TIPO	DOBLE EJE
	VELOCIDADES	2 HIDRAULICAS
	TRACCION	4 WD
	VELOCIDAD MAXIMA	20 KM/H
ACCIONAMIENTO CUBA	TIPO	HIDROSTATICA
	REGULACIÓN ELECTRICA	0 A + 22 R.P.M
	CILINDRADA	64 CC
DIRECCIÓN	TIPO	HIDROASISTIDA
	ACCIONAMIENTO	2 EJES
	POSIBILIDADES	EJE DELANTERO I DOS EJES I CANGREJO
FRENOS	DE SERVICIO (BAÑO DE ACEITE)	MULTIDISCO
	ACCIONAMIENTO	4 RUEDAS
	DE ESTACIONAMIENTO	NEGATIVO
	ACCIONAMIENTO	4 RUEDAS
CABINA	CERTIFICACION	ROPS / FOPS
	TIPO	CERRADA
	CLIMATIZACIÓN	FRIO / CALOR
	PUESTO DE CONDUCCIÓN	REVERSIBLE
	ASIENTO CONDUCTOR	CON CINTURON
	CAMARA TRASERA	SI
BOMBA DE AGUA	PRESIÓN MAXIMA	100 BAR
	CAUDAL	10,5 L/MIN
CAPACIDADES	DEPOSITO GAS-OIL	400 LT
	DEPOSITO DE AGUA	420 LT
	DEPOSITO HIDRAULICO	480 LT
OTROS	NEUMATICOS	10,00 R 20
	CATALIZADOR	SI
ENGRASE	CENTRALIZADO	AUTOMATICO