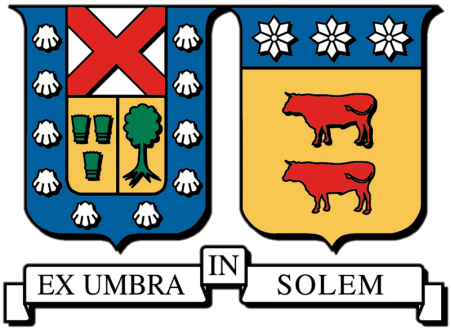


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN CONSTRUCCIÓN DE "PUNTOS DE VACIADOS" PARA MACRO BLOQUE S04 EN CODELCO CHUQUICAMATA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

BENJAMÍN ALFONSO GONZÁLEZ GARRIDO

PROFESOR GUÍA

PABLO VIVEROS GUNCKEL

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

SIMÓN GÓMEZ MUÑOZ
CRISTIAN RAMREZ DÍAZ

VALPARAÍSO DE CHILE

2025

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN CONSTRUCCIÓN DE "PUNTOS DE VACIADOS"\ PARA MACRO BLOQUE S04 EN CODELCO CHUQUICAMATA

Nombre del candidato(a): Benjamin Alfonso Gonzalez Garrido

Carrera / Grado: Ingeniero Civil Industrial

Campus: Valparaiso Casa Central **Departamento:** Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, **Pablo Viveros Gunckel**, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

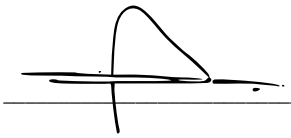
☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 15-12-2025 **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 13-12-2025 **Firma:** 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Tabla de Contenidos

1. Introducción **11**

2. Problema de Investigación **13**

3. Objetivos **16**

3.1. Objetivo General 16

3.2. Objetivos Específicos 16

4. Marco Teórico **17**

4.1. Antecedentes Generales CODELCO Chuquicamata 17

4.1.1. Vicepresidencia de Proyectos Corporación Nacional del Cobre Chileno . . 17

4.1.2. Ubicación 18

4.2. Estado actual y proceso productivo del cobre en Chuquicamata CODELCO 20

4.2.1. El Rajo Chuquicamata y Transición hacia Minería Subterránea 20

4.2.2. Proyecto Mina Subterránea: Visión, Misión y Proyecciones 22

4.2.3. Proceso Productivo de Cobre en CODELCO 24

4.3. Proyecto Mina Subterránea CODELCO Chuquicamata 27

4.3.1. Detalle operativo de Proyecto Mina Subterránea 27

4.3.2. Macrobloques en el PMCHS 28

4.3.3. Macrobloque S04 30

4.3.4. Método de Explotación: Block Caving 32

4.3.5. Raise Borer 33

4.4. Proceso de Extracción de Macrobloques y Mineral dentro de Mina Subterránea . . 34

4.4.1. Distribución y Priorización de los Macrobloques en Chuquicamata Subterránea . . . 38
4.4.2. Puntos de Vaciado (PVAC) . . . 39
4.4.3. Brocal PVAC . . . 40
4.4.4. Pique PVAC . . . 41
4.4.5. Buzones . . . 42
4.5. Estado Actual de la Obra Subterránea: Proceso de Extracción Macrobloque S04 . . 44
4.6. Seguridad y su Importancia en CODELCO . . . 45
4.6.1. Estándares de Control de Fatalidad (ECF) y los Riesgos Críticos en CODELCO . . . 47
4.6.2. Riesgo Crítico n.º 16: Riesgo de caída a pique . . . 47
4.7. Proyectos y Metodologías para Estado Actual de Construcción y Llenado de Puntos de Vaciado . . . 48
4.7.1. Material Marinas . . . 49
4.7.2. Material Andamios . . . 51

5. Solución propuesta e hipótesis **52**

6. Condiciones de Borde Técnicas y contextos considerados **55**

7. Metodología **57**

7.1. Proceso de estructuración y logística de procesos en Mina Chuquicamata Subterránea 57
7.2. Proceso constructivo con incorporación de llenado de material marinas integrado . 57
7.2.1. Blindaje de pique con descenso . . . 59

7.2.2. Minería previa a realizar en pique PVAC 60
7.2.3. Construcción de brocal 61
7.2.4. Proceso de retiro de material marinas de PVAC, tanto en pique como en buzón llenados previamente 62
7.2.5. Construcción de buzón 63
7.3. Proceso constructivo con metodología de torre de andamios integrada 65
7.3.1. Blindaje de pique con descenso 65
7.3.2. Retiro de marinas en buzón 66
7.3.3. Armado de torre de andamios 66
7.3.4. Construcción de brocal (hasta parrilla) 67
7.3.5. Construcción de buzón 68
7.4. Tonelaje implicado en el uso de cada metodología 70
7.4.1. Armado de tonelaje para marinas 71
7.4.2. Armado de tonelaje para andamios 71
7.5. Armado y desglose financiero por metodologías utilizadas (uso de material marinas y montaje y desmontaje de torre de Andamios) 72
7.6. Tiempo a considerar en plazos constructivos por cada metodología evaluada 74

8. Resultados **76**

8.1. Análisis comparativo: Riesgos asociados 76
8.2. Tonelaje implicado por cada metodología 78
8.2.1. Resultados y procedimientos de tonelaje total para metodología de llenado de marinas 78

8.2.2. Tonelaje estimado para andamios: llenado de PVAC + buzón 83

8.2.3. Comparativa resultado unitario tonelaje: Marinas vs. Andamios 84

8.3. Periodo de tiempo por cada proceso de llenado 86

8.3.1. Tiempo estimado para la implementación de metodología con marinas . . . 86

8.3.2. Tiempo estimado para la implementación de metodología con andamios . . 90

8.3.3. Análisis comparativo de plazos entre ambas metodologías y tiempo de proceso de montaje y retiro de material marinas y andamio como método preventivo de RC n°16 92

8.4. Análisis financiero: 95

8.4.1. Análisis financiero: llenado con marinas 95

8.4.2. Análisis financiero: llenado con andamios 99

8.4.3. Comparativa financiera entre ambos métodos 104

9. Conclusiones y Recomendaciones **106**

10. Anexos **110**

10.1. Procesos constructivos OOCC mineras e infraestructura a construir en MBS04 . . . 110

10.2. Riesgos, ECF, RC n°16 111

10.3. Método tonelaje material Andamios 112

10.4. Método financiero material Andamios 112

10.5. Método financiero material Marinas 114

10.6. Comparativa financiera material Marinas y andamios 114

10.7. Método desglose temporal material Marina y Andamios 115

Lista de Tablas

1. Estado actual de las principales actividades del proyecto 31
2. Etapas del proceso de hundimiento y transporte de mineral. 32
3. Desarrollo de horizontes y cotas (MB S04). 38
4. Componentes principales en la infraestructura subterránea del macrobloque S04 . . 44
5. Medidas de seguridad aplicadas en el control de riesgo crítico n.º 16. 48
6. Limitaciones principales del uso de material marinas en la construcción de puntos de vaciado (PVAC) 50
7. Beneficios principales del uso de andamios en la construcción de puntos de vaciado (PVAC). 51
8. Alturas de torre de pique según ubicación y niveles. 59
9. Secuencia de actividades para alternativa con *marinas* y con *andamios*. 73
10. Tonelaje **teórico calculado** por sección y total de 4 secciones. 80
11. Tonelaje implicado en 4 secciones con promedios. 82
12. Tonelaje **real estimado** por sección y total de 4 secciones. 82
13. Tonelaje total implicado metodología andamios 84
14. Comparación de tonelaje total estimado entre metodología de marinas y metodología de andamios. 85
15. Comparativa de tiempos de construcción PVAC–Buzón utilizando ambas metodologías en MB S04 94
16. Días a demorar por metodología utilizada dentro de procesos constructivos para un PVAC–Buzón 94

17. Costos totales asociados a llenado y retiro de marinas 98
18. Resumen de compra de lote andamios ante cambio de metodología 100
19. Altura de torre de andamios y costo total de montaje por estructura. 101
20. Desglose financiero para el montaje de cada PVAC y buzón 102
21. Presupuesto total para escenario de andamios 103
22. Costo asociado a armado y retiro de torre de andamios 103
23. Comparativa financiera entre ambas metodologías 104

Lista de Figuras

1. Logotipo de CODELCO VP (Vicepresidencia de Proyectos), Corporación Nacional del Cobre Chileno 18
2. Ubicación del Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea 20
3. Transición hacia minería subterránea en Chuquicamata 22
4. Esquema ciclo productivo subterráneo de Subniveles MB S04 28
5. Macrobloques subterráneos divisional Chuquicamata 30
6. Túnelización total de macrobloque S04 prevista en software NavisWorks 31
7. Proceso post *block caving* con recolección de mineral en nivel de producción . . . 32
8. Proceso de perforación Raise Boring. 1. Perforación piloto; 2. Acople de broca escariadora; y 3. Escariado (Huamani, 2019) 34
9. Estación de vaciado en subnivel producción MB 35
10. Ventilación de nivel de inyección, rescatada de plano 3D mina S04 NavisWorks . . 36
11. Ventilación de nivel de extracción, rescatada de plano 3D mina S04 NavisWorks . . 36

12. Chancador en nivel de Chancado, rescatado de documento AGD 20ND20S04 Rev.0 37
13. Subniveles subterráneos en macrobloque S04 38
14. Proceso entre nivel de producción y nivel de acarreo en MB S04 39
15. Detalle de elementos del punto de vaciado 40
16. Flujo de traspaso de mineral por maquinaria minera en PVAC 40
17. Construcción brocal PVAC n.º 3, hormigonado 41
18. Blindado interior pique PVAC n.º 3 de MB S04 42
19. Camión minero siendo llenado por buzón de carguío en nivel de Acarreo mina El Teniente 43
20. Guía de Controles Críticos SSO y Riesgo Crítico n.º 16 Caída a pique, operacionales CODELCO 46
21. Extracción de material marinas al momento de realizar excavación de túnel subterráneo 50
22. Cambio de metodología de marinas a andamios propuesta 53
23. Perforación vertical minera Raise Borer, ejemplificación de accionamiento 58
24. Construcción de pique mediante proceso *Raise Borer* con maquinaria especializada 58
25. Metodología actual de blindado de piques PVAC 60
26. Procedimiento tradicional de relleno de pique con marinas, corte y retiro de anillado en coronilla de PVAC, destase y limpieza 61
27. Construcción de brocal con instalación de parrilla 62
28. Parrilla clasificadora en coronilla PVAC 5 rescatada de plano 3D Naviswork de MBS04 62
29. Retiro de marinas en pique de PVAC y retiro de marinas en buzón 63

30. Inicio de construcción de buzón en nivel de acarreo 64
31. Metodología de llenado de buzón con marinas y blindado de pique 65
32. Retiro de material marinas luego de blindado de pique 66
33. Armado y desarmado de torre de andamios 67
34. Anillado en coronilla y comienzo de construcción de brocal 67
35. Construcción de brocal y retiro de Torre de Andamios 68
36. Construcción de buzón 69
37. Procedimiento de perforación vertical ascendente *Raise Borer* en sección de minería subterránea 70
38. Secciones de corte para efectos de cálculo de material marinas 71
39. Pasos para empezar a llenar el buzón número 5 del macrobloque S04 79
40. Buzón llenado con material marinas visualizado en AutoCAD con respectivo ángulo de inclinación 79
41. Cortes secciones a calcular volumen de marinas en AutoCAD 80
42. Diferencia entre trabajar con sección de polígonos perfectos a estudio en realidad . 81
43. Kg total para 7 torres de andamios estipuladas en contrato **NDC n°16 Rev2** 83
44. Pasos seguidos en metodología andamios 84
45. Plazos constructivos completos para PVACs y Buzones (PVAC n°5, PVAC n°4, PVAC n°3) con metodología marinas incorporada en MB S04 87
46. Análisis gráfico de procesos constructivos en PVACs n°5, n°4, n°3 realizados hasta la fecha con metodología de llenado de marinas incorporada 88
47. Proceso de llenado y retiro de material marinas en metodología tradicional, rescatado de NavisWorks 89

48. Gráfico de planificación Curvas S para estimar la fecha de entrega de obra constructiva PVAC–Buzón n°5, n°4 del 23-09-2025 89
49. Plazos constructivos completos para PVACs y Buzones (PVAC n°2 y estimado para los 7 PVACs restantes por construir mediante planificación de curvas S) con metodología andamios incorporada en MB S04 91
50. Proceso de armado y retiro de torre de andamios en metodología nueva propuesta, rescatado de NavisWorks 92
51. Gráfico de planificación Curvas S para estimar la fecha de entrega de obra constructiva PVAC–Buzón n°2, n°1 del 23-09-2025 92
52. Comparación de plazos constructivos para ambas metodologías evaluadas y demostración de trabajos en paralelo para metodología de andamios incorporada . . . 93
53. Sección de cálculo de tonelajes Buzón–PVACs 95
54. Sección de llenado con material marinas por pique PVAC 96
55. Sección a retirar material marinas Buzón–PVACs 97
56. Costos asociados a construcción de torre de andamios NDC n°16 Rev2 99
57. Comparación económica de forma gráfica entre ambos modelos y porcentual . . . 105
58. Tabla comparativa y proyección para futura infraestructura no minera en Chuquicamata Subterránea 109
71. Planilla de calculo financiero material marinas en Excel 114
72. Calculos Comparativa financiera material Marinas y andamios 114
75. Comparación de tiempos en procesos constructivos bajo distintas metodologías . . 116
76. Comparación de tiempos de construcción y montaje entre metodologías y contratos asociados 116

77. calculo de dias estimados en cada metodologia con respectivo datos reales recopilados poer personal de ingenieria y promedio con datos estimados 116

78. Comparación de proporción de plazos en procedimientos constructivos: metodología tradicional vs. metodología con andamios 117

1. Introducción

Este estudio analiza, en el marco constructivo de PVACs en macrobloque S04 de la División Chuquicamata Subterránea de CODELCO, una alternativa de control para la **ruta crítica PVAC–pique–buzón**. El foco es estrictamente preventivo y operativo: *cómo asegurar el control de exposición en borde de pique y la continuidad de las obras* bajo los Estándares de Control de Fatalidad (ECF), específicamente al Riesgo Crítico n.º 16, priorizando la seguridad como criterio rector y considerando tiempo y costo como segundas derivadas.

Históricamente, el tapado temporal de piques durante la construcción se ha ejecutado con **material marinas**. Si bien esta práctica se alineó con políticas de control de riesgos en su contexto original, en las condiciones de uso de material marinas dentro del S04 presenta **externalidades** que afectan el frente de trabajo: i) mayor **polución** en un ambiente subterráneo de **altas temperaturas**, con impacto en las condiciones de salud ocupacional; ii) **colgaduras/atascos** por compactación y humedad del material, que introducen detenciones e intervenciones no productivas; iii) **incertidumbre** en la planificación por remanejo y logística asociada al transporte y retiro del relleno; y iv) **sobrecostos** directos e indirectos. Todo ello repercute en el ordenamiento del frente, la previsibilidad de la obra y la gestión de normativas de seguridad dentro de CODELCO.

Frente a este diagnóstico, se evalúa el reemplazo del relleno con marinas por una **solución modular de andamios** (plataformas de trabajo y base hermética ajustadas al diámetro del pique) como método de control temporal en la ruta PVAC–pique–buzón. La hipótesis de trabajo sostiene que esta alternativa **elimina el riesgo de colgaduras**, **reduce el polvo levantado**, mejora el **housekeeping** (trabajar bajo un espacio más ordenado y limpio) y permite **montajes/desmontajes** controlados con mayor trazabilidad, manteniendo la segregación y los resguardos normativos de

seguridad (barreras físicas, sistemas de sujeción y control de acceso).

Metodológicamente, se construye una comparación *actividad a actividad* entre ambas opciones, integrando datos de **logística**, **tonelajes**, **transporte**, **recursos humanos** y **costos** estimados, además de evidencias operacionales (atascos, retrabajos, interferencias) y consideraciones de **seguridad** y **ambiente**. El análisis pone énfasis en la **previsibilidad del cronograma**, la posibilidad de **simultaneidades seguras** (p. ej., construcción de brocal y preparación de buzón) y la **consistencia** con los Riesgos Críticos de la División.

De ese modo, el objetivo es determinar si la solución de andamios aporta una **mejora preventiva y operativa** en la ruta crítica PVAC–pique–buzón del S04, reduciendo exposición y variabilidad, y entregando mejores condiciones para la construcción y la futura operación. Los resultados esperados incluyen un frente más limpio y ordenado, menor intervención no productiva y **mayor certidumbre** de plazos y costos, con potencial de **replicabilidad** en otros PVAC y buzones de los macrobloques restantes por construir dentro de la mina subterránea de Chuquicamata.

2. Problema de Investigación

La minería subterránea enfrenta desafíos crecientes relacionados con la eficiencia constructiva de sus infraestructuras críticas y la gestión de riesgos operacionales. En la División Chuquicamata de CODELCO, el desarrollo del Proyecto Mina Subterránea tiene como objetivo extender la vida útil del yacimiento mediante la construcción y habilitación de nuevos macrobloques productivos, entre ellos el macrobloque S04, actualmente en etapa de obras civiles. Este proyecto constituye un elemento estratégico para asegurar la continuidad productiva de la compañía, considerando que los macrobloques centrales existentes operan a capacidades cercanas a 80.000 toneladas diarias, siendo necesario ampliar la capacidad de procesamiento y transporte de mineral para sostener la producción futura.

En este contexto, la ruta crítica que conecta los puntos de vaciado (PVAC), el pique y el buzón de recepción se convierte en un eje central de la construcción subterránea. Esta infraestructura permite el traspaso controlado del mineral desde la zona de hundimiento hasta los sistemas de acarreo intermedio, constituyendo un eslabón vital en la cadena productiva. Para garantizar la seguridad de los trabajadores y la continuidad operativa, se requieren medidas de control que mitiguen los riesgos asociados a estas operaciones.

Tradicionalmente, en CODELCO y en otras divisiones como Andina y El Teniente, estas medidas se han materializado mediante el uso de material *marinas* para el relleno temporal de los piques. Este método, aunque históricamente efectivo para prevenir caídas a pique (RC n.º 16), presenta actualmente múltiples externalidades que afectan la eficiencia y la seguridad secundaria de los procesos constructivos. Entre ellas se incluyen: la generación de altos niveles de polvo y polución en ambientes caracterizados por elevadas temperaturas subterráneas; la compactación del

material, que puede generar atascos y la necesidad de tronaduras para su destape, aumentando el riesgo de daños al blindaje de hormigón; la congestión logística y la dificultad en la manipulación y transporte de grandes tonelajes; y el incremento de costos asociados a horas-hombre y tiempos de ejecución prolongados. Estos factores impactan directamente en la continuidad de las obras, la seguridad ambiental y ocupacional, y la eficiencia general de la operación.

Adicionalmente, el RC n.º 16 asociado a caídas a pique, dentro de los 22 riesgos críticos identificados por los Estándares de Control de Fatalidad (ECF), requiere la implementación de barreras preventivas. Históricamente, estas han incluido el relleno con marinas y el uso de arneses conectados a cuerdas de acero para trabajos en altura, así como la segregación de áreas y procedimientos de acceso controlado. Sin embargo, la metodología tradicional implica exposición a riesgos secundarios derivados del manejo del material, lo que ha generado la necesidad de evaluar alternativas más seguras y eficientes.

En este sentido, la investigación se enfoca en el análisis del uso de estructuras modulares de andamios como método alternativo para el tapado temporal de los puntos de vaciado. Esta alternativa permite trabajar en entornos más limpios y ordenados, reducir la exposición a polvo y calor, minimizar la congestión y los atascos, y facilitar un montaje y desmontaje más controlado, contribuyendo a la mitigación de riesgos secundarios sin comprometer la protección frente al RC n.º 16. Además, ofrece la posibilidad de optimizar tiempos, costos y sincronización de labores dentro de la ruta crítica PVAC–pique–buzón.

A partir de esta problemática, la investigación busca responder las siguientes preguntas: ¿Cómo afectan las metodologías tradicionales con marinas a la eficiencia, seguridad y continuidad del proceso constructivo en la ruta crítica PVAC–pique–buzón? ¿En qué medida la implementación de andamios puede reducir riesgos secundarios, mejorar la eficiencia operativa y optimizar los

tiempos de construcción? ¿Qué implicancias tendría esta metodología alternativa en términos de seguridad, costos, logística y sostenibilidad para la División Chuquicamata?

Responder estas preguntas permitirá generar un análisis comparativo integral entre el sistema tradicional de marinas y la propuesta de andamios, aportando evidencia técnica y operativa que fundamente la decisión de implementación. El objetivo es contribuir no solo a la mejora del Proyecto S04, sino también al desarrollo de nuevas prácticas de construcción segura y eficiente en la minería subterránea chilena, alineadas con los estándares, normativas de seguridad y criterios de eficiencia de CODELCO.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Evaluar la factibilidad técnica, operativa y de seguridad del uso de andamios como alternativa al relleno con material marinas en el proceso constructivo de puntos de vaciado en la ruta crítica *PVAC–pique–buzón* del macrobloque S04 de Chuquicamata Subterránea, con el fin de reducir riesgos, mejorar las condiciones laborales y optimizar recursos.

3.2. Objetivos Específicos

- Identificar y analizar las principales problemáticas asociadas al uso de material marinas, tales como polución, aumento de temperatura, compactación y riesgos de atascamiento en piques.
- Describir el sistema de llenado PVAC tradicional con marinas y compararlo con la metodología propuesta basada en estructuras de andamios, considerando su aplicación al tapado de puntos de vaciado.
- Evaluar la integración de la metodología de andamios dentro del ciclo constructivo del macrobloque S04, considerando aspectos de seguridad, tiempo, costos y continuidad operacional.
- Analizar el impacto en la seguridad laboral mediante la aplicación de los Estándares de Control de Fatalidad (ECF), con énfasis en el riesgo crítico n.º 16 asociado a caídas a pique.
- Comparar de manera técnica y preliminar los resultados de ambas metodologías (marinas vs. andamios) en términos de seguridad, medioambiente, logística y costos asociados.

4. Marco Teórico

4.1. Antecedentes Generales CODELCO Chuquicamata

4.1.1. Vicepresidencia de Proyectos Corporación Nacional del Cobre Chileno

La Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO) es la principal empresa estatal dedicada a la exploración, explotación, procesamiento y comercialización del cobre, consolidándose como líder mundial en la producción de este mineral estratégico. Desde su formalización en 1976, tras la nacionalización del cobre en 1971, CODELCO ha jugado un papel central en la economía chilena, siendo una de las principales fuentes de ingresos fiscales y un motor de desarrollo industrial, social y tecnológico. Su gestión ha permitido financiar proyectos de infraestructura, programas de inversión pública y estrategias de desarrollo regional, consolidando su relevancia en la política minera nacional (CODELCO, 2022).

En 2024, CODELCO alcanzó una producción aproximada de 1,328 millones de toneladas métricas de cobre fino, representando alrededor del 26 % de la producción nacional y cerca del 7 % del total mundial. Estos resultados confirman su liderazgo en el mercado global, a pesar de los desafíos asociados a la volatilidad de los precios del cobre, la creciente competencia internacional y la necesidad de transitar hacia prácticas más sostenibles y eficientes. Durante el primer trimestre de 2025, la producción se situó en 296 mil toneladas métricas, evidenciando estabilidad operativa y un manejo estratégico de sus divisiones productivas (CODELCO, 2024).

Actualmente, CODELCO organiza sus operaciones en siete divisiones productivas: El Teniente, Salvador, Radomiro Tomic, Ministro Hales, Gabriela Mistral, Chuquicamata y Andina, complementadas por la División Ventanas, dedicada a fundición y refinación, y la Casa Matriz ubicada en Santiago. Dentro de esta estructura corporativa, la Vicepresidencia de Proyectos (VP),

creada en 2005, tiene como principal responsabilidad la planificación, gestión, diseño y ejecución de proyectos de inversión estratégicos que superen los 10 millones de dólares, asegurando el cumplimiento de estándares técnicos, económicos y de seguridad de clase mundial (CODELCO, 2022).

La VP se constituye como un pilar esencial para la sostenibilidad de la compañía, separando la generación de activos minerales, a cargo de las divisiones operativas, de la ejecución de proyectos estratégicos que materializan estos activos. Esta independencia permite un enfoque especializado en la excelencia de la gestión de proyectos, integrando planificación técnica, constructiva y logística, así como la incorporación de mejores prácticas internacionales que aseguran la durabilidad y eficiencia de los nuevos desarrollos. Entre los proyectos emblemáticos bajo su administración se encuentra el Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea (PMCHS), considerado una transformación histórica de la minería chilena, que busca convertir uno de los rajos abiertos más grandes del mundo en una operación subterránea de clase mundial (Sernageomin, 2021).



Figura 1: Logotipo de CODELCO VP (Vicepresidencia de Proyectos), Corporación Nacional del Cobre Chileno

4.1.2. Ubicación

El yacimiento Chuquicamata constituye el principal activo productivo del Distrito Norte de CODELCO, siendo una de las minas más emblemáticas y de mayor envergadura a nivel mundial.

Se ubica en la precordillera de la Región de Antofagasta, provincia del Loa, a aproximadamente 13 km al norte de la ciudad de Calama, la capital provincial. Esta localización estratégica combina accesibilidad relativa para la logística minera con condiciones geográficas que representan desafíos operativos significativos debido a la altitud y a la aridez del entorno. El rango de altitud dentro del área de influencia del Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea (PMCHS) varía entre 1.600 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, imponiendo consideraciones especiales en términos de transporte, ventilación y salud ocupacional para el personal (Sernageomin, 2019).

El desierto de Atacama, donde se emplaza Chuquicamata, es reconocido como uno de los entornos más áridos y extremos del planeta, lo que condiciona la disponibilidad de agua, la planificación de la infraestructura y la logística de operación. En este contexto, la conectividad con la ciudad de Calama resulta crucial, ya que concentra los servicios, la vivienda y el soporte logístico necesarios para gran parte de la fuerza laboral y las operaciones del yacimiento. La ubicación también permite un acceso relativamente eficiente a rutas de transporte nacional e internacional, facilitando la exportación del cobre refinado y el aprovisionamiento de insumos y equipos críticos (Laubscher, 2000).

El PMCHS se desarrolla directamente bajo el rajo abierto histórico de Chuquicamata, integrando de manera complementaria las operaciones de superficie y subterráneas. Esta disposición permite planificar la transición de la explotación a cielo abierto hacia un modelo subterráneo de clase mundial, asegurando la continuidad productiva y maximizando la recuperación de recursos minerales de alta ley.

La siguiente figura ilustra la ubicación del proyecto dentro del Distrito Norte de CODELCO, mostrando la integración de las principales instalaciones, accesos y puntos de apoyo logístico en el territorio circundante.

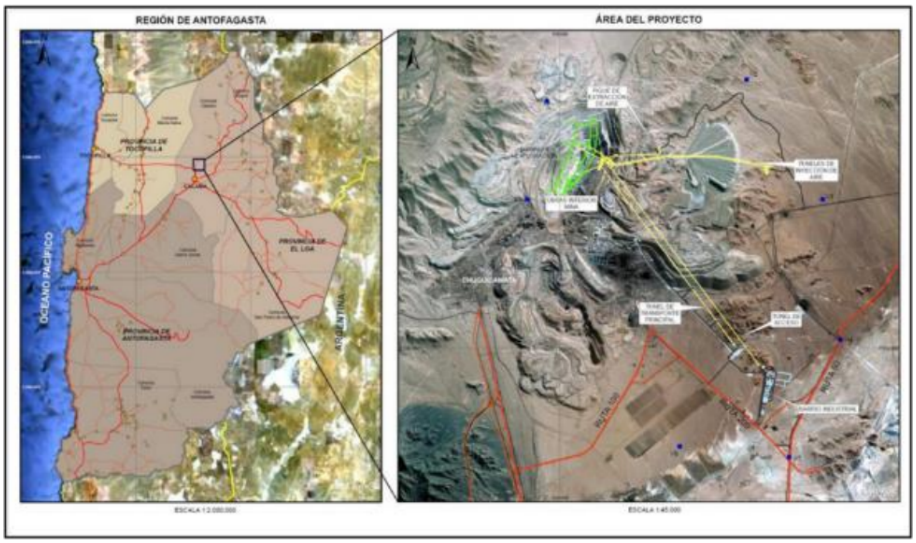


Figura 2: Ubicación del Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea

4.2. Estado actual y proceso productivo del cobre en Chuquicamata CODELCO

4.2.1. El Rajo Chuquicamata y Transición hacia Minería Subterránea

La División Chuquicamata se ha consolidado como uno de los pilares fundamentales de la minería chilena, destacándose por operar históricamente uno de los rajos abiertos más extensos y profundos del mundo. Su explotación comenzó formalmente en 1915 y, a lo largo de más de un siglo de operaciones, ha alcanzado dimensiones geográficas impresionantes: aproximadamente cinco kilómetros de longitud, tres kilómetros de ancho y más de mil metros de profundidad. Esta magnitud ha representado un desafío constante en términos de planificación minera, gestión de recursos, logística y seguridad ocupacional (Sernageomin, 2021).

No obstante, el agotamiento progresivo de las reservas superficiales y el desgaste de los frentes de extracción hicieron necesaria la adopción de un plan estratégico de transición hacia ex-

plotación subterránea. Esta transformación busca garantizar la continuidad de la producción cuprífera, prolongar la vida útil del yacimiento y optimizar la recuperación de recursos bajo estándares de eficiencia y seguridad modernos (Laubscher, 2000).

En respuesta a este desafío, se desarrolló el Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea (PMCHS), concebido como una solución integral a largo plazo. Este proyecto busca prolongar la explotación del yacimiento por al menos 39 años adicionales, aprovechando reservas profundas que solo pueden ser accedidas mediante técnicas subterráneas especializadas. El PMCHS se ha planificado considerando la extracción de aproximadamente 1.760 millones de toneladas de mineral con una ley media de cobre de 0,76 %, lo que representa una contribución significativa a la producción nacional y a la estrategia de CODELCO para mantener su liderazgo global (CODELCO, 2022).

La transición del rajo abierto hacia la explotación subterránea no solo responde a la disminución de reservas superficiales, sino también a la necesidad de adaptar los procesos productivos a estándares de sustentabilidad, automatización y eficiencia. La operación subterránea está basada en el método de hundimiento por bloques (*block caving*), que permite una extracción masiva y continua del mineral mediante la fracturación controlada del macizo rocoso. Este método, sumado a la planificación por macrobloques, asegura una explotación escalonada, eficiente y segura, maximizando la recuperación de cobre y molibdeno (Sernageomin, 2021).

El PMCHS también integra consideraciones socioambientales y de seguridad, incorporando sistemas avanzados de ventilación, monitoreo geomecánico y protocolos de gestión de riesgos críticos. La ubicación subterránea bajo el rajo abierto permite que la transición entre la explotación superficial y subterránea sea progresiva, garantizando la continuidad operativa mientras se desarrollan las obras de infraestructura necesarias para la minería subterránea. Este enfoque asegura

que el impacto sobre las operaciones existentes se minimice y que los objetivos productivos y de seguridad se mantengan consistentes con los estándares corporativos de CODELCO (Hoek, 2007).

En suma, la transición hacia minería subterránea en Chuquicamata representa un cambio de paradigma en la historia minera de Chile. La integración de técnicas modernas de explotación, planificación estratégica por macrobloques y sistemas avanzados de seguridad posiciona al PMCHS como un proyecto emblemático dentro de la industria, ejemplificando cómo la innovación tecnológica y la gestión eficiente pueden prolongar la vida útil de yacimientos históricos sin comprometer la seguridad ni la productividad (Laubscher, 2000).

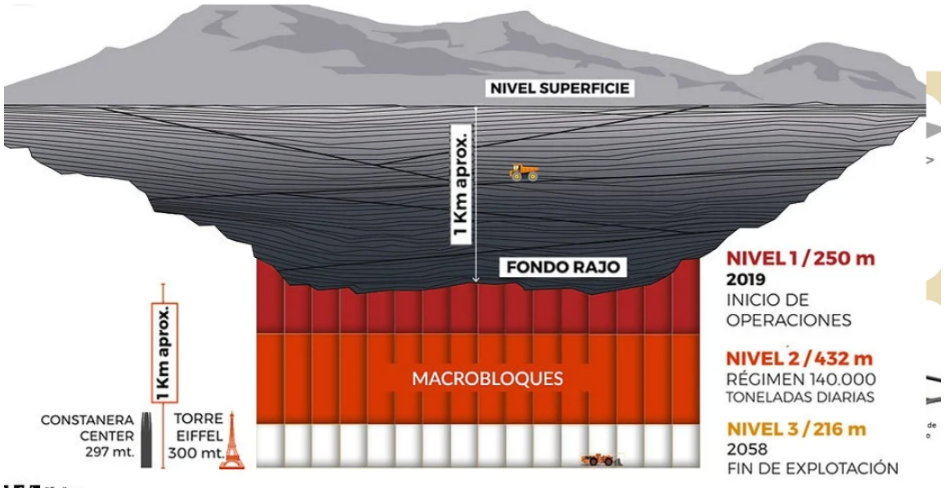


Figura 3: Transición hacia minería subterránea en Chuquicamata

4.2.2. Proyecto Mina Subterránea: Visión, Misión y Proyecciones

El Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea (PMCHS) se concibe como una iniciativa estratégica de CODELCO, orientada a garantizar la continuidad de la producción cuprífera y el aprovechamiento eficiente de los recursos minerales a largo plazo. Este proyecto representa una transformación estructural y tecnológica que asegura que la minería chilena se mantenga competitiva frente a los desafíos globales en materia de recursos, costos, sostenibilidad y seguridad

(Sernageomin, 2021).

La **visión** del PMCHS se centra en consolidar la mina subterránea como una operación de referencia mundial, segura, automatizada y sostenible. La implementación de tecnologías avanzadas, sistemas de control en tiempo real y metodologías de planificación de última generación permite que el proyecto aspire a estándares de clase mundial en términos de eficiencia productiva, seguridad laboral y cuidado ambiental. La visión de CODELCO, con la ejecución del PMCHS, es garantizar que la mina subterránea se convierta en un modelo global de eficiencia y sostenibilidad, asegurando su protagonismo en la industria del cobre (OECD, 2023).

La **misión** del proyecto se enfoca en maximizar el rendimiento económico y técnico del yacimiento mediante una transición progresiva desde la explotación a cielo abierto hacia el modelo subterráneo. Esta misión implica no solo mantener la producción de cobre y molibdeno, sino también asegurar que cada etapa del proceso respete los compromisos sociales, medioambientales y de seguridad definidos por la corporación. Este compromiso se basa en la implementación de prácticas sostenibles y el uso de tecnologías que permiten operar de manera eficiente y respetuosa con el medio ambiente (World Bank, 2021).

El PMCHS se desarrolla bajo una planificación rigurosa basada en el concepto de macrobloques (MB), que permite organizar la explotación del yacimiento de manera escalonada y controlada. Actualmente, los macrobloques MB-1, MB-2 y MB-3 se encuentran en etapa de producción, mientras que los macrobloques MB-S04 y MB-S05 se encuentran en fase de construcción y preparación. La secuencia estratégica garantiza la continuidad operativa, minimiza riesgos de interrupción y facilita la optimización de recursos humanos y maquinaria (Laubscher, 2000).

En términos de **proyecciones de producción**, el proyecto está diseñado para alcanzar un régimen de 140.000 toneladas por día (TPD), con una meta anual que supera los 50 millones de

toneladas de mineral extraído. Estas proyecciones permiten mantener la participación de CODELCO en el mercado mundial, asegurando la estabilidad económica y financiera de la empresa y fortaleciendo su rol como pilar estratégico de la economía chilena. Este volumen de producción posiciona al PMCHS como uno de los proyectos más importantes de CODELCO para consolidar su liderazgo global en el sector del cobre (Cochilco, 2022).

El PMCHS también incorpora mecanismos de evaluación continua y mejora de procesos, mediante el monitoreo de indicadores de desempeño técnico, económico y de seguridad. La integración de sistemas de control y análisis de datos permite anticipar posibles desviaciones, reducir riesgos operacionales y asegurar la sostenibilidad de la mina en el largo plazo. Este enfoque garantiza que, a medida que los macrobloques entren en producción, se mantenga un equilibrio entre eficiencia productiva, seguridad y cumplimiento ambiental (CII, 2012). Las tecnologías de monitoreo en tiempo real y los modelos predictivos permiten adaptar el proceso a las condiciones cambiantes del yacimiento y a las necesidades operativas, optimizando así los resultados en cada fase del proyecto (O'Brien et al., 2020).

4.2.3. Proceso Productivo de Cobre en CODELCO

El proceso productivo de la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO) constituye un sistema integral que transforma el mineral extraído en cobre refinado de alta pureza. Este proceso se adapta a la naturaleza del yacimiento, el método de explotación y las particularidades de cada división productiva, integrando operaciones a cielo abierto y subterráneas. El objetivo final es maximizar la recuperación de cobre fino, asegurar la eficiencia operativa y garantizar la seguridad en todas las etapas del ciclo productivo (Habashi, 1999).

A. Proceso productivo en superficie (minería a cielo abierto): En las divisiones con

operación a rajo abierto, como Radomiro Tomic y la histórica operación de Chuquicamata, la producción inicia con la *extracción mecánica* del mineral. Palas de gran tonelaje cargan el material mineralizado en camiones de alta capacidad, transportándolo hacia chancadores primarios donde se reduce su granulometría. Esta reducción facilita su manipulación y optimiza las etapas de concentración posteriores. El mineral triturado es conducido a las plantas de concentración, donde se aplican técnicas como *flotación, lixiviación o biolixiviación*, dependiendo del tipo de mineral (sulfuro o oxidado). Estas técnicas separan la ganga de los minerales de interés, generando un concentrado que será procesado en etapas de fundición y refinación. El resultado final son cátodos de cobre con una pureza de 99,99 %, listos para su comercialización internacional (Biswas & Davenport, 1994). Este proceso en superficie incorpora además medidas de control ambiental y eficiencia energética, reduciendo impactos y optimizando el consumo de recursos. La logística de transporte y almacenamiento también juega un rol clave, asegurando la continuidad del flujo de mineral desde la extracción hasta el procesamiento final.

B. Proceso productivo subterráneo: En los yacimientos subterráneos, como El Teniente y Chuquicamata Subterránea, la extracción se realiza mediante métodos avanzados, siendo el *block caving* el más representativo. Este método permite fragmentar grandes bloques de mineral mediante la acción controlada de la gravedad, generando un flujo continuo hacia los *puntos de vaciado* o *drawpoints*. Desde allí, el mineral es transportado por LHD (*Load-Haul-Dump*) o camiones mineros hacia sistemas de correas transportadoras subterráneas, que conducen el material hacia la superficie. Una vez en superficie, el mineral se integra al mismo flujo de chancado, concentración, fundición y refinación utilizado en la minería a cielo abierto. Esta integración garantiza que, pese a las diferencias de método, la calidad del concentrado y del cobre refinado sea homogénea y cumpla con los estándares internacionales (Wills & Finch, 2016).

C. Optimización de la cadena de valor: A pesar de las diferencias entre minería a cielo abierto y subterránea, ambas operaciones convergen en un modelo de cadena de valor orientado a: **Maximizar** la recuperación de cobre fino; **Reducir costos operativos** unitarios mediante la eficiencia en transporte y procesamiento; **Garantizar la seguridad de los trabajadores** en todas las etapas; **Minimizar impactos ambientales** mediante el control de emisiones, manejo de residuos y eficiencia energética.

El proceso productivo también contempla la planificación logística, la gestión de inventarios y la implementación de tecnologías de monitoreo y control, lo que permite optimizar los recursos y mantener la continuidad operacional. Los sistemas de control en tiempo real y la incorporación de modelos predictivos de producción aseguran que los procesos se ajusten dinámicamente a las condiciones del yacimiento y a la disponibilidad de recursos (Sernageomin, 2021).

D. Innovación y sostenibilidad en la producción: CODELCO incorpora mejoras tecnológicas y prácticas innovadoras para garantizar la sostenibilidad del proceso productivo. Esto incluye: Monitoreo geomecánico y geotécnico de los macizos rocosos; Sistemas de gestión de energía y eficiencia en chancado y molienda; Integración de tecnologías de automatización y digitalización de procesos; Estrategias de reducción de emisiones y manejo responsable de residuos mineros.

El proceso productivo de cobre en CODELCO combina técnicas tradicionales y modernas, asegurando la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de la operación. La coordinación entre minería superficial y subterránea permite una explotación integral del yacimiento, optimizando la recuperación de recursos y manteniendo la competitividad de la corporación en el mercado internacional (Hoek, 2007).

4.3. Proyecto Mina Subterránea CODELCO Chuquicamata

La Mina Subterránea Chuquicamata constituye una de las transformaciones más significativas dentro del portafolio de proyectos de CODELCO, marcada por la transición histórica desde la explotación a cielo abierto hacia un esquema de minería subterránea de gran escala. Este cambio responde a la necesidad de mantener la continuidad productiva frente al agotamiento progresivo de las reservas superficiales y a la estrategia de maximización de la vida útil del yacimiento, que proyecta la explotación minera por varias décadas más (Sernageomin, 2021). La implementación de este proyecto busca integrar eficiencia, seguridad y sostenibilidad, incorporando tecnologías de última generación y metodologías de planificación de clase mundial (OECD, 2023).

4.3.1. Detalle operativo de Proyecto Mina Subterránea

La operación subterránea de Chuquicamata se concibe bajo un esquema de gestión escalonado y controlado, donde cada macrobloque se desarrolla y prepara completamente antes de iniciar la explotación. Este enfoque asegura que las actividades de desarrollo, construcción y preparación de infraestructura estén finalizadas, minimizando riesgos geotécnicos y garantizando la seguridad de los trabajadores (Laubscher, 2000).

El flujo de producción subterránea se visualiza a continuación en la siguiente figura:

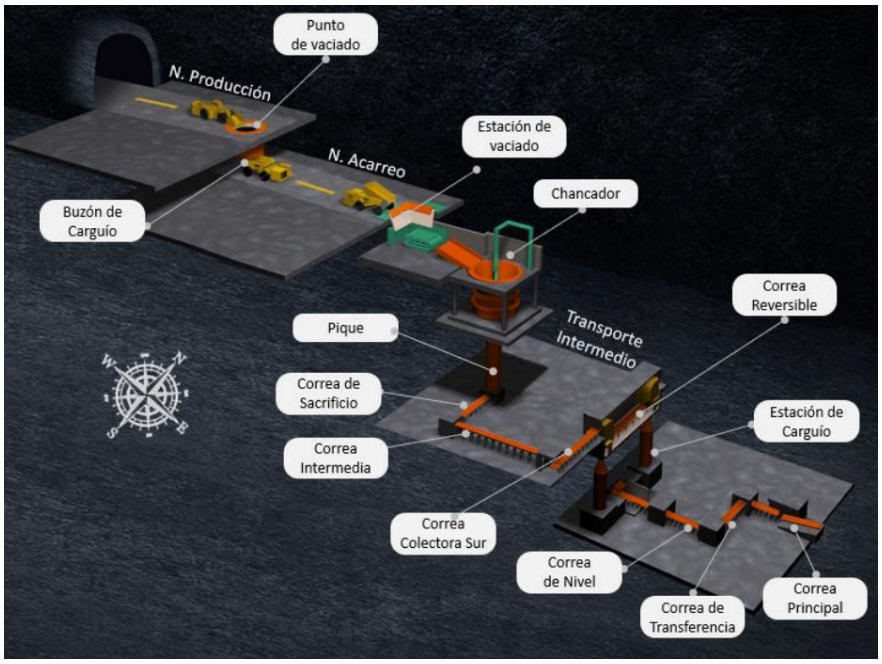


Figura 4: Esquema ciclo productivo subterráneo de Subniveles MB S04

Este esquema operativo permite articular un **circuito de extracción continuo**. Pasando desde un nivel de Hundimiento; Nivel de Producción; Niveles de Ventilación, Nivel de Acarreamiento y Nivel de Chancado hasta sus respectivas correas transportadoras. Garantizando que el flujo de mineral desde los niveles de hundimiento hacia la superficie se realice de manera eficiente, segura y bajo control constante de variables geomecánicas.

4.3.2. Macrobloques en el PMCHS

Dentro del Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea, la planificación y explotación del yacimiento se organiza en unidades estratégicas denominadas **macrobloques** (MB). Cada macrobloque constituye un volumen de mineral delimitado espacialmente, diseñado para ser explotado de manera controlada mediante el método de hundimiento por bloques (*block caving*). La elección de esta estructura modular responde a la necesidad de garantizar la continuidad productiva, opti-

mizar el uso de recursos y reducir riesgos geotécnicos, especialmente en un yacimiento de gran profundidad y extensión como Chuquicamata (Hoek, 2007).

Esto permite consolidar operaciones a gran escala con niveles de producción homogéneos y sostenibles. La distribución actual contempla un total de **15 macrobloques**, segregados en sectores Norte y Sur:

- **Sector Norte:** Comprende los macrobloques MB-N1, MB-N2 y MB-N3, actualmente en etapa de producción. Estos bloques representan la transición inicial entre la operación a cielo abierto histórica y la explotación subterránea moderna, consolidando la continuidad productiva del yacimiento.

- **Sector Sur:** Incluye los macrobloques MB-S4 y MB-S5, los cuales se encuentran en etapa de construcción (progreso de término de construcción de infraestructura subterránea del MB-S04 en septiembre de 2026). Estas unidades están enfocadas en el desarrollo de túneles, galerías de producción, puntos de vaciado y sistemas de transporte, constituyéndose como el pilar de la expansión subterránea de la mina.

- **Macrobloques futuros:** Se proyecta la construcción escalonada de macrobloques adicionales en ambos sectores, garantizando un flujo constante de mineral y asegurando la extensión de la vida útil del yacimiento.

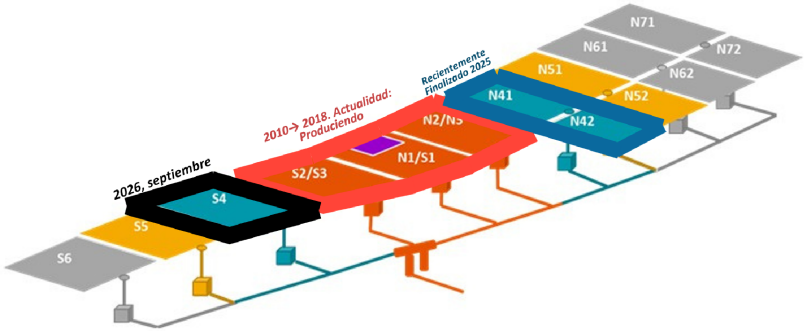


Figura 5: Macrobloques subterráneos divisional Chuquicamata

La explotación secuenciada de los macrobloques permite minimizar riesgos asociados a hundimientos no controlados, facilita la planificación logística y asegura un régimen de producción estable. Cada macrobloque se desarrolla como un proyecto independiente dentro del proyecto global, incluyendo obras de infraestructura, preparación de niveles de producción y sistemas de transporte, lo que contribuye a una mayor eficiencia operativa y control geomecánico (Hustrulid & Bullock, 2001). Asimismo, desde 2010 hasta 2018 se construyeron los 3 macrobloques centrales, los cuales en la actualidad se encuentran en proceso de operaciones; los macrobloques N41/N42 han finalizado su proceso constructivo este 2025; y en la actualidad se encuentra en proceso constructivo de obras mineras subterráneas el **macrobloque S04**.

4.3.3. Macrobloque S04

El macrobloque S04 (MB-S04) constituye un elemento crítico dentro del sector Sur del PMCHS, localizado directamente bajo el rajo abierto de Chuquicamata. Su importancia estratégica radica en que su explotación permitirá la transición completa desde la operación superficial hacia la minería subterránea, asegurando la continuidad del suministro de mineral y la estabilidad productiva de la mina (Sernageomin, 2021). Actualmente, el MB-S04 se encuentra en etapa

de construcción, de la cual este megaproyecto abarcará un área de 89.430 m^2 por construir, que consta con desarrollo de horizontales, desarrollo de verticales, pavimentación, PEX, muros de confinamiento, puntos de vaciados y traslado de marina para el proceso de minería previa construcción

Actividad	**Estado Actual**
Desarrollo de túneles de acceso, galerías de producción y transporte	**Actualmente ya realizados**
Construcción de puntos de vaciado y buzones de extracción	**Actualmente construidos 3 de 10 de ellos**
Instalación de sistemas de correas transportadoras y manejo de mineral	**Actualmente ya construidos**
Implementación de obras de sostenimiento y acuñadura, garantizando la estabilidad geomecánica del macizo	**Ya en realización**

Tabla 1: Estado actual de las principales actividades del proyecto

El MB-S04 está diseñado para operar bajo el método de *block caving*, lo que permitirá inducir la fragmentación controlada del macizo rocoso y generar un flujo continuo de mineral hacia los puntos de extracción. La ubicación bajo el rajo abierto presenta desafíos geotécnicos significativos, incluyendo la gestión de esfuerzos inducidos, cuñas inestables y la necesidad de un monitoreo permanente del comportamiento del macizo (Laubscher, 2000). La fase constructiva incorpora planes de control geomecánico, métodos de sostenimiento y sistemas de seguridad para proteger a los trabajadores y garantizar la integridad de la obra.

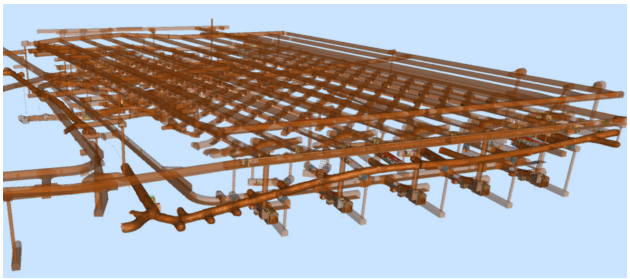


Figura 6: Túnelización total de macrobloque S04 prevista en software NavisWorks

4.3.4. Método de Explotación: Block Caving

El método de hundimiento por bloques (*block caving*) constituye la técnica principal de explotación en la Mina Subterránea Chuquicamata. Este método se basa en la inducción controlada del colapso del macizo rocoso mineralizado, permitiendo que la gravedad genere el desprendimiento progresivo del mineral hacia los niveles de extracción (Wills & Finch, 2016). El proceso de *block caving* se estructura en las siguientes etapas operativas:

Etapa	**Descripción**
Preparación del nivel de hundimiento	Se habilitan túneles, galerías y buzones para captar el mineral desprendido, asegurando una disposición segura y eficiente.
Inducción del hundimiento	Mediante tronaduras controladas y monitoreo geomecánico, se inicia el colapso progresivo del macizo, generando fragmentación del mineral.
Colapso gravitacional	El mineral desciende por gravedad hacia los puntos de vaciado, donde se concentra para su extracción.
Extracción y transporte	El mineral es recolectado en los buzones y trasladado a través de correas transportadoras y sistemas de chancado primario hacia las plantas de procesamiento.

Tabla 2: Etapas del proceso de hundimiento y transporte de mineral.

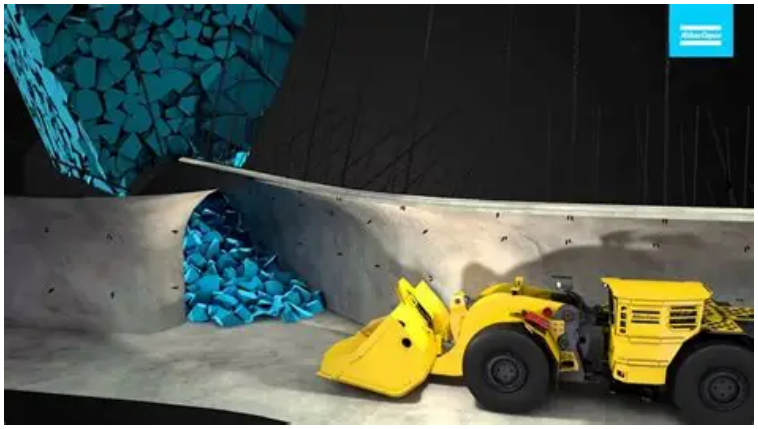


Figura 7: Proceso post *block caving* con recolección de mineral en nivel de producción

La eficiencia del método depende de un control riguroso de variables geotécnicas y de la presión de fluidos en el macizo, lo que garantiza la estabilidad de la operación y la continuidad

del flujo de mineral. Su implementación en Chuquicamata permite movilizar grandes volúmenes con bajos costos unitarios, asegurando la sostenibilidad económica y operativa del proyecto (Sernageomin, 2021).

4.3.5. Raise Borer

El método *Raise Borer* implica el uso de una máquina electrohidráulica para excavar desarrollos verticales de forma ascendente. El equipo se instala en el nivel superior, desde donde se perfora el tiro piloto con el *drill bit* hasta un nivel inferior. Una vez que rompe en el nivel inferior, se instala el *reamer* (escariador), el cual posteriormente excava de manera ascendente la sección completa (presente en Figura adjunta).

En el caso de este método de excavación, se debe contar con ambos niveles disponibles para realizar la labor: la parte del nivel superior, donde va montado el equipo, y la parte del nivel inferior, donde es depositado el detritus de la excavación que luego es extraído.

El método *Raise Borer* se basa en las acciones de empuje y rotación: el empuje se realiza con bombas hidráulicas que accionan cilindros hidráulicos, y la rotación con un motor eléctrico que puede ir de los 150 HP a los 500 HP. La potencia del motor está directamente relacionada con el diámetro final del desarrollo vertical y con la longitud de este.

A través de este método, se pueden alcanzar alturas de perforación de hasta 1.000 metros, con diámetros que van desde los 0,7 hasta los 8 metros (Minería Chilena, 2017).

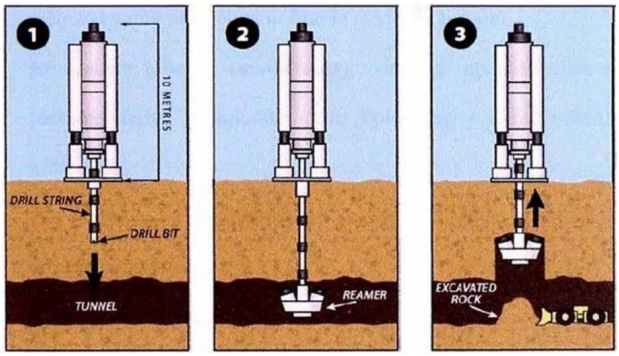


Figura 8: Proceso de perforación Raise Boring. 1. Perforación piloto; 2. Acople de broca escariadora; y 3. Escariado (Huamani, 2019)

4.4. Proceso de Extracción de Macrobloques y Mineral dentro de Mina Subterránea

El proceso de extracción en la Mina Subterránea Chuquicamata se estructura en distintos niveles operativos, diseñados para implementar de manera eficiente y segura el método de hundimiento por bloques (*block caving*). Cada nivel cumple funciones específicas dentro del ciclo de extracción, asegurando continuidad operativa, control geomecánico, eficiencia en transporte y seguridad para el personal. Este enfoque modular permite la coordinación simultánea de múltiples actividades, desde la fragmentación inicial del macizo hasta la transferencia del mineral hacia la superficie (Hustrulid & Bullock, 2001).

- **Nivel de Hundimiento:** Se encuentra sobre la zona mineralizada y constituye el punto inicial del proceso de fragmentación del macizo rocoso. En este nivel se inducen colapsos controlados del bloque mineral mediante la combinación de esfuerzos gravitacionales naturales y la presión de fluidos contenidos en las discontinuidades de la roca, lo que genera la fragmentación del mineral (AGD ND20S04 Rev.0, 2024). Dicha cota de nivel se encuentra a 1.843

metros sobre el nivel del mar.

- **Nivel de Producción:** Constituye el corazón del proceso operativo, donde se localizan los *puntos de vaciado*. En esta etapa, el mineral fragmentado es recolectado por equipos de alta capacidad, como palas o LHD (*Load-Haul-Dump*), que lo transfieren hacia los sistemas de transporte primario. La disposición estratégica de los puntos de vaciado permite un flujo continuo y controlado, evitando la acumulación excesiva de material y posibles bloqueos que podrían interrumpir la producción (Chitombo, 2010). Dicha cota de nivel se encuentra a 1.823 metros sobre el nivel del mar, 20 metros bajo el nivel de hundimiento descrito anteriormente.

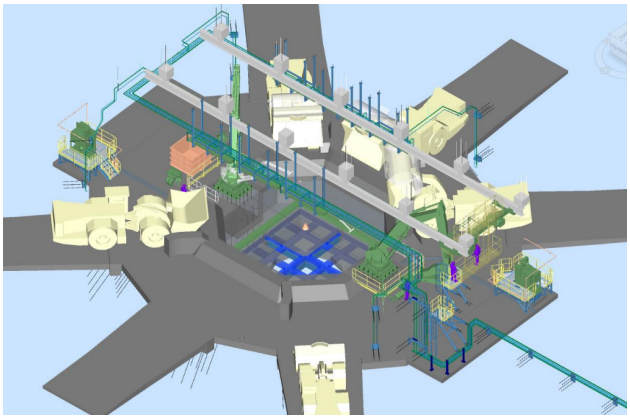


Figura 9: Estación de vaciado en subnivel producción MB

- **Nivel de Inyección de Ventilación:** Corresponde al nivel destinado a la *inyección de aire fresco* hacia las labores de producción y desarrollo del MB S04. Su función es presurizar el circuito de ventilación, garantizando la renovación de aire, la dilución de gases y material particulado, y el control térmico en frentes activos y zonas de tránsito. Integra galerías, compuertas y dispositivos de control de caudal que aseguran el sentido de flujo hacia los niveles inferiores y sectores de consumo. *Dicha cota de nivel se encuentra a 1.803 metros sobre el*

nivel del mar (AGD ND20S04 Rev.0, 2024).

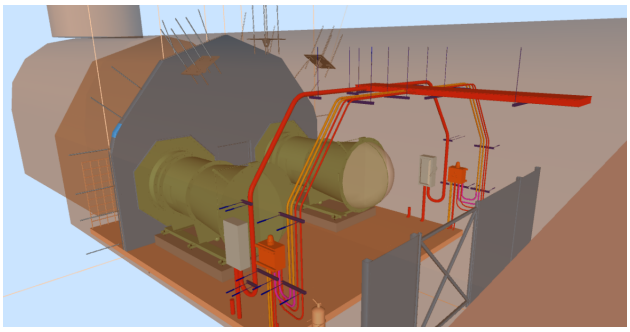


Figura 10: Ventilación de nivel de inyección, rescatada de plano 3D mina S04 NavisWorks

- **Nivel de Extracción de Ventilación:** Constituye el tramo del circuito destinado a la *evacuación de aire viciado* proveniente de producción, acarreo y áreas de servicio del MB S04. Su objetivo es colectar y conducir el flujo hacia chimeneas y/o estaciones de extracción, manteniendo gradientes de presión adecuados y segregación de corrientes para evitar recirculaciones. La configuración del subnivel considera *dos cotas operativas* interconectadas por rampas, entre **1.765 y 1.783 metros sobre el nivel del mar**, donde se disponen accesos y derivaciones para captación eficiente del aire usado (AGD ND20S04 Rev.0, 2024).

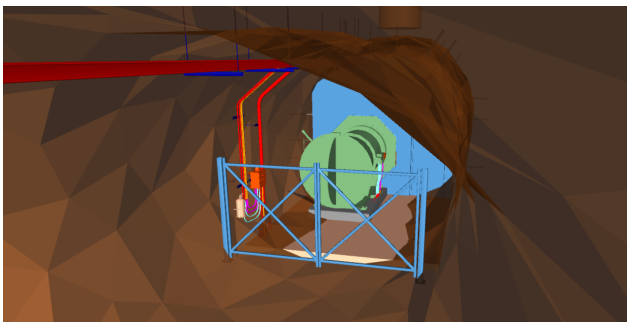


Figura 11: Ventilación de nivel de extracción, rescatada de plano 3D mina S04 NavisWorks

- **Nivel de Acarreo:** Acá se recibe el mineral colectado en los puntos de vaciado y lo recepcionan los buzones de carguío ubicados en dicho nivel, los cuales actúan como acumuladores temporales para optimizar el flujo y reducir la manipulación directa del mineral (Hustrulid

& Bullock, 2001). Dicha cota de nivel se encuentra dividida en dos sectores con diferencias de alturas: estos son el sector Este, en el cual abarca desde la cota de 1.784 metros sobre el nivel del mar; y el sector Oeste, en donde se abarca desde la cota de 1.765 metros sobre el nivel del mar.

- **Nivel de Chancado:** En el subnivel de Chancado, se realiza la reducción del tamaño de las rocas mineralizadas y así generar la calidad granulométrica adecuada para el posterior transporte del mineral a superficie a través de correas transportadoras. En el PMCHS, la sala se encuentra emplazada en la cota 1.745 m s. n. m. aproximadamente para macrobloque S04 (Sernageomin, 2021).

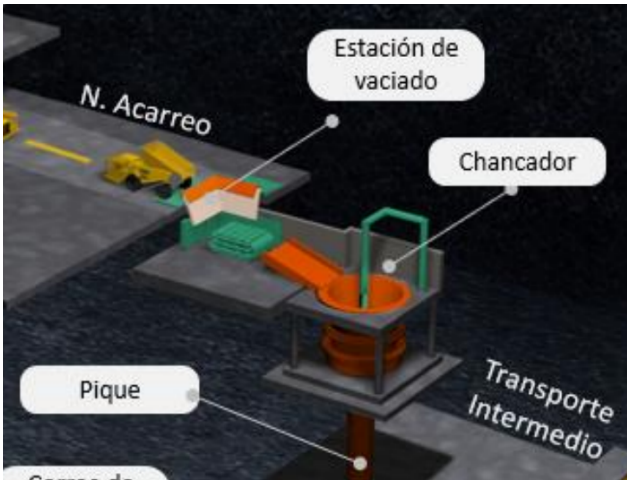


Figura 12: Chancador en nivel de Chancado, rescatado de documento AGD 20ND20S04 Rev.0

Estos niveles operativos permiten articular un **circuito de extracción continuo**, donde el nivel de hundimiento genera la fragmentación del mineral, el nivel de producción lo colecta mediante puntos de vaciado y buzones, el nivel de extracción lo canaliza hacia correas y piques, y finalmente el nivel de acarreo lo transporta hacia la superficie. Este esquema optimiza tiempos de traslado, mejora la eficiencia operativa y asegura condiciones seguras y controladas en la operación

subterránea (Sernageomin, 2021). A continuación se muestran los niveles subterráneos de forma más gráfica:

MB S04	
Niveles de cotas	*Metros sobre el nivel del mar*
1.- Nivel de hundimiento	1843
2.- Nivel de producción	1823
3.- Nivel de inyección ventilación	1803
4.- Nivel de extracción ventilación	1765–1783
5.- Nivel de acarreo	1784 (sector Este); 1765 (sector Oeste)
6.- Nivel de chancado	1745

Tabla 3: Desarrollo de horizontes y cotas (MB S04).

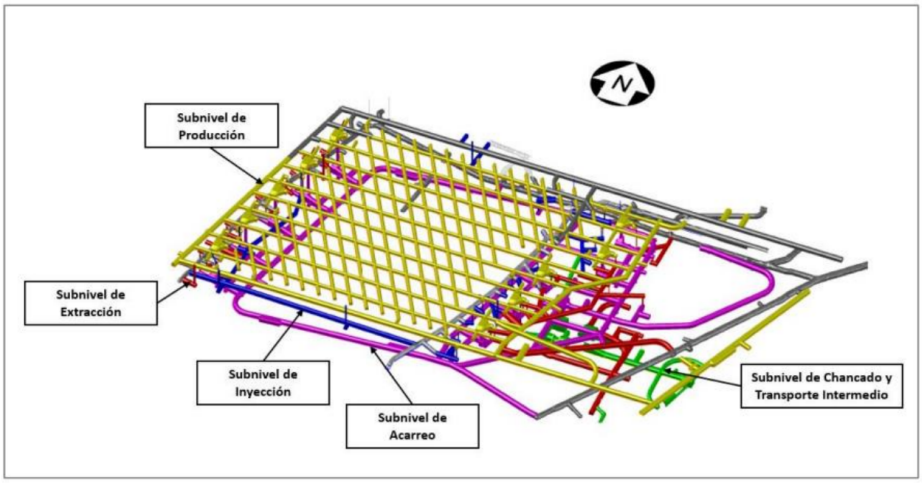


Figura 13: Subniveles subterráneos en macrobloque S04

4.4.1. Distribución y Priorización de los Macrobloques en Chuquicamata Subterránea

El PMCHS se organiza sobre un total de 15 macrobloques, distribuidos estratégicamente para asegurar la continuidad productiva y la eficiencia de la explotación subterránea. La planificación de su desarrollo responde a criterios técnicos, geomecánicos y logísticos, priorizando aquellos

bloques con mejores condiciones estructurales y mayor conectividad con la infraestructura existente (Sernageomin, 2021).



Figura 14: Proceso entre nivel de producción y nivel de acarreo en MB S04

El **MB-S04** se establece como el bloque prioritario y pionero dentro de este esquema, ya que es el primero en contar con un sistema de buzones en el Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea, siendo el primero en aplicar nuevas metodologías de blindaje de piques mediante andamios estructurales, en reemplazo del tradicional relleno con material marinas. Esta innovación permite mejorar la seguridad operativa, reducir tiempos de ejecución y optimizar la logística de retiro posterior del blindaje, cumpliendo estrictamente con los Estándares de Control de Fatalidades (ECF) definidos por la Vicepresidencia de Proyectos (Hoek, 2007).

4.4.2. Puntos de Vaciado (PVAC)

Los **puntos de vaciado** (PVAC) constituyen uno de los elementos más críticos dentro del *nivel de producción* en la Mina Subterránea Chuquicamata. Su función principal es recibir el mineral fragmentado proveniente del nivel de hundimiento y permitir que fluya de manera controlada hacia las galerías de extracción, garantizando la continuidad operacional y evitando interrupciones en la cadena productiva (Hustrulid & Bullock, 2001).

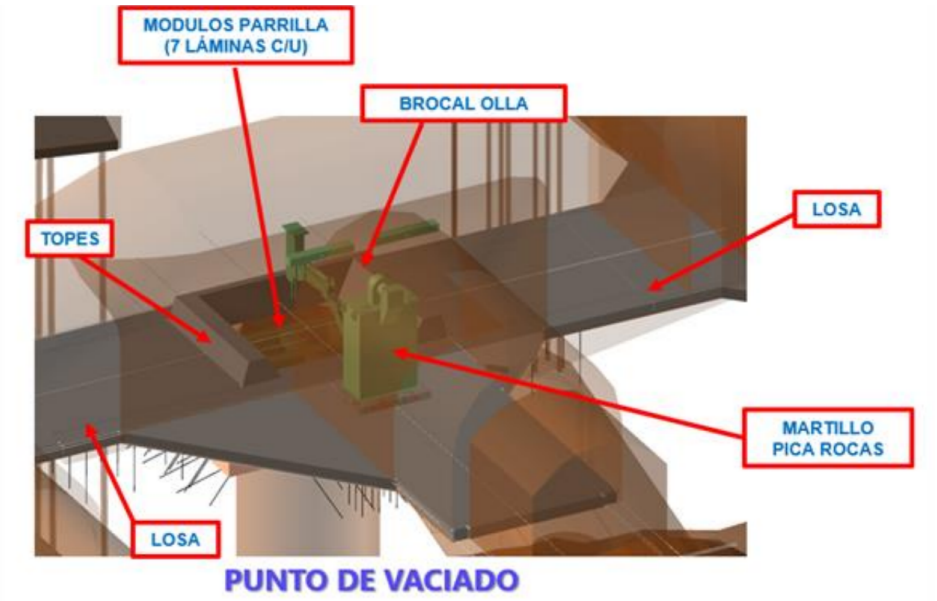


Figura 15: Detalle de elementos del punto de vaciado

En la práctica, el mineral fragmentado desciende por gravedad hacia la tolva de vaciado, donde equipos de gran capacidad, como LHD (*Load-Haul-Dump*) o cargadores subterráneos, retiran el material y lo transfieren hacia los buzones o correas transportadoras. Esta disposición garantiza un flujo constante y estable, minimizando fenómenos de segregación o acumulaciones irregulares que puedan afectar la continuidad productiva (Sernageomin, 2021).

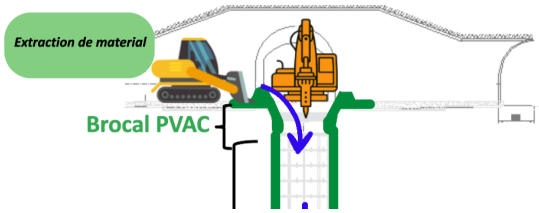


Figura 16: Flujo de traspaso de mineral por maquinaria minera en PVAC

4.4.3. Brocal PVAC

El brocal corresponde a la estructura superior que delimita la boca de un pique o punto de acceso vertical en minería subterránea. Su función principal es otorgar estabilidad y seguridad al

área de entrada, evitando derrumbes, caídas de material y riesgos para el personal que trabaja en las cercanías. Está construido en hormigón reforzado y se encuentra complementado con sistemas de protección, barandas y sellos que permiten resguardar tanto a los trabajadores como a los equipos que operan en torno al pique (Sernageomin, 2021).



Figura 17: Construcción brocal PVAC n.º 3, hormigonado

El brocal, en este sentido, constituye la interfaz entre la superficie o galería y las estructuras de transporte vertical, asegurando un tránsito seguro y controlado del mineral o de los equipos utilizados (Hoek, 2007).

4.4.4. Pique PVAC

Los puntos de vaciado constituyen elementos operativos esenciales en el nivel de producción de una mina subterránea. Estas estructuras están diseñadas para recibir el mineral fragmentado proveniente del hundimiento y permitir su flujo controlado hacia las galerías de extracción. Actúan como una “ventana de acceso” al mineral que desciende por gravedad desde la zona de hundimiento, lo cual permite a los equipos de carguío, como los LHD (*Load-Haul-Dump*), retirar el material y trasladarlo hacia los buzones o sistemas de transporte posteriores (Hustrulid & Bullock, 2001).

Su diseño debe garantizar un flujo continuo y estable, evitando fenómenos de segregación, atascamiento o acumulación excesiva de material, que podrían interrumpir la operación y representar riesgos de seguridad. Además, al reducir la necesidad de intervenciones manuales, los puntos de vaciado cumplen una doble función: mejorar la eficiencia productiva y proteger la integridad de los trabajadores (Laubscher, 2000).



Figura 18: Blindado interior pique PVAC n.º 3 de MB S04

4.4.5. Buzones

Los **buzones** son compartimentos subterráneos intermedios cuya función es almacenar temporalmente el mineral proveniente de los puntos de vaciado antes de ser trasladado hacia el sistema de transporte principal. Se encuentran principalmente en el *nivel de producción*, aunque en algunos diseños pueden conectarse al *nivel de extracción*, dependiendo del flujo y la logística de transporte adoptada por la mina (Sernageomin, 2021).



Figura 19: Camión minero siendo llenado por buzón de carguío en nivel de Acarreo mina El Teniente

Los buzones actúan como un “pulmón operativo” dentro del circuito de extracción subterránea, permitiendo acumular mineral cuando el flujo proveniente de los puntos de vaciado es superior a la capacidad de transporte disponible. Esto asegura que la operación no se detenga ante cambios momentáneos en la disponibilidad de equipos o interrupciones en el transporte, garantizando un flujo constante hacia la superficie (Sernageomin, 2021). La ubicación estratégica de los buzones dentro del macrobloque permite: Optimizar la eficiencia global del proceso de extracción y transporte; **Reducir** cuellos de botella en la cadena de producción subterránea; **Minimizar** la manipulación directa del mineral, disminuyendo riesgos de accidentes y exposición del personal a condiciones inseguras; **Facilitar** la coordinación entre distintos niveles operativos y el transporte hacia la superficie.

4.5. Estado Actual de la Obra Subterránea: Proceso de Extracción Macrobloque S04

El **macrobloque S04** se constituye como uno de los elementos centrales dentro del desarrollo de la Mina Subterránea Chuquicamata, representando el inicio de la transición operativa del rajo abierto hacia un esquema subterráneo de explotación a gran escala. Su relevancia radica en que es el primer MB en Chuquicamata que consta con un sistema de buzones. La cual actualmente, la obra se encuentra en *fase de construcción de infraestructura crítica*.

Elemento	Descripción
Túneles de acceso y galerías de producción	Se desarrollan los principales túneles de conexión, tanto horizontales como inclinados, que permiten articular los distintos niveles del macrobloque. Son fundamentales para el transporte de equipos, materiales y personal, así como para la ventilación y evacuación de emergencias (Sernageomin, 2021).
Puntos de vaciado	De los diez planificados, tres se encuentran en construcción avanzada, mientras que los siete restantes están en etapas de excavación y habilitación. Su finalización es esencial para iniciar pruebas piloto de extracción y garantizar un flujo seguro y controlado del mineral (Hustrulid & Bullock, 2001).
Buzones de almacenamiento intermedio	Solo uno de los diez buzones proyectados presenta un avance cercano a su finalización, mientras que los demás se encuentran en desarrollo. Su correcta instalación asegura la regulación del flujo de mineral desde los puntos de vaciado hacia los sistemas de transporte subterráneos (Laubscher, 2000).
Sistemas de sostenimiento y acuñadura	Se implementan obras de soporte estructural para garantizar la estabilidad geomecánica del macizo rocoso, protegiendo túneles, galerías y puntos de vaciado de posibles fracturamientos o colapsos (Sernageomin, 2021).
Infraestructura complementaria	Se desarrollan redes de ventilación, iluminación, drenaje y transporte, necesarias para el funcionamiento seguro y eficiente de las operaciones subterráneas (Hoek, 2007).

Tabla 4: Componentes principales en la infraestructura subterránea del macrobloque S04

En términos de progreso, el macrobloque S04 alcanza aproximadamente un **10 % del avance total proyectado**. Este porcentaje refleja que, aunque se ha avanzado significativamente en la

preparación de la infraestructura, aún resta un desarrollo considerable para contar con la red operativa completa que permitirá iniciar la extracción productiva de mineral. La planificación de las obras sigue un enfoque **modular y escalonado**, de manera que cada elemento constructivo —túneles, buzones, puntos de vaciado y galerías de transporte— se complete de forma coordinada, asegurando la integridad geomecánica y la eficiencia de la operación futura (Sernageomin, 2021).

El **inicio de la explotación productiva** del MB-S04 se proyecta para septiembre del año 2026, momento en el cual se espera contar con: **Puntos de vaciado** operativos y funcionales para recibir el flujo de mineral desde el nivel de hundimiento; **Buzones** preparados para almacenar y regular el mineral antes de su transporte hacia la superficie; **Túneles de acceso** y **galerías de producción** completamente habilitados y seguros para el desplazamiento de equipos y personal; **Sistemas de ventilación**, iluminación, drenaje y monitoreo geomecánico en pleno funcionamiento (Laubscher, 2000).

4.6. Seguridad y su Importancia en CODELCO

La seguridad en las operaciones mineras de CODELCO constituye un principio estratégico que trasciende la mera normativa legal, dado que asegura la sostenibilidad de la producción, protege la integridad de los trabajadores y mantiene la eficiencia operacional en ambientes de alta complejidad geotécnica y tecnológica. En el contexto de la minería subterránea, los riesgos son inherentes debido a la interacción constante entre el personal, las maquinarias de gran tonelaje, el transporte de mineral y las condiciones geológicas de los macizos rocosos (Sernageomin, 2021).



Figura 20: Guía de Controles Críticos SSO y Riesgo Crítico n.º 16 Caída a pique, operacionales CODELCO

CODELCO ha desarrollado un sistema integral de gestión de seguridad que abarca todas las etapas de sus operaciones, desde la planificación y diseño de proyectos, hasta la ejecución, supervisión y control de los procesos productivos. Este sistema incluye herramientas proactivas, como los **Análisis de Riesgos en la Tarea (ART)**, que permiten identificar los peligros específicos de cada actividad antes de su ejecución, evaluar su criticidad y establecer medidas preventivas que garanticen la seguridad del personal y la continuidad operativa (Sernageomin, 2021).

Adicionalmente, la corporación incorpora tecnologías avanzadas de monitoreo, sistemas de alerta temprana y protocolos de trabajo seguro que buscan minimizar la exposición a riesgos críticos. La implementación de estas medidas asegura que cada operación, ya sea constructiva o productiva, cumpla con los estándares internacionales de seguridad industrial y protección laboral, fomentando una cultura de prevención y responsabilidad (Hustrulid & Bullock, 2001).

4.6.1. Estándares de Control de Fatalidad (ECF) y los Riesgos Críticos en CODELCO

Los **Estándares de Control de Fatalidad (ECF)** constituyen la columna vertebral de la política de seguridad en CODELCO. Estos estándares fueron diseñados para prevenir accidentes fatales mediante la identificación y control de los riesgos críticos que presentan mayor probabilidad de generar incidentes mortales. Su desarrollo se sustenta en la experiencia histórica de la compañía, el análisis de incidentes ocurridos en minas chilenas y extranjeras, y la aplicación de buenas prácticas internacionales (Sernageomin, 2021).

En total, CODELCO ha definido **22 riesgos críticos (RC)** que requieren atención prioritaria. Estos incluyen: caídas de altura, atrapamientos por maquinaria, colapsos de macizo rocoso, incendios, exposición a gases tóxicos y accidentes eléctricos. Entre estos riesgos, el **RC n.º 16: Riesgo de caída a pique** se destaca por su alta peligrosidad en labores subterráneas, dado que implica la posibilidad de que un trabajador caiga desde alturas considerables, como piques, chimeneas de vaciado o galerías verticales, generando consecuencias potencialmente fatales (Sernageomin, 2021).

Los ECF establecen procedimientos que deben cumplirse de manera estricta antes, durante y después de cada actividad minera. Esto incluye inspecciones periódicas, verificación de equipos de protección personal, señalización de áreas críticas y monitoreo constante del cumplimiento de los protocolos de seguridad (Hoek, 2007).

4.6.2. Riesgo Crítico n.º 16: Riesgo de caída a pique

El **RC n.º 16** representa un riesgo crítico debido a la alta probabilidad de accidentes mortales durante la construcción, habilitación y mantenimiento de puntos de vaciado y estructuras

subterráneas verticales. La exposición a este riesgo se ve incrementada por el trabajo en altura, la proximidad a pozos profundos y la dinámica operativa de transporte de mineral en áreas de hundimiento (Hustrulid & Bullock, 2001).

Para mitigar este riesgo, CODELCO ha implementado un conjunto de barreras preventivas y medidas complementarias:

Elemento de seguridad	**Descripción**
Loros metálicos y barreras físicas	Impiden el acceso no autorizado a áreas de alto riesgo, asegurando que solo personal capacitado y autorizado pueda ingresar (Sernageomin, 2021).
Arneses de seguridad y cuerdas de vida	Todo trabajador que opere cerca de un pique debe estar asegurado mediante sistemas de retención con cuerdas de acero y puntos de anclaje estratégicos, reduciendo la probabilidad de caída por deslizamientos o pérdida de equilibrio (Hustrulid & Bullock, 2001).
Uso de material marina para tapar los puntos de vaciados	El uso de material marinas es una de las barreras sólidas para seguridad preventiva de tapados de puntos de vaciados. Tradicionalmente se ha utilizado ello para evitar accidentes fatales ante caída en pique de punto de vaciado (Chitombo, 2010).

Tabla 5: Medidas de seguridad aplicadas en el control de riesgo crítico n.º 16.

4.7. Proyectos y Metodologías para Estado Actual de Construcción y Llenado de Puntos de Vaciado

El proceso de construcción y preparación de los puntos de vaciado en la Mina Subterránea Chuquicamata constituye una etapa crítica dentro de la operación subterránea, debido a que, a momento de realizar retiro de material marinas dentro de su proceso constructivo, crea una gran incertidumbre e incerteza en plazos constructivos debido a posibles atascamientos y riesgos de polución de material. Estos puntos representan las estructuras mediante las cuales el mineral fragmentado por el hundimiento de los macrobloques es recolectado y canalizado hacia los sistemas

de transporte y chancado primario. La eficiencia, seguridad y continuidad de esta etapa dependen directamente de la metodología utilizada para la construcción y llenado de dichos puntos.

Históricamente, CODELCO ha utilizado métodos tradicionales basados en el material marinas, consistente en roca fragmentada generada durante las excavaciones subterráneas, para rellenar temporalmente los piques y buzones en construcción. Sin embargo, el constante desarrollo tecnológico y los avances en seguridad industrial han llevado a nuevas propuestas de metodologías, como el uso de torres de andamios en Chuquicamata, que permiten una mayor eficiencia constructiva, reducción de riesgos y optimización de los recursos empleados (Chitombo, 2010).

4.7.1. Material Marinas

El **material marinas** corresponde a los excedentes de roca y material fragmentado generados durante las excavaciones subterráneas de los macrobloques. Este material se ha utilizado tradicionalmente para rellenar los puntos de vaciado durante las fases constructivas, cumpliendo la función de barrera temporal y estabilización de los piques antes de iniciar la extracción productiva.

Según el *Decreto 132 que aprueba el Reglamento de Seguridad Minera* del Ministerio de Minería, en su Artículo 593, se define específicamente:

> "Para todos los efectos de este Reglamento, las palabras o frases que se indican a continuación, tendrán el siguiente significado: **a) Minería:** 39. Marina: Roca o mena fracturada, por los explosivos, en un disparo o tronadura; la marina puede tener valor comercial."

Esta definición formaliza la naturaleza del material marinas y destaca que, aunque se genera como un subproducto de la explotación minera, puede tener valor comercial, dependiendo de su

composición y ley (Decreto 132 que aprueba el Reglamento de Seguridad Minera, 2002).



Figura 21: Extracción de material marinas al momento de realizar excavación de túnel subterráneo

El principal uso de marinas radica en su disponibilidad inmediata dentro de faena, debido a que esta es su consecuencia de procesos de perforación subterránea a momento de realizar, por ejemplo, túneles. No obstante, esto ha incurrido en que haya sido utilizado históricamente como un método tradicional de llenado de puntos de vaciados en procesos constructivos subterráneos de obras civiles. A pesar de ello, el uso de marinas presenta desafíos importantes.

Aspecto	**Limitación identificada**
Logística y transporte	El manejo de grandes volúmenes de material implica la utilización intensiva de equipos de acarreo y transporte, lo que incrementa el consumo de horas-hombre y recursos operativos (Chitombo, 2010).
Control de fragmentación y homogeneidad	La heterogeneidad del material puede dificultar la compactación uniforme, comprometiendo la estabilidad del relleno y generando potenciales riesgos geomecánicos (Sernageomin, 2021).
Seguridad del personal	La manipulación del material expone al personal a polvo, riesgo de derrumbes y accidentes durante el carguío, transporte y colocación del material (Hustrulid & Bullock, 2001).

Tabla 6: Limitaciones principales del uso de material marinas en la construcción de puntos de vaciado (PVAC)

4.7.2. Material Andamios

Los **andamios modulares** constituyen una solución emergente que complementa o reemplaza el uso de marinas en el llenado temporal de puntos de vaciado como nueva propuesta en Chuquicamata. Estos consisten en estructuras metálicas prefabricadas, que pueden ensamblarse, desmontarse y reutilizarse en distintos sectores de la mina. Su implementación busca optimizar la seguridad, reducir la logística y garantizar la estabilidad de los piques durante las fases constructivas (Chitombo, 2010).

Entre los beneficios más relevantes de los andamios se encuentran:

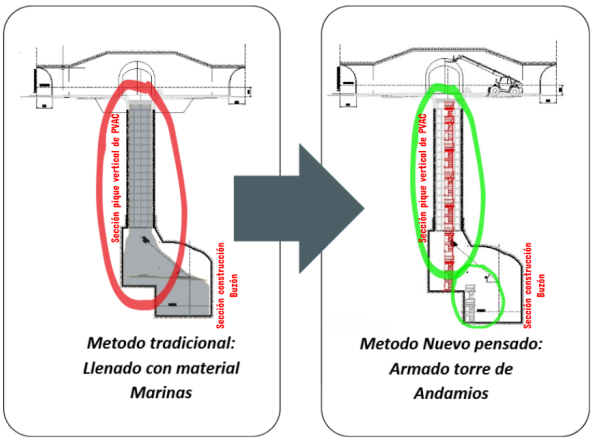
Aspecto	**Beneficio identificado**
Reducción de tonelaje y costos logísticos	Al no depender del transporte de grandes volúmenes de roca, se disminuye la carga sobre equipos de acarreo y se optimizan las horas-hombre necesarias (Sernageomin, 2021).
Control estructural preciso	Los andamios permiten configurar el relleno según las dimensiones exactas de los buzones y puntos de vaciado, asegurando estabilidad y seguridad durante la construcción (Laubscher, 2000).
Reutilización y adaptabilidad	Estas estructuras modulares pueden trasladarse a diferentes puntos de la mina, aumentando la eficiencia operativa y reduciendo el impacto ambiental al evitar la generación excesiva de marinas (Hustrulid & Bullock, 2001).
Mayor seguridad del personal	El uso de andamios minimiza la exposición de los trabajadores a riesgos de caída y contacto con material inestable, favoreciendo entornos más controlados (Chitombo, 2010).

Tabla 7: Beneficios principales del uso de andamios en la construcción de puntos de vaciado (PVAC).

5. Solución propuesta e hipótesis

En la etapa constructiva del macrobloque S04 de la Mina Subterránea Chuquicamata, la ruta crítica **PVAC–pique–buzón** ha sido históricamente ejecutada con el *tapado temporal mediante material marinas* como barrera de seguridad complementaria a los Estándares de Control de Fatalidad (ECF). Sin embargo, esta práctica presenta **externalidades operacionales y ambientales** que afectan directamente la seguridad y la predictibilidad del cronograma: (i) incremento de polvo en un entorno confinado con altas temperaturas; (ii) *colgaduras o atascos* por compactación y humedad del material, que obligan a destapes o tronaduras adicionales; (iii) alta variabilidad en plazos debido al remanejo y la logística de transporte; y (iv) sobrecostos directos e indirectos derivados de estos factores.

Hipótesis central. La sustitución del tapado con marinas por una **solución modular de andamios** (plataformas de trabajo y base hermética ajustada al diámetro del pique) permite **reducir la exposición a riesgos críticos y la variabilidad operacional** en la ruta PVAC–pique–buzón. Esto se lograría al eliminar el riesgo de colgaduras, disminuir el polvo levantado, mejorar el orden y la limpieza del frente, y habilitar montajes y desmontajes controlados. Como consecuencia esperada, la alternativa con andamios debiese entregar **mayor certidumbre de plazos y contención de costos**, manteniendo el alineamiento con los ECF vigentes.



	Relleno con Marina	Relleno de Andamios
Riesgos	Polvo perjudicial, exposicion trabajadores, se peude tapar el pique con el material al querer retirarlo	Sin riesgo de colgadura de pique (pique no se llena)
Remanejo de marinas	~ 5.500 ton (pique + buzón)	se puede llegar a pesar 2000 Toneladas menos!!
Condiciones ambientales (t° y polución)	puede afectar por propiedades del material	no es tan volatil ambientalmente como Marinas
Tiempo	Más tardanza de construccion	Se puede llevar a cabo en menos tiempo
Simultaneidad de trabajos (brocal y buzón)	No aplica	Si permite por modelaje de montaje

Figura 22: Cambio de metodología de marinas a andamios propuesta

Preguntas de investigación:

- ¿En qué medida la alternativa con andamios mejora el **control de exposición** (ECF) y las **condiciones del frente** (polvo, calor, orden) frente al método tradicional con marinas?
- ¿La propuesta permite reducir la **variabilidad operativa** (atascos, destapes, interferencias) y habilitar la **simultaneidad** segura de actividades constructivas (p. ej., brocal y preparación de buzón)?
- ¿Qué **efectos cuantificables** se observan en términos de horas-hombre (HH), tiempos logísticos, consumo de materiales y costos (directos e indirectos) al comparar ambas alternativas en S04?
- ¿La solución es **escalable y replicable** en otros PVAC de los macrobloques S04 y S05 sin comprometer los estándares de seguridad de CODELCO?

Se espera que el uso de andamios **priorice la seguridad**, al reducir la exposición del personal y mejorar el ordenamiento del frente, **disminuya** la percepción de polvo y temperatura, **evite colgaduras** en el pique y aporte **previsibilidad** al cronograma. Con ello, se busca minimizar el

remanejo de material, reducir intervenciones no productivas y mejorar el desempeño económico del tramo PVAC–pique–buzón.

6. Condiciones de Borde Técnicas y contextos considerados

- En los contextos de traslado de marina para el proceso de llenado de buzón y PVAC propiamente tal, se ha realizado mediante traslado de material marina sucia, siendo esta considerada de esa forma como aquella que no proviene directamente de su extracción ante perforaciones de pistola hidráulica, por lo que el material utilizado fue de aquella que se recolectó del sector propiamente tal, debido a que el contrato constructivo no estipulaba el uso de material marinas limpia como tal, por lo que se tuvo que reutilizar aquella que se encontraba en el sector ante procesos logísticos y material utilizado. Esto ha implicado una mayor tendencia en que el material marinas quede atascado al momento de proseguir con su retiro.

- Chuquicamata, a comparación de divisiones como El Teniente y Andina, al no considerarse una zona en transición sísmica por su tipo de rocosidad interna, geología y ubicación. Se pudo estipular a comienzo de contrato el iniciar el plan de construcción de torre de andamios hasta el tope de pique. Por lo que debido a ello su construcción pudo ser posible ante lo estipulado en reunión con Gerente de Seguridad Minera, quien aprobó el proyecto evaluado.

- los dias considerados, constaran de 24 Horas, horas de turno completo, no son las horas eficaces por día (las horas eficientes son aquellas en donde no se cuentan los tiempos estimados a procesos logísticos como por ejemplo transporte o conducción, por día rondan en unas 6 horas de 12 por turno).

- Los datos teóricos temporales se han sacado de un estimado aproximado de los días realizados de proyectos anteriores constructivos, los cuales se utilizaron como referencia para el desglose teórico para el MB S04, no obstante los datos considerados para el cálculo tem-

poral real en días proviene para el material marinas de lo estipulado en el proceso real de PVAC-Buzón n.º 3 realizado y para andamios, de la última NDC n.º 16 Rev2 aprobada.

- Hasta la fecha se consta con 3 PVACs construidos con incorporación de metodología clásica de material marinas (PVAC n.º 5, n.º 3, n.º 4) y 2 recientemente finalizando el retiro de material andamios con nueva metodología propuesta (PVAC-Buzón n.º 2, n.º 1), por lo que este estudio apunta a una propuesta de mejora con nueva metodología integrada.

7. Metodología

Antes de proceder con la estimación y el análisis de datos y recursos de cada propuesta de *llenado de punto de vaciado* (análisis cuantitativo), es fundamental realizar un análisis detallado de los procedimientos, pasos a seguir y procesos en su totalidad para tener claridad sobre las acciones a ejecutar; el *confeccionamiento estructural presupuestario*; los factores importantes a considerar para variables comparativas; y los riesgos involucrados, antes de empezar a desarrollar cálculos y trabajo de datos. Además, se realizará un estudio presencial para considerar dimensiones, factores clave y organización estructural acorde con las medidas establecidas por protocolos mineros.

7.1. Proceso de estructuración y logística de procesos en Mina Chuquicamata Subterránea

Para garantizar la correcta carga y preparación de estimación de métodos, primero se debe considerar el flujo o ciclo a seguir dentro del proceso productivo de la Mina Chuquicamata Subterránea de CODELCO:

- Proceso constructivo con incorporación de llenado de material marinas.
- Proceso constructivo con metodología de torre de andamios.

7.2. Proceso constructivo con incorporación de llenado de material marinas integrado

Al momento de efectuarse el proceso *constructivo tradicional* referente a la construcción de puntos de vaciado y buzones, primero se llena con material marinas en el sector de buzón para,

de esa forma, mediante la metodología *Raise Borer*, con maquinaria específica, realizar perforación vertical desde el buzón hasta el sector de pique, tal como se muestra en la figura:



Figura 23: Perforación vertical minera Raise Borer, ejemplificación de accionamiento

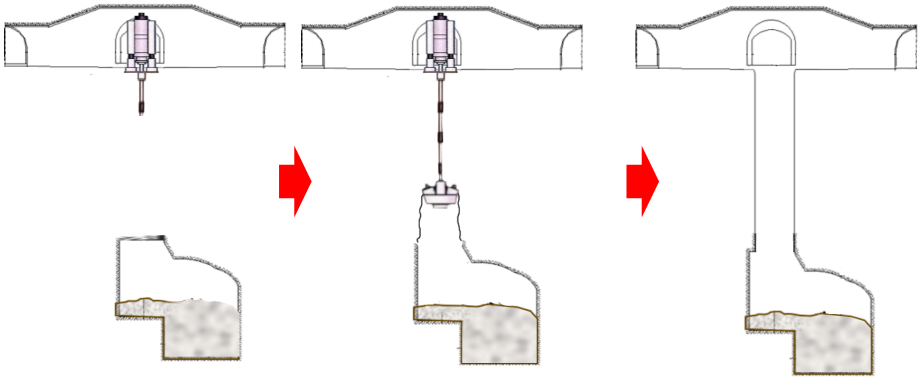


Figura 24: Construcción de pique mediante proceso *Raise Borer* con maquinaria especializada

Una vez realizada dicha acción, se genera en el punto de vaciado un anillado y blindado del pique con hormigonado, para contrarrestar los choques con material arrojado por vaciado. Por ello, el punto de vaciado contará con alturas y diámetros diferentes, como se muestra en la siguiente tabla:

Es de suma importancia considerar que cada uno de los 7 PVAC a evaluar contará con especificaciones y diseños personalizados. Por lo tanto, para dar inicio a la construcción minera de puntos de vaciado (PVAC), se deben seguir distintos pasos. No obstante, se deben tener en cuenta las medidas en altura para *PVAC + buzón*:

Ubicación	Altura sector superior PVAC respecto al mar (m)	Altura sección inferior buzón respecto al mar (m)	Altura pique PVAC + buzón (m)
PVAC-PD-S04-02 y BZD-002	1,820.25	1,770.02	**50.2**
PVAC-PD-S04-01 y BZD-001	1,819.94	1,769.40	**50.4**
PVAC-PD-S04-10 y BZD-010	1,819.82	1,787.27	**32.5**
PVAC-PD-S04-09 y BZD-009	1,820.12	1,787.57	**32.5**
PVAC-PD-S04-08 y BZD-008	1,819.97	1,787.42	**32.5**
PVAC-PD-S04-07 y BZD-007	1,819.68	1,787.13	**32.5**
PVAC-PD-S04-06 y BZD-006	1,820.35	1,786.81	**33.5**

Tabla 8: Alturas de torre de pique según ubicación y niveles.

De esta forma, el proceso de construcción por cada PVAC será variable y único. A continuación se muestra la metodología tradicional paso a paso para el montaje estructural del sector crítico a evaluar, sumado a su completitud con llenado y retiro de material marinas:

7.2.1. Blindaje de pique con descenso

Por cada PVAC (punto de vaciado) se realizará un blindaje previo de su pique, con un anillado de la sección vertical a lo largo del pique para generar el blindaje y hormigonado del pique de vaciado, reduciendo significativamente reverberaciones y conflictos con terreno al descubierto, de modo que el material pueda chocar y caer por dicho espacio. No obstante, el personal que realizará dicho procedimiento deberá descender hasta llegar a lo más bajo del pique vertical recién perforado en el punto de vaciado, hasta el material marinas en el sector de buzón.

Una vez anillado el pique, deberá hormigonarse para, finalmente, blindarlo y proseguir con los siguientes procesos, como se muestra en la figura siguiente:

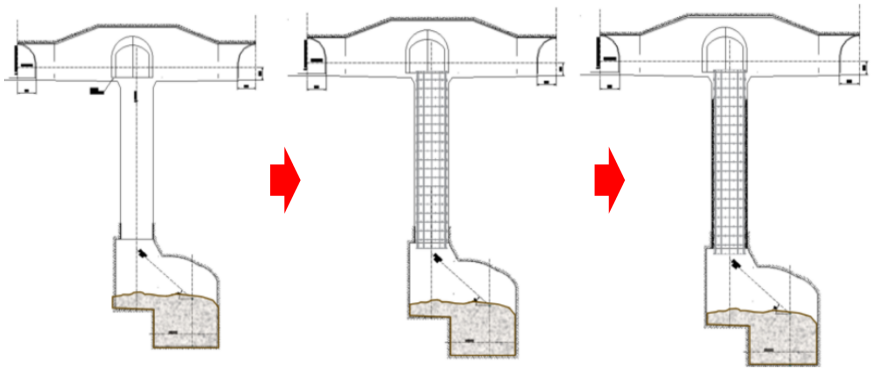


Figura 25: Metodología actual de blindado de piques PVAC

7.2.2. Minería previa a realizar en pique PVAC

Luego del respectivo blindaje en el punto de vaciado, se debe realizar un llenado con material marinas que abarque todo el volumen cilíndrico dentro del pique del punto de vaciado, para evitar posibles accidentes y que quede lleno con dicho material a lo largo de la sección estudiada. Sin embargo, el material incorporado en este procedimiento será aparte del que ya está en la sección de buzón, por lo que aportará un tonelaje extra, conformando una sección cubierta por material marinas para PVAC + buzón. Una vez llegada a la coronilla del pique ya blindado con material marinas, en el sector superior se debe realizar un corte y retiro de los anillos para continuar con la construcción de un brocal hormigonado.

Posteriormente, se ejecuta el procedimiento de “destase” (apertura superficial) para una debida limpieza de área y continuar con los siguientes pasos, tal como se muestra a continuación con mayor claridad el paso a paso de minería como relleno de material marinas en cada PVAC:

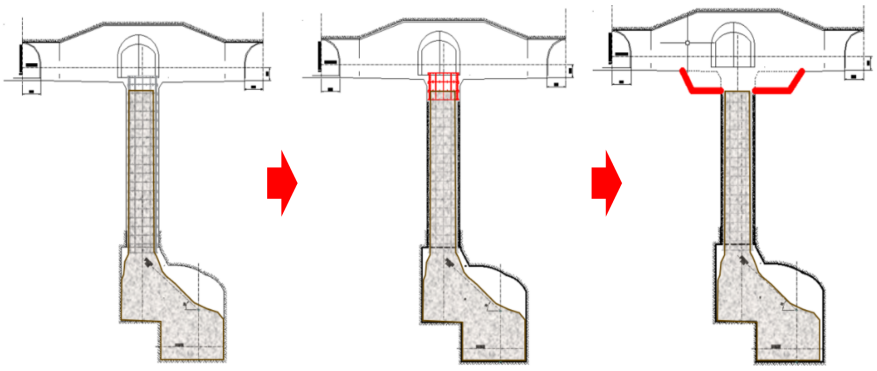


Figura 26: Procedimiento tradicional de relleno de pique con marinas, corte y retiro de anillado en coronilla de PVAC, destase y limpieza

7.2.3. Construcción de brocal

Siguiendo la metodología tradicional, se continúa con la construcción de brocal en el sector superior de la coronilla ya limpiada, para que las maquinarias encargadas del transporte de mineral recolectado del nivel de hundimiento (palas industriales mineras) tengan referencia espacial sobre dónde depositar el material. Asimismo, se incorpora una parrilla filtradora en el sector superior de la coronilla para evitar que material arrojado quede atascado en el largo del pique del PVAC, como se muestra a continuación. En caso de que el material sea demasiado grande y quede atrapado en la parrilla filtradora, se utilizará una maquinaria minera llamada “pala pica roca”, que se encarga de machacar dicho material rocoso para que pueda desplazarse a lo largo del pique del PVAC.

A continuación se visualiza con mayor claridad el proceso constructivo a seguir y la parrilla filtradora:

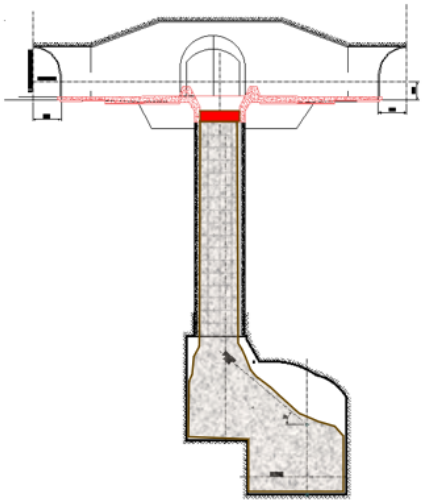


Figura 27: Construcción de brocal con instalación de parrilla

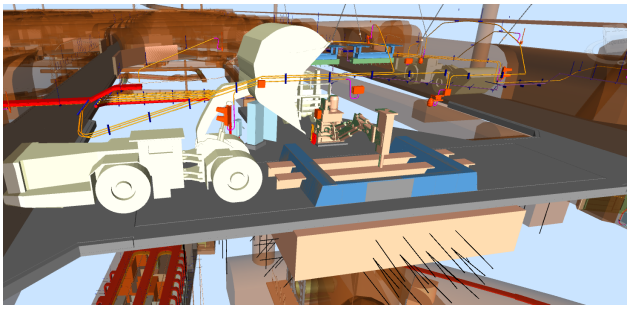


Figura 28: Parrilla clasificadora en coronilla PVAC 5 rescatada de plano 3D Naviswork de MBS04

7.2.4. Proceso de retiro de material marinas de PVAC, tanto en pique como en buzón llenados previamente

Luego de los procesos mencionados, una vez realizado el método de llenado con marinas y finalizados los procesos de obras civiles (tales como pavimentación de sector), el retiro de material marinas será descendente, desde el sector inferior de buzón.

Este proceso es complejo por diversos riesgos, demoras y congestión vehicular subterránea, y por las condiciones del material marinas, que pueden generar incertidumbre en los plazos de retiro ante posibles atascamientos (“enllamparse”) dentro de los piques blindados. Además, se debe

contemplar una gran cantidad de tonelaje interior a retirar, tal como se muestra a continuación:

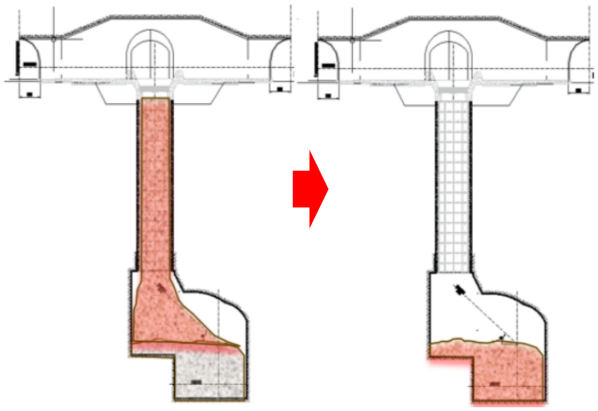


Figura 29: Retiro de marinas en pique de PVAC y retiro de marinas en buzón

Otro riesgo a considerar es la necesidad de múltiples tronaduras, que podrían provocar el desprendimiento de alguno de los anillos interiores del pique. Asimismo, el proceso de extracción de material marinas puede provocar polución en trabajos aledaños y aumento de riesgo para la salud de los trabajadores.

7.2.5. Construcción de buzón

Una vez retirado el material marinas, se puede comenzar la construcción del buzón inferior para depositar el mineral en camiones de carga y proseguir con el ciclo hasta llegar al nivel de correas transportadoras. Considerar toda la construcción minera desde el armado de PVAC hasta la creación de buzón implica un amplio plazo de proyecto, con múltiples factores asociados e incertidumbres por el comportamiento del material.

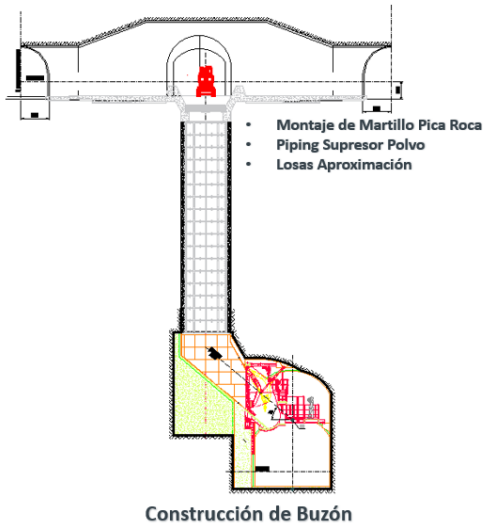


Figura 30: Inicio de construcción de buzón en nivel de acarreo

El proceso completo —desde el armado de PVAC hasta la creación de buzón— evidencia un amplio plazo de proyecto, vinculado a múltiples riesgos asociados, gran tonelaje a transportar y frecuentes retrasos por el retiro de material marinas debido a sus condiciones. Además, no se realiza un único punto de vaciado, sino que este proceso se extrapola a cada uno de los requeridos por la construcción subterránea del macrobloque; en este caso, la evaluación considera los 7 restantes bajo macrobloque S04. Por lo tanto, el plazo, el tonelaje a transportar, la polución y los riesgos se incrementan considerablemente. Asimismo, CODELCO colabora con empresas contratistas para llevar a cabo la metodología.

7.3. Proceso constructivo con metodología de torre de andamios integrada

Al igual que en la metodología anterior, antes de evaluar la estructuración de tonelaje, financiamiento y tiempo implicado en la metodología tradicional con uso de marinas, la metodología de andamios también relacionará directamente todos los pasos a seguir con los respectivos estudios de riesgos, tonelaje implicado y tiempo estimado, así como el costo estimado para su solvencia económica. Por ello, los pasos para el montaje estructural, armado y desmontaje de andamios serán los siguientes:

7.3.1. Blindaje de pique con descenso

Al igual que en la metodología de marinas, se comenzará por un blindaje previo del pique, con un anillado de la sección vertical a lo largo del pique para generar un blindaje y hormigonado de dicha sección vertical, reduciendo significativamente reverberaciones y conflictos que podrían ocurrir al no blindar. El personal que ejecuta este procedimiento deberá descender hasta llegar a lo más bajo del pique vertical recién perforado en el punto de vaciado, hasta el material marinas en el sector de buzón. Una vez anillado el pique, se hormigona y queda blindado, como se muestra en la figura:

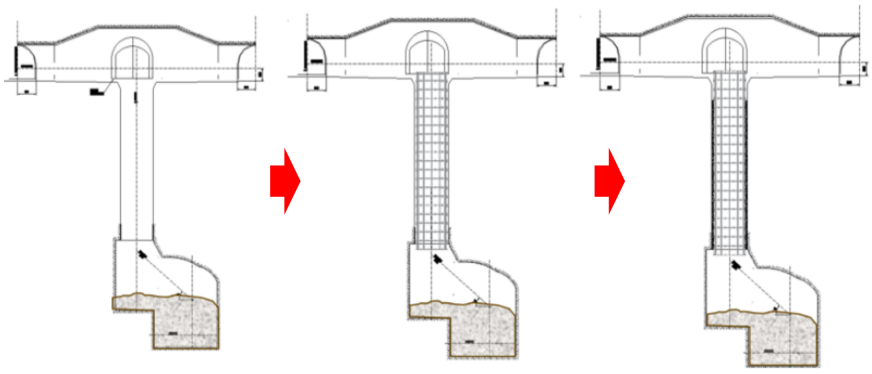


Figura 31: Metodología de llenado de buzón con marinas y blindado de pique

7.3.2. Retiro de marinas en buzón

Una vez blindada la sección, se debe proseguir con el retiro de material marinas que se encuentra en la sección de buzón, utilizado para el procedimiento inicial de *Raise Borer*, y luego realizar la limpieza del piso donde estaba ubicado el material para comenzar el armado de la torre de andamios según corresponda. El retiro de material marinas se realiza desde el sector de buzón con maquinarias especiales, tal como en la metodología de marinas.

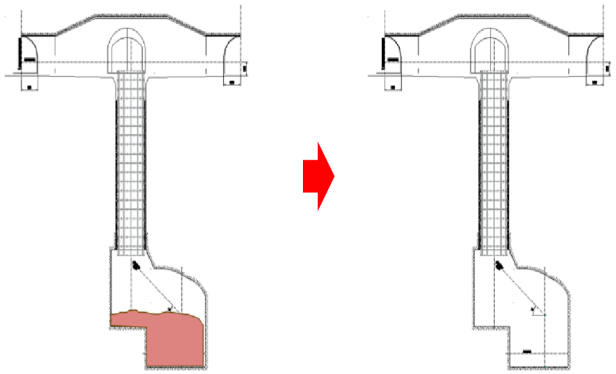


Figura 32: Retiro de material marinas luego de blindado de pique

7.3.3. Armado de torre de andamios

Tras la limpieza del suelo, se inicia el armado de la torre de andamios. Tal como se muestra en la figura, se comienza por el retiro del anillado de la coronilla del pique del PVAC mediante una maquinaria especial para su levantamiento. Una vez retirado el sector superior anillado, se construye la torre de andamios desde el sector inferior de buzón hasta la altura del tronco del pique.

La construcción de la torre de andamios dentro del pique blindado se realiza según el diseño establecido por el proveedor de andamios Layher. En la zona de coronación (sector de término de la torre), se debe confeccionar una **base hermética**. Esta plataforma también fue diseñada por la

empresa Layher de acuerdo con las dimensiones del pique. Para ello, se retiran los anillos sobrantes instalados al momento de blindar el vertical del punto de vaciado y se da paso a la construcción del brocal.

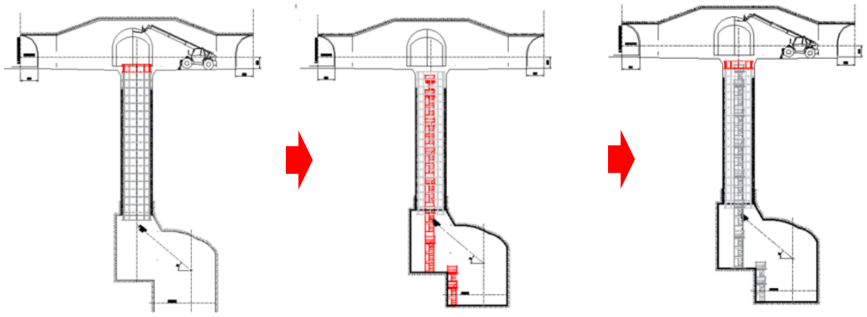


Figura 33: Armado y desarmado de torre de andamios

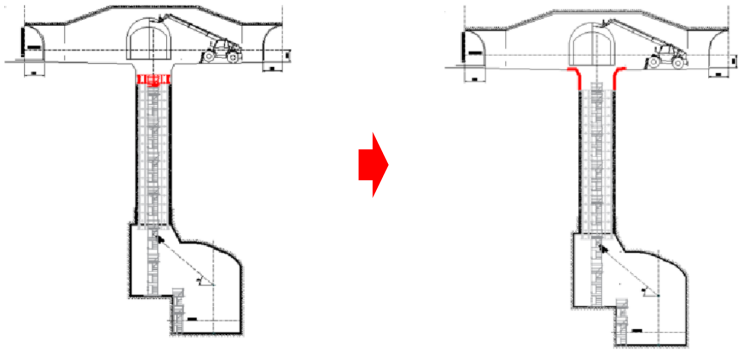


Figura 34: Anillado en coronilla y comienzo de construcción de brocal

7.3.4. Construcción de brocal (hasta parrilla)

Luego del armado de la torre de andamios, se realizará la construcción de un brocal hormigonado en la sección superior del PVAC para, posteriormente, despejar el sector de residuos de procedimientos anteriores y comenzar con el desmontaje de andamios, dando pie a la construcción del buzón.

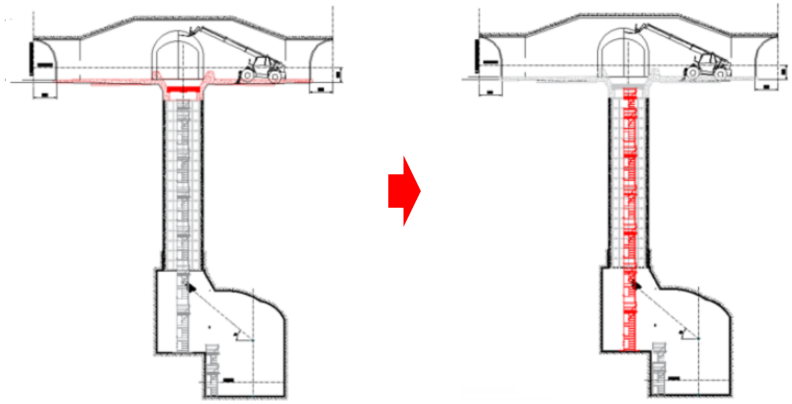


Figura 35: Construcción de brocal y retiro de Torre de Andamios

7.3.5. Construcción de buzón

Una vez retirada la torre de andamios, se comenzará con la construcción del buzón para culminar el proceso de construcción. En paralelo, se realizarán los detalles necesarios para finalizar los procedimientos de la metodología. No obstante y a diferencia de la metodología con material marinas integrado, como la sección de buzón se encontrará libre de material marinas al momento de realizar su construcción con metodología de torre de andamios incorporada, la sección en el punto de acarreo a pavimentar, al quedar libre a comparación de su metodología tradicional, se puede realizar de manera simultánea su pavimentación y labores paralelas, siendo así posible la reducción de casi 2 meses de trabajo en construcción de buzón de carguío ya que, al momento de realizarse el paso de construcción de brocal, se puede adelantar dicho proceso. Cosa que no es posible con la metodología tradicional, ya que dicha sección se encuentra llena de material marinas y se debe realizar sí o sí luego de limpiar completamente dicho volumen ocupado con metodología tradicional. Lo cual es una gran ventaja al momento de evaluar plazos constructivos.

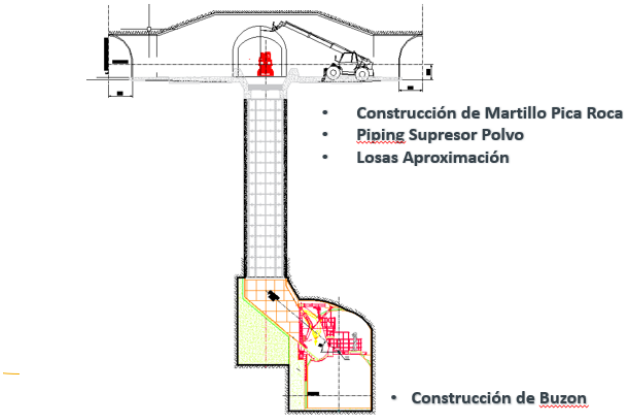


Figura 36: Construcción de buzón

7.4. Tonelaje implicado en el uso de cada metodología

Un factor importante al evaluar y comparar ambas metodologías es el tonelaje asociado a cada opción, ya que será crucial para montaje y retiro, tanto para material marinas como para andamios. Por ello, se puede estimar el peso total implicado por el llenado de cada PVAC y buzón, respectivamente, considerando los valores asociados a altura y diámetros para cada punto de vaciado, así como las medidas de buzón de las secciones a estudiar mediante planos 3D a escala realista de los buzones de la mina subterránea S04, entregados por la herramienta AutoCAD y brindados por personal ingenieril de CODELCO.

Con AutoCAD se podrá hacer una estimación precisa del volumen de material marinas requerido para el llenado de buzón y PVAC. Se considera, además, como supuesto, que el ángulo del suelo respecto a la cota superior del material marinas llenado en la sección de buzón para el procedimiento de *Raise Borer* es de 14° de inclinación, tal como se visualiza a continuación.

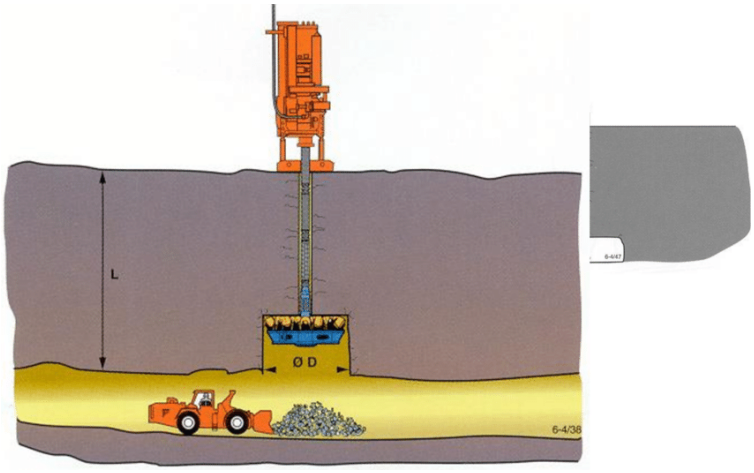


Figura 37: Procedimiento de perforación vertical ascendente *Raise Borer* en sección de minería subterránea

Para este estudio se considerará un rango variable de densidad del material marinas entre 2.2 $\left[\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}\right]$ y 2.4 $\left[\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}\right]$, a fin de calcular el tonelaje implicado por cada PVAC y buzón, tanto de

manera unitaria como para los 7 restantes y su completitud con los 10 que debiesen existir por macrobloque. Esta estimación también ayudará en el cálculo financiero, ya que se utiliza el tonelaje implicado por kilómetro para evaluar el costo de llenado y retiro de material marinas en el proceso, para de esta forma, mediante cálculos de densidad y volumen, se obtendrá un rango de tonelaje aproximado a utilizar. La división de las secciones en AutoCAD constará de 4 secciones.

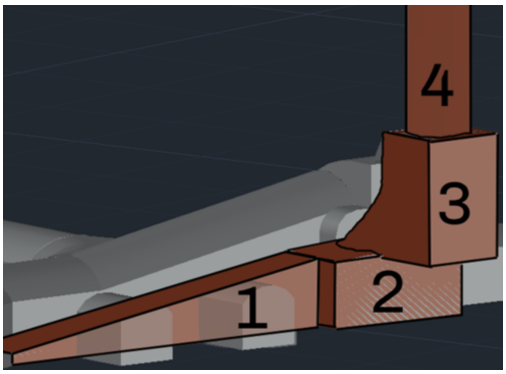


Figura 38: Secciones de corte para efectos de cálculo de material marinas

7.4.1. Armado de tonelaje para marinas

Para contemplar el tonelaje total implicado en la metodología de llenado con marinas, se subdivide en 4 secciones: las secciones 1 y 2 corresponden al primer paso de llenado del buzón para la realización de perforación vertical; las secciones 3 y 4 corresponden al llenado del pique propiamente tal.

Con estimaciones volumétricas brindadas por AutoCAD, se calculará el volumen a utilizar considerando la densidad del material marinas.

7.4.2. Armado de tonelaje para andamios

Como en el procedimiento de andamios se contempla el llenado previo de la sección de buzón, este se retira y se limpia para comenzar a construir la torre de andamios. Por lo tanto,

además del material marinas considerado desde el principio para el llenado del buzón, se adicionará el tonelaje de la torre de andamios para estimar acorde a los pasos de esta metodología.

En este caso, las secciones a evaluar entregadas por AutoCAD serán las secciones 1 y 2 (ver imagen de referencia).

Asimismo, al realizar el llenado del punto de vaciado, se debe retirar en su totalidad el material marinas del buzón correspondiente y limpiar el sector para, desde el buzón, comenzar a construir la torre de andamios hasta la cota superior anillada del PVAC.

Por ende, la suma de tonelaje implicado para esta metodología contemplará: llenado y retiro de material marinas en sección buzón, y torre de andamios desde buzón hasta la coronilla del PVAC.

7.5. Armado y desglose financiero por metodologías utilizadas (uso de material marinas y montaje y desmontaje de torre de Andamios)

Conocida la estructura de procedimientos de construcción para los métodos de andamios y marinas, se construirá un sistema presupuestario para estimar los costos asociados a transporte, armado y desarmado de relleno, construcciones civiles y procedimientos clave para ambos métodos, con el fin de generar una comparativa cuantitativa basada en el sistema financiero y evaluar el punto de vista económico más eficiente entre ambos procesos. Para ello, mediante planillas de Excel proporcionadas por personal ingenieril de CODELCO y contratistas, y datos específicos relacionados con ambos contratos, se realizarán los cálculos pertinentes, desglosando todos los factores asociados.

A continuación se presenta un desglose general de procedimientos financieros a considerar

para la obra constructiva. No obstante, para los efectos de cálculos comparativos, solo se tendrán en cuenta, para la metodología con marinas, el llenado y retiro de material marinas; y, para la metodología con andamios, el armado y retiro de la torre de andamios según corresponda. A continuación se muestra el proceso completo contemplado por contrato:

MARINAS	**ANDAMIOS**
1. Blindaje de pique con descenso **1.1 Rellenar con marinas el fondo (sección buzón) para comenzar adecuadamente el blindaje** 1.2 Realización del blindaje de pique de punto de vaciado 1.3 Hormigonado de los anillos 2. Llenado con marinas **2.1 Relleno de pique blindado con marinas** 2.2 Corte y retiro de anillos en coronilla del pique del punto de vaciado 2.3 Destase y limpieza 3. Construcción de brocal 3.1 Construcción de brocal 3.2 Instalación de parrilla en coronilla 4. Desmontaje **4.1 Retiro de marinas del pique desde sector buzón (3150 ton) + Retiro de marinas del buzón (2200 ton)**	1. Blindaje de pique con descenso 1.1 Relleno con marinas del buzón para escareador 1.2 Blindaje de pique con anillos 1.3 Hormigonado de pique 2. Retiro de marinas desde el buzón 3. Proceso ANDAMIO 3.1 Retiro del 1° anillo con equipo de levante **3.2 Instalación de andamio para soltar el 2° anillo** 3.3 Retiro del 2° anillo con equipo de levante 3.4 Bajar nivel de plataforma de andamios; soltar 3° anillo; instalación de plataforma de trabajo 3.5 Fortificación minera con malla y afianzamiento desde plataforma de trabajo 4. Brocal 4.1 Construcción de brocal; montaje de parrillas clasificadoras 5. Desmontaje **5.1 Desmontaje de plataformas de trabajo y andamio**

Tabla 9: Secuencia de actividades para alternativa con *marinas* y con *andamios*.

Para dichos datos, se rescatará información de planillas Excel utilizadas en los contratos y precios fijados por acuerdos estipulados entre empresas contratistas (Geovita para metodología con uso de marinas y SigdoKooper para construcción de torres de andamios) y personal de CODELCO.

7.6. Tiempo a considerar en plazos constructivos por cada metodología evaluada

Padar dar a lugar del desglose de tiempo considerado para la metodologías constructivas con incorporación de llenado de marinas y montaje de torre de andamios. Es importante considerar aquellos los cuales se encuentran actualmente en periodos de construcción, siendo estos en lo que respecta en procesos constructivos de cómo construir un PVAC-Buzón con llenado de andamios como procedimiento, los PVAC-Buzones n.º 5, n.º 4 y n.º 3 en el MB S04 a la fecha. Y por otro lado para lo que respecta a plazos constructivos de cómo construir un PVAC-Buzón con montaje de torre de andamios, los PVVACs-Buzones n.º 2 y n.º 1. Por lo que es importante tener en cuenta cada uno de sus procesos constructivos, los días a demorar por cada uno en construcción de PVAC y con su complemento estimado para construcción de Buzón, ya que en ambas metodologías recién se está construyendo ello, por lo que para estos efectos la estimación de cuánto se demora en construir un buzón es acorde a lo estipulado en la planificación por cada tarea a realizar y la estimación de Curvas S. No obstante, sí se ha demostrado cuánto se demora en construir un PVAC como tal, por lo que para tener el ponderado por cada metodología se hará un promedio entre cada proceso realizado con cada uno de los PVACs evaluados y lo estimado en planificación de construcción para tener un margen de error mínimo y tener en cuenta datos reales a la fecha actual. Los procesos considerados para ello van en el procedimiento de minería previa que consta con la perforación vertical y blindado de pique; luego con llenado o retiro de material marinas según lo amerite la metodología a utilizar; el montaje de torre de andamios en el caso de la nueva metodología propuesta; la construcción de brocal; y el retiro de torre de andamios o marina desde sección de buzón según lo amerite. Por lo que los resultados obtenidos se evaluarán la posibilidad de trabajos

en paralelos o en serie que puedan acotar los plazos constructivos, cuántos días se demora en realizar el llenado o retiro de marina propiamente tal o de andamios según lo amerite, los lapsos de tiempo por cada proceso y cómo se comparan ambas metodologías como tal. Es importante también tener en cuenta que un día funciona con 2 turnos, los turnos de día (TA) y los turnos de noche (TB), por lo que cuando se hable de un día, se habla de TA + TB, con 12 horas para cada uno de los turnos, ya que como se es sabido, la mina está funcionando las 24 horas del día. Pero para efectos de cálculo, comparación y resultados, solamente se hará uso de los días por método utilizado.

8. Resultados

8.1. Análisis comparativo: Riesgos asociados

El análisis de riesgos constituye un factor determinante para evaluar la conveniencia entre la metodología tradicional con **material marinas** y la alternativa innovadora con **torres de andamios**. Ambas presentan implicancias directas en la seguridad operacional y en el cumplimiento de los *Estándares de Control de Fatalidad (ECF)* definidos por CODELCO.

En la metodología con marinas, los principales riesgos críticos se relacionan con la **polución por polvo**, la **compactación y humedad del material** y la posibilidad de **atascamiento del pique**. Estos factores generan condiciones adversas para la salud de los trabajadores, aumentan la probabilidad de accidentes y obligan en ocasiones a realizar *tronaduras adicionales*, que conllevan un riesgo de dañar el blindaje de los anillos de hormigón instalados en el pique. Asimismo, la incertidumbre operacional es elevada, ya que el retiro del material marinas puede provocar colapsos parciales, bloqueos o incluso la necesidad de intervenciones no programadas que afectan la seguridad y los plazos constructivos.

Por contraste, la metodología de andamios elimina el riesgo de colgadura o atascamiento del pique, dado que este no se llena en su totalidad con material marinas, sino que se instala una estructura modular segura y controlada. Esto reduce de manera considerable la cantidad de material a manipular y, en consecuencia, la **exposición del personal a riesgos de polución, desprendimientos o accidentes por retiro de relleno**. Además, la mayor limpieza en el área de trabajo y la posibilidad de ejecutar tareas de manera simultánea (como la construcción de brocal y la habilitación del buzón) permiten disminuir la exposición a riesgos críticos y mejorar las condiciones ambientales de la faena.

En términos de cumplimiento de los ECF, el método de marinas obliga a implementar medidas adicionales de control para mitigar los peligros derivados de la manipulación de un volumen masivo de material fragmentado, mientras que la metodología con andamios presenta una **alineación más directa con los principios de control preventivo**, al reducir de origen la fuente de exposición a los riesgos. Esto se traduce en un menor nivel de incertidumbre y en una operación más previsible y segura.

Todas las evaluaciones de riesgos se estipularon y **dieron a conocer** entre personal jefe de construcción, directores de mina, gerente de GOMs y gerencia de seguridad minera, estipulándose por la entidad de seguridad minera subterránea la aprobación de implementación de metodología de uso de andamios en procesos constructivos de PVAC–Buzón para poder **reconstruir** dentro del tronco pique blindado una torre de andamios debido a la **sección** geológica y geográfica de MBS04 en Chuquicamata, el tipo de rocosidad, y se dejó estipulada la **aprobación** del proyecto a realizar.

De esa forma, se evidencia que el **método de marinas** se asocia a mayores riesgos operacionales y de seguridad, con impactos significativos en la salud laboral y en el cumplimiento de los estándares críticos de seguridad. En cambio, la **metodología con andamios** ofrece un entorno de trabajo más controlado, limpio y seguro, reduciendo la probabilidad de incidentes y consolidándose como una alternativa que no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también fortalece la cultura preventiva de la organización.

8.2. Tonelaje implicado por cada metodología

8.2.1. Resultados y procedimientos de tonelaje total para metodología de llenado de marinas

Al constatar contratos con **la** empresa contratista Geovita, se estipula un acuerdo donde se muestran los pasos de métodos de marinas, siendo de esta forma que se tomará en cuenta el peso para el llenado **y** retiro de material.

Como es difícil hacer una estimación ante lo visualizado en terreno y procesos constructivos propiamente tales, se ha de utilizar la herramienta *software* "AutoCAD", en donde, rescatado de planos a medidas de escala en 3D, se pueden tener las medidas exactas y la infraestructura de cómo se vería la mina subterránea una vez finalizada a escala real en lo que resta de sector subterráneo del Macrobloque S04; siendo de esta forma que, mediante estimaciones y cálculos volumétricos, han de obtenerse aproximadamente el tonelaje total a ocupar por punto de vaciado más buzón, debido a que la metodología o procedimiento en cuestión consta de un proceso por etapas de llenado, porque previamente se debe realizar el tapado con material marinas en el sector del buzón, de esa forma, proseguir con la construcción vertical blindada de pique y, asimismo, efectuar el llenado con marinas en dicho punto de vaciado, como se muestra gráficamente a continuación:

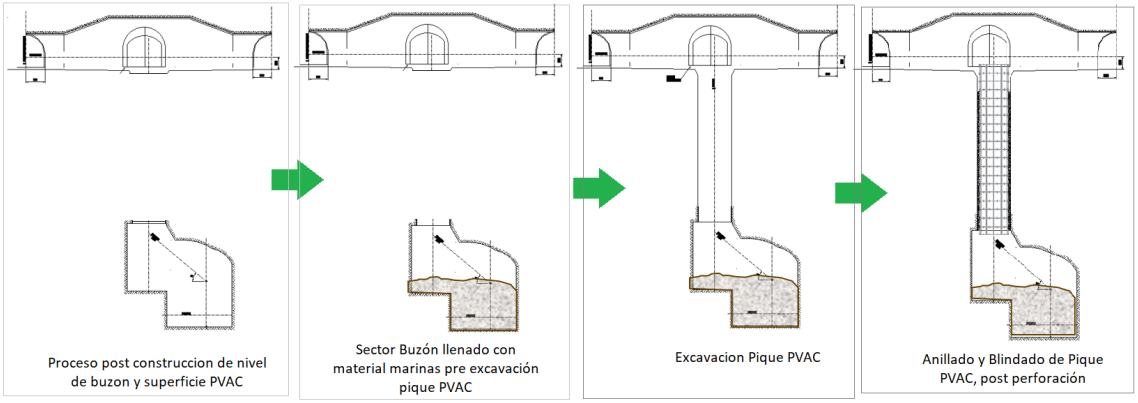


Figura 39: Pasos para empezar a llenar el buzón número 5 del macrobloque S04

De esta forma, es importante considerar que, a comparación de la metodología con andamios, este método de marinas constará con un llenado previo de buzón con dicho material, incorporando marina en forma de rampa que tiene como funcionalidad el traslado de maquinaria pesada capaz de poder perforar de manera vertical ascendente y dejar las bases para el pique de PVAC, y, asimismo, luego blindar dicha sección cilíndrica perforada. Por lo que el material marinas llenado en el comienzo en la sección de buzón para dicho paso tendrá un ángulo de inclinación de 14° aproximadamente de rampa con respecto al eje de suelo; visualizándose a continuación:

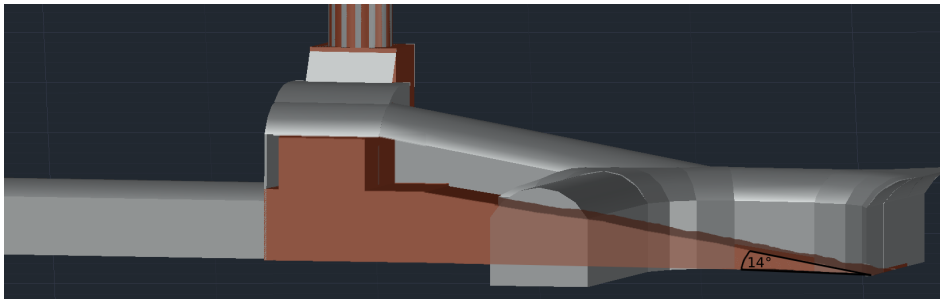


Figura 40: Buzón llenado con material marinas visualizado en AutoCAD con respectivo ángulo de inclinación

En donde, mediante la herramienta AutoCAD, y con ayuda de preparaciones geométricas, se calculará el aproximado volumétrico mediante el comando “massprop” para obtener el volumen

configurado a las condiciones anteriormente mencionadas. Dividiéndose en 4 secciones diferentes, como se indica en la siguiente imagen:

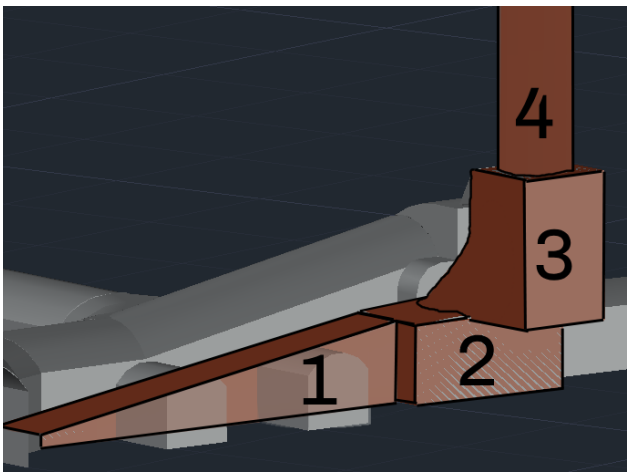


Figura 41: Cortes secciones a calcular volumen de marinas en AutoCAD

Por ende, en efectos de cálculo, como el rango variable de densidad de material "marinasçonsta desde los [2,2–2,4]$\left[\frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right]$, se tomó como referente un 2,3 $\left[\frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right]$, y un diámetro de 3 [m], ya que es el promedio estipulado por PVAC. También, complementando con el respectivo ángulo de inclinación de 14°, se ha llegado a un promedio con herramienta AutoCAD para cada una de las 4 secciones, tal como se muestra a continuación

Tonelaje (Teórico) por sección	
Sección 1	823,72 Ton
Sección 2	958,32 Ton
Sección 3	2 273,69 Ton
Sección 4 (promedio de los 7 Buzón–PVACs restantes)	659,13 Ton
Tonelaje total 4 Secciones	**4 714,86 Ton**

Tabla 10: Tonelaje **teórico calculado** por sección y total de 4 secciones.

Aun así, es importante considerar que, al trabajar con **la** herramienta AutoCAD, se tienen estimaciones exactas derivadas de polígonos perfectos, pero como se prospera realizar una

semejanza fiel a la realidad, se estipularán diferentes márgenes de error ante efectos de material escurrido, debido a que, al depositar dicho material, al igual que un fluido, este se dispersará, como se muestra a continuación gráficamente:

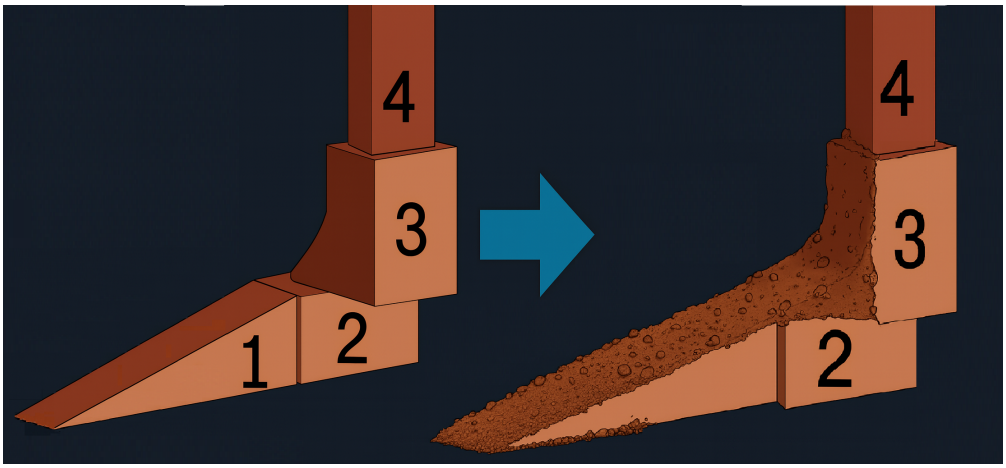


Figura 42: Diferencia entre trabajar con sección de polígonos perfectos a estudio en realidad

Es por ello que los resultados tendrán márgenes de error de 10 %, 15 %, 20 % propiamente tales para asemejarse a la realidad, estimándose así en la siguiente tabla los resultados obtenidos, quedándose de esa forma con margen de 15 % ya que es lo más cercano a los resultados reales, llegando así a un tonelaje total de **5.422 [Ton]** ocupadas por las 4 secciones, por ende, siendo este resultado el peso total tratado en material marinas

Tipo de Buzón–PVAC	10 %	15 %	20 %
S04-02	5.489,21	5.738,72	5.988,23
S04-01	5.496,76	5.746,61	5.996,46
S04-10	5.058,87	5.288,81	5.518,76
S04-09	5.058,87	5.288,81	5.518,76
S04-08	5.058,87	5.288,81	5.518,76
S04-07	5.058,87	5.288,81	5.518,76
S04-06	5.082,96	5.314,01	5.545,05
Promedio 1 PVAC + Buzón en Ton	5.186,34	**5.422,08**	5.657,83

Promedio por Pique + Buzón total	**5.422,08**	**TON**

Tabla 11: Tonelaje implicado en 4 secciones con promedios.

De esa manera, ante tal estimación, y considerando que ello será para solamente un llenado de PVAC + buzón con altura de 50 metros (considerando la existencia de 50 y 30 metros, respectivamente), se estipula, mediante contrato con **la** empresa Geovita, el presupuesto a constatar para montaje y desmontaje de ello.

Tonelaje (Real estimado) por sección	
Sección 1	947,28 Ton
Sección 2	1.102,1 Ton
Sección 3	2.614,7 Ton
Sección 4 (promedio de los 7 Buzón–PVACs restantes)	758 Ton
Tonelaje total 4 Secciones	**5.422,08 Ton**

Tabla 12: Tonelaje **real estimado** por sección y total de 4 secciones.

8.2.2. Tonelaje estimado para andamios: llenado de PVAC + buzón

Para poder obtener el tonelaje estimado para la metodología de andamios se consideró el último contrato estipulado por **la** empresa contratista Sigdo Koppers (SK), en la cual la información trabajada es de la última revisión de contrato **"NDC N° 16 Rev1 Suministro y Montaje de Andamios por Cambio de Metodología en PVAC"**. Por lo que en dicho contrato los costos asociados son: 1) compra de lotes + flete andamios, y 2) montaje y desmontaje de andamios.

No obstante, como a día de hoy se encuentran por construir la infraestructura de los 7 buzones y PVACs restantes de los 10, este contrato incorpora el cálculo de tonelaje implicado para los 7 de ellos. Por lo que el peso total considerado en el contrato es de 12,72 [Ton], equivalente a las 7 torres de andamios a construir, llegando asimismo a una cantidad de **1,82 [Ton]** por torre de andamios.

Nº ITEM	:	NDC N° 016
NOMBRE ÍTEM	:	NDC N° 016
UNIDAD ÍTEM	:	KGS
CANTIDAD ÍTEM	:	12719,46

Figura 43: Kg total para 7 torres de andamios estipuladas en contrato **NDC n°16 Rev2**

De esta manera, su desglose proviene de andamios e insumos andamios, por lo que solamente para lo que respecta a torre de andamios llegará a los valores de **12,7 [Ton]**, llegando así a que el tonelaje implicado por cada torre de andamio será de **1,81 [Ton]**. Por lo que, en cuanto a metodología de andamios se refiere, como sí o sí el proceso de llenado de buzón con marinas será algo que no se puede suprimir en el paso primario de perforación vertical ascendente, el tonelaje total implicado será la suma de material marinas incorporado en la sección de buzón más la de torre de andamios unitaria por Buzón–PVAC, llegando así a una suma de **2.051,1 [Ton]**, considerando que las secciones solamente del buzón (buzón llenado con marina) son de **2.049,29 [Ton]**, como se calculó en la metodología anterior, quedando dichos pasos realizados como se muestra a

continuación

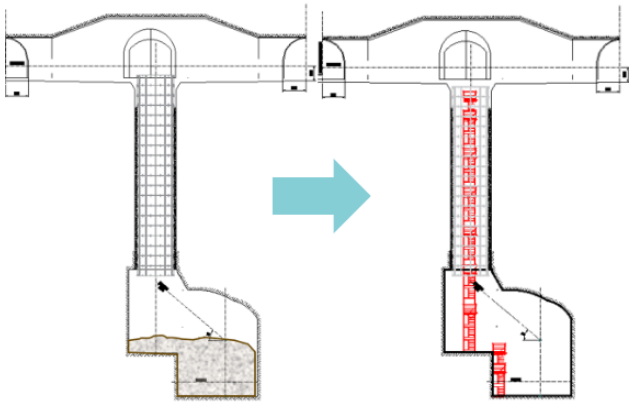


Figura 44: Pasos seguidos en metodología andamios

Tonelaje por sección	
Sección 1	947,3 Ton
Sección 2	1.102,1 Ton
Sección andamios	1,81 Ton
Tonelaje total 4 Secciones	**2.051,1 Ton**

Tabla 13: Tonelaje total implicado metodología andamios

8.2.3. Comparativa resultado unitario tonelaje: Marinas vs. Andamios

En el caso de la metodología con andamios, el tonelaje total considerado corresponde a la suma del material marinas utilizado en el buzón más el tonelaje equivalente a la torre de andamios instalada en el pique. El valor obtenido alcanza un total de **2.051,1 toneladas**, lo que refleja una disminución significativa respecto al tonelaje implicado en el sistema tradicional con marinas, que contemplaba las **5.422,09 toneladas**.

Para efectos comparativos, el método de marinas —que contempla tanto el llenado del buzón como del pique PVAC— alcanza un total que contempla tanto el llenado completo de buzón y el largo vertical de pique, en contraste con la metodología de andamios, que solamente con-

templa el llenado de buzón y luego el proceder con el armado de torre de andamios, en donde se reducen más de **3.000 toneladas**. Esta diferencia se explica principalmente por la eliminación del relleno completo del pique con material marinas, el cual es reemplazado por estructuras modulares de andamios, reduciendo de manera importante la cantidad de material movilizado y los costos logísticos asociados. La siguiente tabla resume el tonelaje total estimado en ambas metodologías:

Metodología	**Tonelaje total [Ton]**
Llenado con marinas (Buzón + PVAC)	5.422,09
Llenado con andamios (Buzón + Torre de andamios)	2.051,1

Tabla 14: Comparación de tonelaje total estimado entre metodología de marinas y metodología de andamios.

De esta manera, se evidencia que la utilización de andamios representa una alternativa más eficiente en términos de tonelaje a movilizar, lo que a su vez impacta directamente en la reducción de costos y tiempos operativos, así como en la mitigación de riesgos asociados al transporte y retiro de material.

8.3. Periodo de tiempo por cada proceso de llenado

Para **llevar** a cabo este estudio de plazos constructivos, se ha hecho un **análisis** detallado con el proceso real de cada una de las metodologías implicadas en cada proceso constructivo; es por ende que, para los procesos constructivos que **requieren** el uso de material marinas en el formato tradicional, se hizo un estudio de plazos, y procesos llevados a **conocer** para los 3 PVACs–Buzones (PVAC–Buzón n°5, n°4, n°3) realizados con metodología de material marinas **incorporada** a día de hoy en el MB S04 en Chuquicamata. Al igual que en la metodología de procesos constructivos incorporando el uso de torre de andamios, **a la cual, a diferencia** de aquel **proceso** constructivo con incorporación de material marinas, a la última fecha de registro de procesos **finalizados** con la metodología con andamios (30-01-2025) se encuentran en procesos constructivos 2 PVAC–Buzones recientemente en el sector SUR del MB S04 (los cuales son el PVAC–Buzón n°2, n°1) para efectos de este estudio.

8.3.1. Tiempo estimado para la implementación de metodología con marinas

En los procesos constructivos involucrados para los 3 de 10 **PVACs** elaborados con metodología de uso de material marinas, se ha registrado en una línea de tiempo el proceso constructivo de cada uno de ellos con registros otorgados por personal de ingeniería JeJ, el cual consta para su **construcción** de 4 procesos claves en lo que respecta **a la** construcción de PVACs. En este caso el estudio se realizó con el registro de días a demorar en cada proceso, esto se dejó **constatado** para los PVAC n°5, n°4, n°3. En donde, a la fecha (30-10-2025), ya se ha finalizado el retiro de material marinas pero se encuentra en proceso constructivo los buzones de **carguío**. Siendo de esa forma que los días adjuntos en cada una de las unidades a construir han de ser días con ambos turnos a

realizar, ya sea el TA y TB, por lo que son días con horario laboral completo por turno estipulado. Es así que la forma en la cual se siguen los procedimientos constructivos es de forma simultánea, esto quiere decir que no se espera **a** construir recién un PVAC para comenzar con el otro, ya que se busca agilizar y ser eficiente en la distribución de tiempos constructivos si es que existe la posibilidad de realizar tareas en paralelo. Siendo de esa forma **como** se adjunta en la siguiente línea de tiempo, que cada procedimiento macro en cuestión posee diversas tareas y pasos a **realizar** para pasar al siguiente:

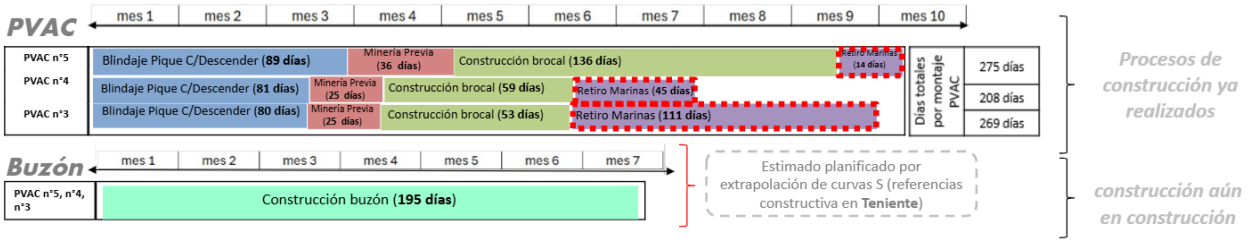


Figura 45: Plazos constructivos completos para PVACs y Buzones (PVAC n°5, PVAC n°4, PVAC n°3) con metodología marinas incorporada en MB S04

Es así que, como se evidencia en dicho gráfico, **se cuenta** con una curva de aprendizaje en cada uno de los procesos, ya que a medida que se repite la metodología constructiva en cada uno de ellos, se disminuye el margen de error por el perfeccionamiento que se da a conocer en cada uno de los PVACs construidos; es así que cada **proceso** involucrado cada vez va disminuyendo los días de demora en **ejecutar** dichas labores ante la adquisición de conocimiento que se está realizando por el personal contratista de ingeniería en construcciones en dichos proyectos. **De esa forma,** es una medida controlable y que se puede, poco a poco, ir mejorando. No obstante, como se evidencia en el gráfico incorporado, hay un proceso constructivo que va contra lo comentado recientemente, que en vez de **disminuir** los plazos de construcción, **va** aumentando, lo cual tiene una gran tendencia a la incertidumbre, y es el proceso de **retiro de material marinas** desde la sección de buzón. Esa

medida ha generado una alerta y un análisis profundo de **por qué** se genera, siendo que, además de los factores ambientales, salud y riesgos asociados a los trabajadores ante su retiro como tal, las condiciones de dicho material, debido a que, al estar compactado a lo largo del pique blindado del PVAC, el **hacer** su retiro involucra que el material en cuestión, en dicho espacio confinado, con los efectos de la presión involucrada dentro de ella ante la compactación de material, **y el** ambiente húmedo dentro de la mina subterránea, implica que, en todos los procesos y casos vistos hasta la fecha en el MB S04, **quede** atascado, **involucrando** así procesos de tronaduras y desquinches para liberar el material de dicha sección, pasando de 15 días en el PVAC n°5 a 111 días en el PVAC n°3. Por lo que esto, además de que el proceso constructivo completo para 1 PVAC en cuestión ya es **demoroso**, el otorgar esta incertidumbre lleva a que algunos procedimientos queden detenidos debido a que se requiere retirar completamente dicho material, sumado a que se debe generar limpieza de suelo para proseguir con la pavimentación propiamente tal de la sección de buzón en los puntos de acarreo.



Figura 46: Análisis gráfico de procesos constructivos en PVACs n°5, n°4, n°3 realizados hasta la fecha con metodología de llenado de marinas incorporada

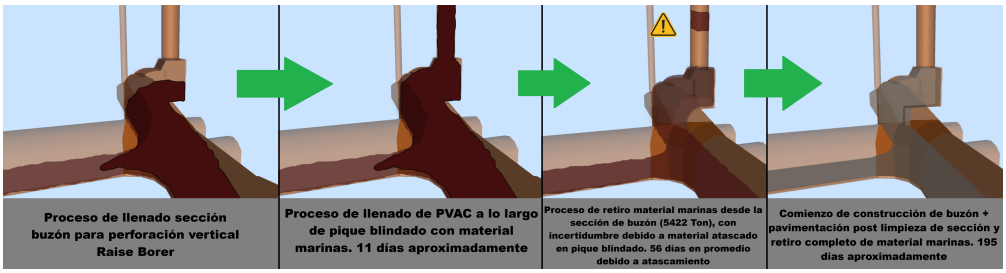


Figura 47: Proceso de llenado y retiro de material marinas en metodología tradicional, rescatado de NavisWorks

Una vez finalizada la limpieza de la sección de **acarreo** de buzón, se prosigue con la construcción de tal, **a lo cual,** como actualmente se sigue en su construcción, el estimado de 195 días fue **una** estimación con referencias de plazos constructivos de División El Teniente exclusivamente para buzones y extrapolaciones de curvas S, como se adjunta a continuación: Por lo que, para poder determinar cuánto es lo que se demora en plazos constructivos en la construcción de un PVAC–Buzón, se **sacó** el promedio considerando cada uno de los casos realizados en los 3 PVACs del MB S04, **llegando** así a que, en promedio, para la construcción de un PVAC se **ronda** los 251 días y, si es que se incluye la sección buzón, **sería** de los 446 días.

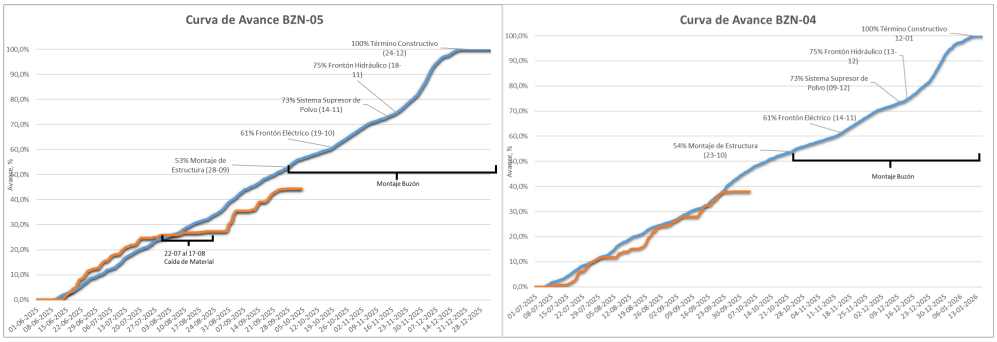


Figura 48: Gráfico de planificación Curvas S para estimar la fecha de entrega de obra constructiva PVAC–Buzón n°5, n°4 del 23-09-2025

8.3.2. Tiempo estimado para la implementación de metodología con andamios

Para este **análisis** se **hizo** estudio con un plan basado en lo construido hasta la actualidad y puesta en marcha de **proceso** constructivo incorporando metodología de andamios, **los** cuales son los PVACs–Buzones n°2 y n°1. **Los** procedimientos implican 4 **macropasos**, con labores a realizar en cada uno, siendo que, al igual que la metodología explicada anteriormente, se realizará, al igual que el procedimiento tradicional, todo lo que implica la minería previa, lo cual es, mediante una rampa hecha con material marina en la sección de buzón, instaurar el proceso *Raise Borer* para realizar perforación vertical y proseguir con el anillado y blindaje propiamente tal del pique blindado. Siendo de esa forma que el procedimiento, tanto para el PVAC–Buzón n°2 como para el n°1, **fue** de 80 días aproximadamente, al igual que lo estimado para la construcción de los 7 PVACs que se **tenía** estimada ante planificación de curvas S por parte de equipo de planificación; no obstante, se tenía planificado que el retiro de material marinas (el cual, a comparación de la metodología tradicional, se **realizaría** antes y solamente **implicaría** el tonelaje proporcional a la rampa de buzón realizada, a comparación de la metodología con marinas que incorpora también el tonelaje de pique llenado con material marinas) era de 10 días, pero, ante complicaciones logísticas implicadas por la maquinaria utilizada para trasladar el material, se ha llegado a una cantidad de 23 días para el PVAC–Buzón n°2; también la puesta en marcha de montaje y retiro de torre de andamios, como era de esperar, ha demorado más de lo planificado por incongruencias y arreglos en los planos de construcción, llegando así a los 34 días para el PVAC–Buzón n°2; y, ante los registros actuales, el PVAC–Buzón n°1 recientemente se encuentra en el proceso de retiro de torre de andamios, pero **ronda** en los mismos días aproximadamente que el n°2. Es por ello que, para tener una estimación de cuántos días en total se demora la construcción de un PVAC utilizando

una nueva metodología con torre de andamios, se **realizó** un promedio con los datos actuales y lo **proyectado** ante planificación otorgada por curvas S, **llegando** así a que, para la construcción de un PVAC utilizando torres de andamios como procedimiento de llenado, es de **172 días**.

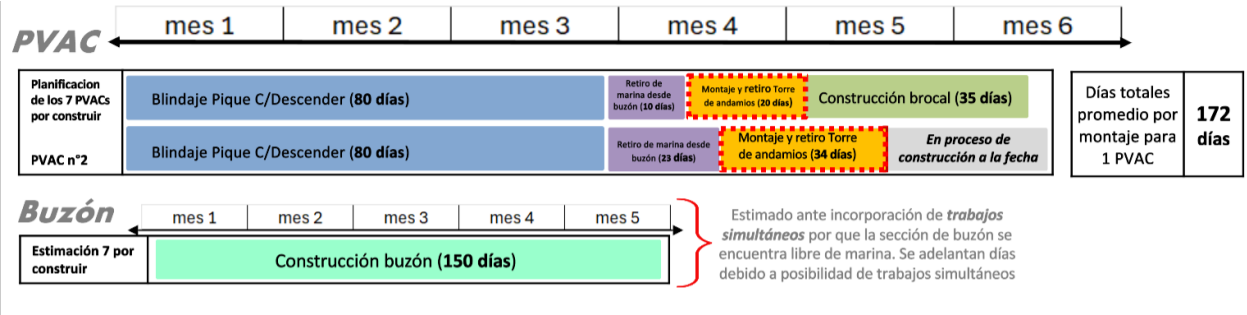


Figura 49: Plazos constructivos completos para PVACs y Buzones (PVAC n°2 y estimado para los 7 PVACs restantes por construir mediante planificación de curvas S) con metodología andamios incorporada en MB S04

Otro punto importante es que se evidencia una **reducción** de aproximadamente 50 días en lo que es la construcción de **buzón de carguío** con metodología de andamios incorporada, llegando a los 150 días para la construcción única de un buzón. Debido a que el mero **hecho** de poder trabajar en una sección **posterior al** retiro de material marinas como rampa para proceso *Raise Borer*, implica que se puedan realizar trabajos en paralelo, como se muestra en el siguiente procedimiento, como lo es la pavimentación de nivel de acarreo para la **sección de** buzón mientras se construye la torre de andamios y, mientras se realiza el retiro de torres de andamios, el poder construir el hormigonado previo superior para la base de buzón de carguío, **llegando** así a una disminución de **322** días para poder construir un PVAC y buzón en un caso idóneo.

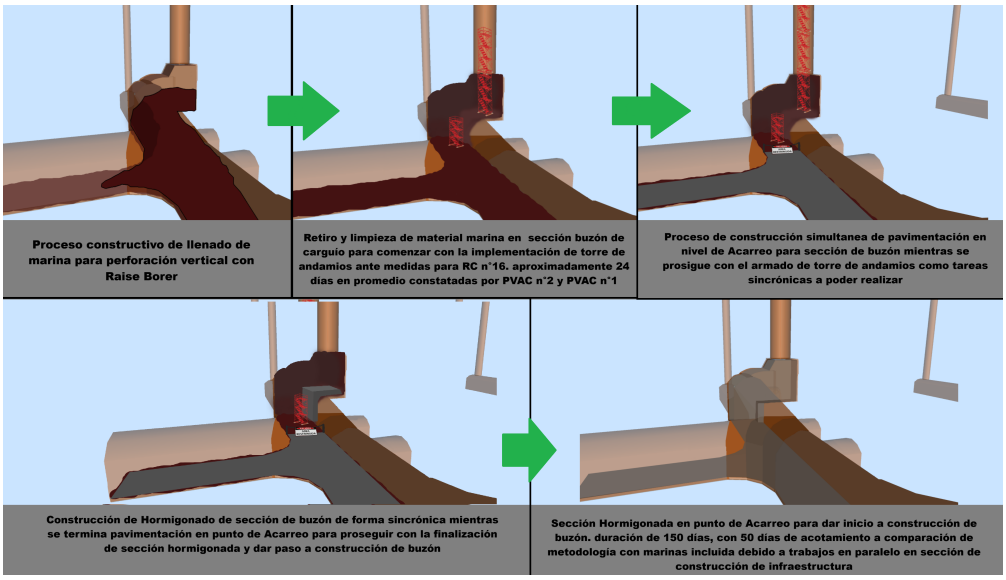


Figura 50: Proceso de armado y retiro de torre de andamios en metodología nueva propuesta, rescatado de NavisWorks

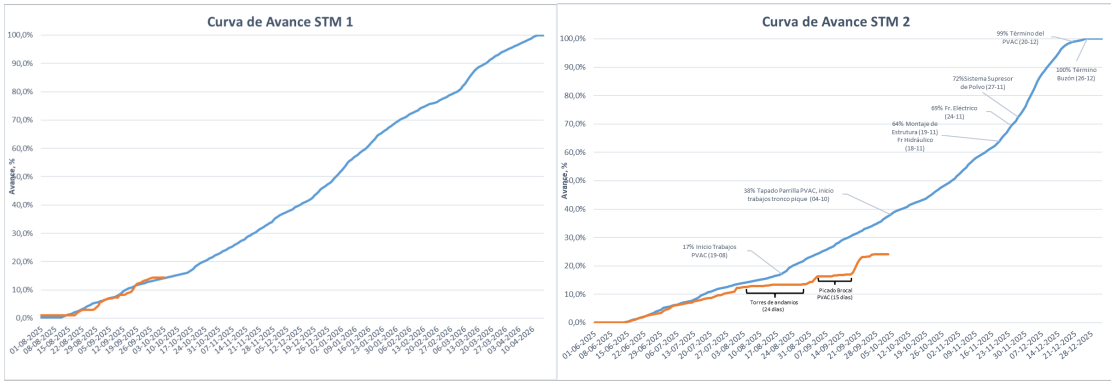


Figura 51: Gráfico de planificación Curvas S para estimar la fecha de entrega de obra constructiva PVAC–Buzón n°2, n°1 del 23-09-2025

8.3.3. Análisis comparativo de plazos entre ambas metodologías y tiempo de proceso de montaje y retiro de material marinas y andamio como método preventivo de RC n°16

Como se dio a conocer anteriormente, la implementación de la metodología con andamios no solo genera una reducción directa en los plazos de construcción respecto al método tradicional con marinas debido a la **realización** de tareas en paralelo, acotando así los plazos constructivos,

sino que, como segundo efecto, los procesos no tienden a tener una incertidumbre agregada ya que se suprime el retiro de material marinas que se ocupaba de forma **tradicional** para el retiro de marinas dentro de pique blindado, por lo que la **acotación** de días a evaluar para esta nueva propuesta constructiva, con implementación de metodología de torre de andamios, implica procedimientos que ya no se escapan de las manos por el comportamiento y factores externos acorde al material utilizado. Por lo que, de esa manera, el utilizar procedimientos constructivos con utilización de torre de andamios como metodología nueva incorporada **implica** que, para la construcción promedio de un PVAC, se **llega** a una reducción de aproximadamente 79 días, lo cual es bastante. Y, de igual forma, para la construcción de un PVAC–Buzón, se reduce a 114 días, lo cual es un 25,5 % menos que de forma tradicional. **Por lo que** la utilización de un buzón con incorporación de torre de andamios permite generar tareas simultáneas, como lo es la pavimentación de sección a trabajar.

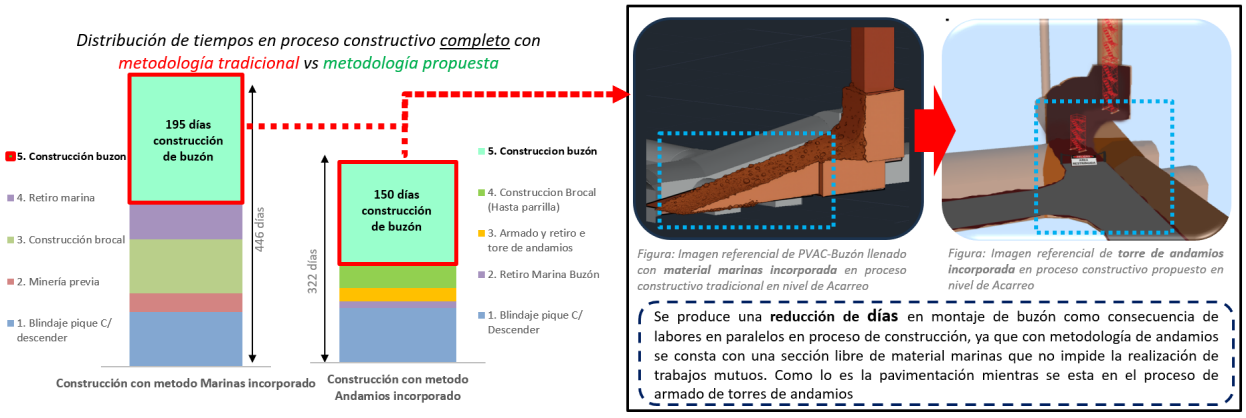


Figura 52: Comparación de plazos constructivos para ambas metodologías evaluadas y demostración de trabajos en paralelo para metodología de andamios incorporada

Además, el procedimiento de solamente llenado de PVAC con material marinas abarca los 11 días en promedio con los casos actuales (PVAC–Buzón n°5, n°4, n°3) y su retiro los 56 días en promedio debido a las dificultades otorgadas por el atascamiento. **En contrapartida,** solamente el armado de torre de andamios ronda los 24 días en promedio por los casos evidenciados en la

actualidad (PVAC–Buzón n°2, n°1) y su desmontaje y retiro ronda los 10 días (como lo sucedido en el PVAC–Buzón n°2 a la fecha), **tomando** así efectos más certeros en lo **respectivo** a plazos constructivos.

UNIDAD DE TIEMPO	**Metodología tradicional marinas**	**Metodología nueva andamios**	**Diferencia en días**	**Diferencia porcentual**
Días totales de construcción PVAC	**251**	**145**	**106**	**42,15 %**
Días totales PVAC + Buzón	**446**	**295**	**151**	**33,81 %**

Tabla 15: Comparativa de tiempos de construcción PVAC–Buzón utilizando ambas metodologías en MB S04

Tiempo de montaje (en días)			
Llenado de material marina	**Retiro de material marina**	**Armado de torre de andamios**	**Retiro de torre de andamios**
10	56	24	10

Tabla 16: Días a demorar por metodología utilizada dentro de procesos constructivos para un PVAC–Buzón

8.4. Análisis financiero:

8.4.1. Análisis financiero: llenado con marinas

Ya estimado el tonelaje en el cual se va a tratar al momento de llenar tanto el sector de buzón como el sector de largo de pique PVAC, al tener una estimación de 2.049 total de toneladas en buzón (sección 1 y 2) y 3.373 toneladas en PVAC (sección 3 y 4), dando así que para buzón + PVAC serán un total de 5.422 [Ton]. Es importante considerar que, en efectos de cálculos, las empresas contratistas han de estipular el cobro de la logística en cuanto a traslado y llenado de material marinas tanto para efectos de llenado de buzón como para efectos de llenado de pique de PVAC. A continuación, se contemplan las secciones con tonelajes calculadas:

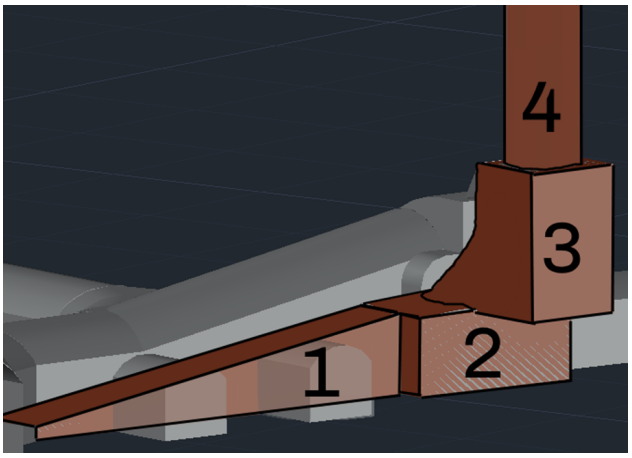


Figura 53: Sección de cálculo de tonelajes Buzón–PVACs

De esa forma, mediante herramienta Excel, se calcula el valor ante plantillas proporcionadas del cálculo de marinas. Para ello se han de considerar 2 formas de cobro por parte de **la** empresa contratista a **estipular en** contrato:

- **a) Costo por llenado de material marinas**
- **b) Costo por retiro de material marinas**

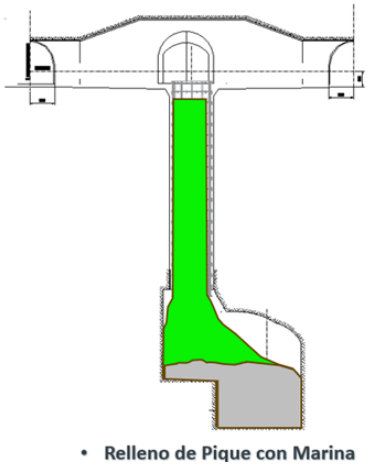


Figura 54: Sección de llenado con material marinas por pique PVAC

De esta forma, lo que abarca a **costo por llenado**, se contemplará con efectos de cálculos de pesos por toneladas a transportar. De esta forma, su sistema unitario será de [$ /Ton]. Asimismo, la empresa contratista con la cual se colabora ha dictado que el precio por tonelada a transportar para el llenado será de 8.188,83 [$ /Ton]. No obstante, para los efectos de cálculo se han considerado solo 2.049 ton debido a que, al momento de realizar una metodología comparativa entre andamios y marinas, lo ocurrido en 1 y 2 sí o sí se debe usar esa cantidad de marina en buzón para ambos procesos; por ende, no tiene mucho sentido comparar esos procesos de llenados ya que en ambos ocurre. Por ende, se considerará en este efecto solo como "llenado" el sector 3 y 4. Quedando, de esa forma, para el llenado de un pique PVAC un valor de $ 27.618.797 CLP, siendo de ese modo representado en la siguiente figura aquella sección de color verde, lo que será llenado con material marinas.

Por consiguiente, el **retiro de material** también contemplará un costo no menor a considerar. A diferencia de su llenado, aquí sí han de contarse las 4 secciones a evaluar, debido a que, como su retiro se debe hacer desde el sector de los buzones sin haber construido a estos momentos de metodología, su retiro se realizará en dicha vía por efectos de simplicidad y colaboración a gra-

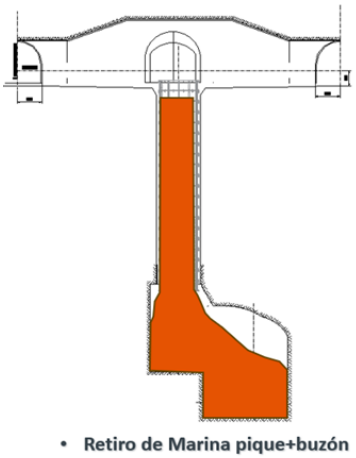


Figura 55: Sección a retirar material marinas Buzón–PVACs

vedad para su retiro. Siendo de ese modo que se ha de abarcar la totalidad de tonelaje implicado de forma aproximada por cada Buzón + PVAC, alcanzando un total de 5.422 ton. Su sistema de cobro por parte de **la** empresa contratista ha de ser 8.188,83 $/Ton-km. Y también los km recorridos en totalidad para esos efectos de cálculos tienden a rondar por los ~3 km aproximadamente, por lo que, realizando dichos cálculos para poder realizar el retiro total de marinas para el sector Buzón–Pique PVAC, llega a la suma de $ 133.201.657 CLP, siendo de ese modo representado en la siguiente figura aquella sección de color naranjo, lo que será retirado de material marinas.

Ya contemplando tanto el llenado como retiro de material marinas, se llegará a una suma aproximada de $ 160.820.455 CLP por cada uno de los Buzones + PVAC a llenar, ante las normativas establecidas por CODELCO dentro de sus Prevención de Riesgos Críticos.

Es importante considerar que los costos pueden aumentar, ya que, a pesar de que se tenga como supuesto, para efectos de cálculo, un total de **3 km** a recorrer considerando toda la flota de maquinarias involucradas para el proceso, se puede ocasionar dicho riesgo establecido desde el principio, el cual dicho pique se puede tapar ante las condiciones del material marinas, presiones internas y temperaturas y humedad a la cual se estará expuesto. Por lo que, ya el poder destapar

dicha sección, se tendrá en consideración costos extras a lo estipulado de forma teórica, ya que, dado a conocer a la realidad, se puede incurrir a dichas incertidumbres y cambios, más aún teniendo en cuenta que los costos asociados por un Buzón–Pique PVAC alcanzan sumas sumamente altas. Siendo así que, en la siguiente tabla, se han de evidenciar los costos asociados, tanto considerando su estipulación unitaria Buzón–Pique PVAC, estipulación presupuestaria para el llenado y retiro de los 7 PVAC restantes que se encuentran actualmente en procesos constructivos, y una estipulación considerando que se llegase a seguir con la metodología para un total de 10 PVAC, teniendo en cuenta si todo el proceso se hubiese hecho para todo el macrobloque:

Casos	**Valores en CLP**
Valor unitario total llenado y retiro de marinas	$160.820.455
Valor total llenado y retiro de marinas 7 Buzón–PVACs restantes	**$1.125.743.182**

Tabla 17: Costos totales asociados a llenado y retiro de marinas

8.4.2. Análisis financiero: llenado con andamios

Realizando un análisis detallado, se evaluó la posibilidad de utilizar la metodología de procedimiento de llenado en procesos constructivos con andamios, siendo así que su estructuración financiera se ha consultado a la empresa contratista Sigdo Koppers (SK), siendo de esa forma que se ha estipulado el presupuesto con la suma de los gastos ante compra de lotes de andamios, proceso de montaje por cambio de metodología.

En este caso se contará con una compra de lote, ya que no se puede mandar a comprar por separado el armado unitario para torre de Buzón–Pique PVAC; por lo que, de comprarse, se debe adquirir el lote necesario, siendo, en este caso, que los PVACs faltantes a armar dichas torres a día de hoy son los 7 restantes en proceso constructivo para el macrobloque S04. Por ello, en dicho análisis, se evaluó el costo para los 7 lotes de torres de andamios, considerando factores como el transporte desde la compra en Antofagasta hasta el sector a llenar, la mano de obra, la compra de materiales, y gastos y costos asociados con lo que se va a evaluar. Siendo así que, al tener un valor para los 7 PVACs, se puede estipular el costo para la forma unitaria y para la contemplación de 10 Buzones + PVACs en caso de que un macrobloque completo se contemple dicho armado de torres de andamios.

Ítem	Homologación	Descripción	Unid.	Precio Total
1.1	Nuevo	**Venta de Andamios por Cambio de Metodología en PVAC´s**	GL	$ 141,597,211
1.2	Nuevo	**Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-02 y BZD-002**	ML	$ 98,385,708
1.2	Nuevo	**Montaje de Andamios por cambio metodologia enPVAC-PD-S04-01 y BZD-001**	ML	$ 98,777,683
1.3	Nuevo	**Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-10 y BZD-010**	ML	$ 63,695,926
1.4	Nuevo	**Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-09 y BZD-009**	ML	$ 63,695,926
1.5	Nuevo	**Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-08 y BZD-008**	ML	$ 63,695,926
1.6	Nuevo	**Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-07 y BZD-007**	ML	$ 63,695,926
1.7	Nuevo	**Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-06 y BZD-006**	ML	$ 65,655,801

Figura 56: Costos asociados a construcción de torre de andamios NDC n°16 Rev2

De esta manera, para el efecto de cálculo, los puntos de vaciado y buzones propiamente tal

que se usarán para la evaluación son: **PVAC y Buzón 1; PVAC y Buzón 2; PVAC y Buzón 6; PVAC y Buzón 7; PVAC y Buzón 8; PVAC y Buzón 9; PVAC y Buzón 10.**

- **Compra de andamios ante cambio de metodología:** A lo que, al momento de realizar dicho presupuesto, **al** considerar una compra de andamios, se adjunta la compra de lote único según lo comentado por **la** empresa contratista al estimar el presupuesto fijado, debido a factores a considerar, como lo es el transporte desde Antofagasta hasta la mina subterránea S04 en Chuquicamata y el material a utilizar. De esta forma se alcanza un valor de 141.597.211 CLP correspondiente a la compra de andamios para dicho lote de 7 torres, siendo este un valor considerado como **costo fijo**, ya que, independiente de la cantidad de andamios comprada, el coste de transporte de flete de lote será sí o sí el precio recientemente mencionado. Para efectos de cálculo, han de haberse gestionado y tenido en cuenta los siguientes:

Materiales	**Valores (CLP)**
Andamios ALLROUND	126.246.571
Insumos andamios	362.863
Mano de obra	**Valores (CLP)**
Equipos y maquinaria	**Valores (CLP)**
Flete (Antofagasta - Obra) (Transturbo)	2.115.302
Costo indirecto	**Valores (CLP)**
10 % Gestión de compra	12.872.474
Total compra de lote andamios (costo fijo)	**141.597.211**

Tabla 18: Resumen de compra de lote andamios ante cambio de metodología

- **Costo asociado a montaje y desarmado de torre de andamios:** Para los efectos de cálculo de la compra de andamios, se han de considerar factores como materiales, mano de obra, equipo y maquinaria, y costos indirectos. Por lo que el desglose de ese valor, considerando que son 7 torres, el valor por cada lote de andamios por unidad de PVAC y buzón llega a 20.228.173 CLP. No obstante, es solamente un estimado dicho valor, ya que, como corres-

ponde a un costo fijo, solamente se hace para efectos de proximidad de valor unitario de compra y montaje para torre de andamios.

Una vez ya calculada la compra de ello, los costos asociados por cada punto de vaciado y buzón variarán y serán únicos por su unidad debido a efectos de diferencias de altura ante estructura subterránea debajo del macrobloque S04. De esta forma, ajustándose valores que van desde los $ 98.777.683 a $ 63.695.926 CLP, mostrándose la siguiente tabla con un desglose de monto total por cada caso a evaluar:

Tipo de estructura	Altura de torre de andamios (m)	Costo total de montaje
PVAC-PD-S04-02 y BZD-002	50,2	$ 98.385.708
PVAC-PD-S04-01 y BZD-001	50,4	$ 98.777.683
PVAC-PD-S04-10 y BZD-010	32,5	$ 63.695.926
PVAC-PD-S04-09 y BZD-009	32,5	$ 63.695.926
PVAC-PD-S04-08 y BZD-008	32,5	$ 63.695.926
PVAC-PD-S04-07 y BZD-007	32,5	$ 63.695.926
PVAC-PD-S04-06 y BZD-006	33,5	$ 65.655.801

Tabla 19: Altura de torre de andamios y costo total de montaje por estructura.

De esta manera, se consideraron los siguientes factores para cada composición financiera para el montaje de cada PVAC y buzón:

Mano de obra:
Acreditación e inducción
Operador camión con izamiento HIAB-200 y contraturno
Cuadrilla andamios
Cuadrilla andamios [JL1]
Materiales y suministros:
Suministro de terreno general
Cinta LED
Equipos, herramientas y combustibles:
Camión con rampla 28 ton
EHM directos
Petróleo
Lubricantes
Costos indirectos

Tabla 20: Desglose financiero para el montaje de cada PVAC y buzón

Asimismo, para cada una de las unidades evaluadas, se adjuntará un monto diferente debido a diferencias de costos. También, el valor de compra de andamios se ha dividido por 7 debido a que se contará con una estructuración total de lotes de 7 torres; siendo de esta forma que, en promedio, se estimará por unidad de andamios de su compra más montaje de “$ 94.171.444 CLP”, y un valor total de “$ 659.200.108 CLP” para el total de lotes de 7 Buzones + PVACs.

Presupuesto total para escenario de andamios	TOTAL	Unitario total	Promedio unitario
1. Venta de andamios por cambio de metodología en PVACs	$141.597.211		
2. Montaje de andamios en PVAC-PD-S04-02 y BZD-002	$98.385.708	$118.613.881	
3. Montaje de andamios en PVAC-PD-S04-01 y BZD-001	$98.777.683	$119.005.856	
4. Montaje de andamios en PVAC-PD-S04-10 y BZD-010	$63.695.926	$83.924.099	$94.171.444
5. Montaje de andamios en PVAC-PD-S04-09 y BZD-009	$63.695.926	$83.924.099	
6. Montaje de andamios en PVAC-PD-S04-08 y BZD-008	$63.695.926	$83.924.099	
7. Montaje de andamios en PVAC-PD-S04-07 y BZD-007	$63.695.926	$83.924.099	
8. Montaje de andamios en PVAC-PD-S04-06 y BZD-006	$65.655.801	$85.883.974	
Total	**$659.200.108**		

Tabla 21: Presupuesto total para escenario de andamios

Por ende, ya obtenidos los costos asociados a la compra del lote total de andamios por utilizar, contemplando todo lo que a transporte, mano de obra y traslado desde Antofagasta hasta instalaciones que se contempla, y, de igual forma, teniendo en cuenta el valor de montaje de torre de andamios desde buzón hasta lo alto de pique a armar para los 7 PVACs por construir restantes, ya se puede hacer una **estimación** para los casos de armado unitario de Buzón + torre Pique PVAC; para el caso de los 7 Buzones + PVACs restantes; y para el caso de contemplar si todo el macrobloque subterráneo de mina S04 se hubiese construido dicho tapado con andamios en vez de con marinas, como se muestra en la siguiente tabla:

Casos	Valores en CLP
Valor unitario total armado torre andamios Buzón + PVAC	$94.171.444
Valor total armado torre andamios para 7 Buzón + PVAC restantes	**$659.200.108**

Tabla 22: Costo asociado a armado y retiro de torre de andamios

8.4.3. Comparativa financiera entre ambos métodos

Ya teniendo los resultados obtenidos mediante ambas metodologías, se puede obtener un desglose comparativo tanto para el caso del valor unitario para el llenado/armado y retiro de material marinas vs. torre de andamios; valor total para los 7 PVACs + Buzones restantes por construir; y el valor total considerándose para futuros proyectos, por ejemplo, en un siguiente macrobloque a construir, como lo es el macrobloque S05, ya que se puede realizar la proyección en algún caso hipotético en que algún macrobloque completo se construya utilizando dentro de ellos el proceso metodológico de llenado con material marinas como con material andamios:

Casos	Método marina	Método andamio
Valor unitario total	$160.820.455	$94.171.444
Valor total 7 Buzón + PVAC por construir	$1.125.743.182	$659.200.108
Valor total considerando todo macrobloque 10 PVACs + Buzón	$1.608.204.546	$941.714.440

Tabla 23: Comparativa financiera entre ambas metodologías

Siendo así que, al momento de generar una comparativa con lo que respecta a costos dichos en ambas metodologías, se puede estimar que hay un **41,5 %** más de costos al comparar la metodología de marinas respecto a la metodología de andamios, dando a conocer que, en efecto, para todos los casos evaluados, la metodología con material de andamios es menos costosa que la metodología con llenado y retiro de marinas. Por lo que se debe tener en cuenta que el costo asociado al material marinas es continuo; esto quiere decir que, como abarca su nomenclatura de cálculo con [$/Ton] y [$/Ton-km], se puede hacer estimaciones con la única variable de las toneladas y kilómetros recorridos como sistema de gasto. **No así,** el sistema de metodología con andamios permite generar un pago único por lote comprado, que, en el caso de estudio, ha sido a través de un contrato **estipulando** los 7 PVACs–Buzón faltantes. Por lo que las estimaciones se hicieron de forma comparativa para dichos casos, pero se debe tener en consideración ello al momento de evaluarse

la posibilidad de utilizar la nueva propuesta.

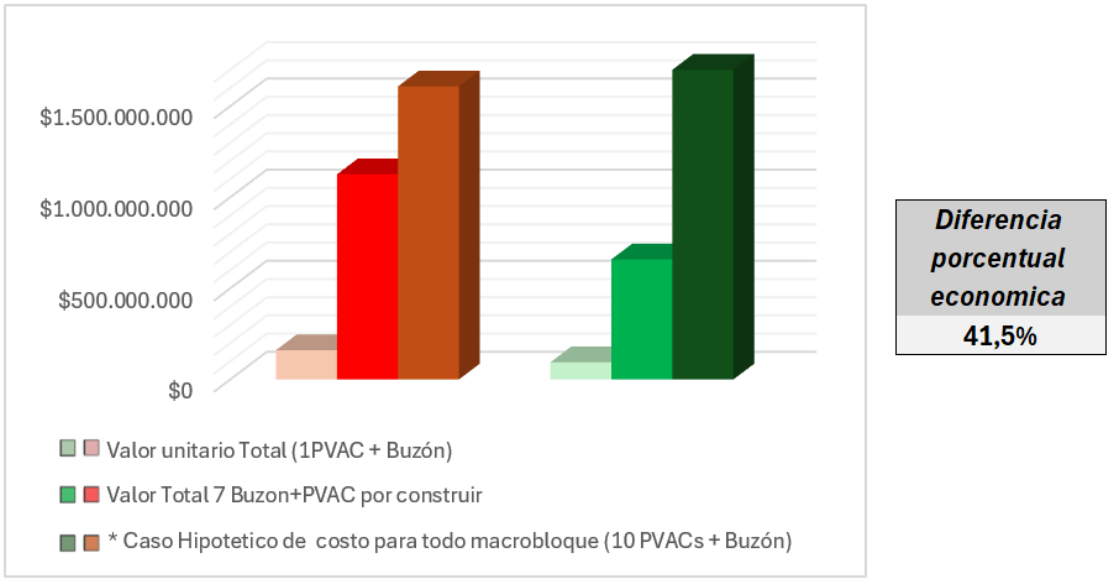


Figura 57: Comparación económica de forma gráfica entre ambos modelos y porcentual

9. Conclusiones y Recomendaciones

El análisis comparativo realizado entre la metodología tradicional con material marinas y la alternativa con torres de andamios para la construcción de puntos de vaciado (PVAC–buzón) en el Macrobloque S04 de Chuquicamata Subterránea permite establecer lineamientos claros para la toma de decisiones en proyectos futuros. La evidencia obtenida demuestra que la metodología con andamios presenta ventajas sustantivas en términos de reducción de plazos constructivos, disminución del tonelaje movilizado, mejora del perfil de seguridad frente a riesgos críticos definidos por los Estándares de Control de Fatalidad (ECF) y, en consecuencia, un impacto positivo en la productividad global del proyecto.

En primer lugar, se constata que el uso de andamios elimina la necesidad de rellenar completamente el pique con material marinas, lo que reduce de manera significativa el volumen de material a manipular y, con ello, los costos logísticos y los riesgos asociados a su retiro. Esta simplificación operacional evita escenarios de incertidumbre vinculados a atascamientos, colgaduras o tronaduras de desbloqueo, así como a condiciones ambientales que afectan el comportamiento del material suelto; contingencias que en experiencias previas han derivado en retrasos considerables, como se evidenció en el caso del buzón N.º 3, donde el retiro de marinas se prolongó por más de tres meses. La menor manipulación de material se traduce, además, en una exposición reducida del personal a ambientes con polvo y polución, favoreciendo condiciones de trabajo más limpias y seguras.

En segundo término, los resultados permiten confirmar que la metodología con andamios reduce de manera sustantiva los plazos de construcción. Mientras el sistema tradicional con marinas requiere del orden de 220 días de ejecución, la alternativa de andamios completa el proceso

en un rango cercano a 75 días, equivalente a una mejora superior al 65 %. Esta reducción se explica por la disponibilidad de un *buzón limpio* desde etapas tempranas, que habilita la ejecución simultánea de trabajos complementarios (pavimentos, canalizaciones eléctricas e instalaciones hidráulicas) y acorta la ruta crítica, aportando una flexibilidad que la metodología con marinas no permite con la misma confiabilidad, permitiendo de esa forma que para las próximas construcciones subterráneas de MB, referentes a infraestructuras no mineras con metodologías acordes a los ECF, una puesta en marcha a operaciones temprana con un 65 % más rápido acorde a plazos constructivos respecto a metodologías tradicionales.

Desde la perspectiva de seguridad, la metodología de andamios muestra una mayor alineación con los ECF, particularmente en relación con el Riesgo Crítico N.º 16: *caída a pique*. Al reducir la manipulación y el retiro masivo de marinas en cercanía de bordes activos, disminuye la probabilidad de incidentes graves y se incrementa la confiabilidad de la operación. La implementación de barreras físicas, arneses y sistemas de retención se ve reforzada por un entorno de trabajo más ordenado y predecible. Cabe consignar que su implementación fue posible mediante acuerdos operacionales entre la administración del proyecto, la Gerencia de Seguridad Minera y el personal contratista, formalizando condiciones habilitantes y controles previos de riesgo.

En términos económicos, el comparativo de costos confirma que la metodología de andamios resulta más eficiente a nivel integral. Aunque su adopción contempla la inversión inicial en suministro y montaje de torres, esta se compensa por la reducción de gastos asociados al transporte y retiro de marinas, la menor probabilidad de reprocesos y la mayor previsibilidad de plazos. En conjunto, se proyecta una ventaja del orden del 42 % en los costos globales, reforzando su viabilidad para macrobloques futuros, ya que a diferencia de una metodología tradicional que consta con valores de 1.608 MM $, con incorporación de andamios como nueva propuesta ayudará a te-

ner valores aproximados de 881 MM $, siendo estos con una capacidad de diferencia de un 42 % referente a los costos para un macrobloque.

Un aspecto complementario y central es la relación directa entre plazos de construcción y productividad. Cada día de reducción en la construcción de los PVAC–buzón impacta en la liberación temprana de infraestructura no minera y en la habilitación anticipada de los sistemas de traspaso y acarreo, generando beneficios en la continuidad operativa de la mina y en la capacidad de anticipar el plan productivo. Asimismo, la repetición de procesos constructivos con andamios promueve un aprendizaje acumulativo: a medida que se ejecutan más PVAC bajo un estándar estable, los plazos tienden a acotarse gracias a la estandarización de prácticas y a la captura de lecciones aprendidas. No obstante, esta tendencia positiva no está exenta de variables externas (interferencias, servicios, geotecnia local) que pueden incidir en la ruta crítica, como lo demostró el caso del buzón N.º 3 en la metodología con marinas.

Es así como la evidencia técnica, operativa y de seguridad respalda que la metodología con andamios supera a la opción con marinas en el MB S04: reduce tiempos llegando a acotar alrededor de 100 días, disminuye el tonelaje a manipular en 3.000 toneladas, baja la exposición a riesgos críticos y entrega mayor previsibilidad al camino crítico y económico con un 42 % menos costoso al asumir la construcción para un sistema de traspaso. La consecuencia directa es una mejora de la productividad del proyecto como puesta temprana a operaciones y un mejor perfil de costos y riesgos para su replicación en macrobloques siguientes, llegando económicamente a costos de $941.714.440 CLP en usos para un macrobloque en particular a construir, considerando 10 sistemas de traspasos de minerales para las siguientes proyecciones futuras a construir dentro de los próximos proyectos subterráneos de infraestructura subterránea no minera, consolidando un cambio metodológico de valor para la minería subterránea nacional.

Factores a considerar para STM en un MB	Tradicional (uso con marina STM)	Propuesto (uso con andamios STM)
✓ **Riesgo de colgadura de pique**	Piques Verticales 3, 4 y 5 (atorados con marina)	Sin riesgo de colgadura de pique (pique no se llena)
✓ **Remanejo de marinas**	~ 5.422 ton (pique + buzón)	~ 2.051 ton (buzón)
✓ **Condiciones ambientales (t°,Polución)**	Extracción de marina en buzón aledaño al montaje	Sin marina
✓ **Tiempo**	90 días solo en marina (llenado y retiro)	26 días (arme y desarme torre)
✓ **Simultaneidad de trabajos (brocal y buzón)**	No permite	Trabajos en simultáneo en buzón (fuera de la vertical): Pavimentos, Consolas, Recintos Electricos-Hidraulicos, canalizaciones
✓ **Plazos constructivos**	± 168 días	± 79 días (un 32% menos)
✓ **Económico (para 1 MB con 10 STM)**	1.608 MM$	881 MM$ (141 MM$ de CF + CV)

Proyección: *La metodología de andamios puede estandarizarse en Chuquicamata (MB-S05 en adelante), marcando un cambio en las infraestructuras de obras civiles subterráneas.*

Figura 58: Tabla comparativa y proyección para futura infraestructura no minera en Chuquicamata Subterránea

Las **recomendaciones** derivadas de este estudio apuntan a fortalecer la transición hacia metodologías constructivas más eficientes y seguras. Se sugiere incorporar de manera sistemática la evaluación y adopción de andamios como alternativa preferente en el diseño y construcción de PVAC–buzón en macrobloques futuros (p. ej., S05 en adelante) **para la División de Chuquicamata**, formalizando procedimientos, controles ECF y criterios de constructibilidad desde la ingeniería. Resulta pertinente estandarizar protocolos de implementación y medición de desempeño (incluyendo indicadores de plazo y rendimiento), integrando la experiencia del MB S04 para retroalimentar la planificación y el aseguramiento de calidad. Como proyección, se recomienda profundizar en estudios que evalúen la aplicabilidad de esta metodología bajo diferentes condiciones geotécnicas y logísticas, así como su efecto de largo plazo en la sostenibilidad de las operaciones subterráneas y en la estabilidad del plan productivo.

10. Anexos

10.1. Procesos constructivos OOCC mineras e infraestructura a construir en MBS04

Macro Bloques	Área a Incorporar	Comentarios sobre el Alcance
S02-S03	87.512 m^2	Se financia obras remanentes (API N14MS03 realizó parte de las obras)
S04	89.430 m^2	Financia todas las obras.

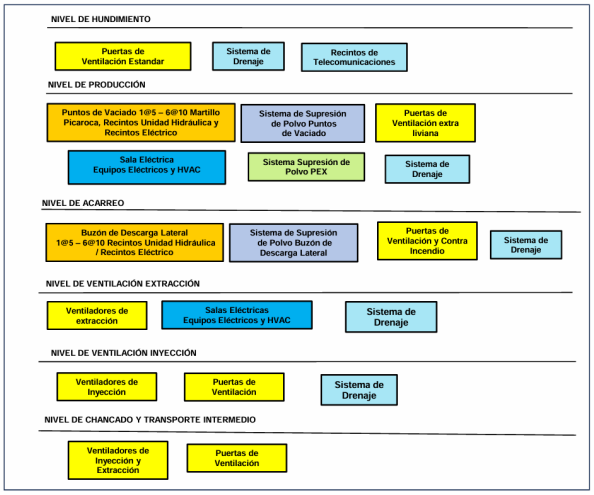
((a)) Área total obras civiles construidas en MB S04

		MB N41	MB N42	MB S04
Minería				
Desarrollos horizontales	m	18.561		24.724
Desarrollos verticales	m	4.586		4.538
Transporte de marinas	t-km	2.048.611		4.751.064
Pavimentos	m^2	48.133		57.077
PEX	un	159	125	272
Muro confinamiento	m	8.132		7.650
Punto de Vaciado	un	-	-	10

((b)) Extracto Alcance de Principales Obras Mineras AGD Fase 1

Macrobloque	Reservas Mineras (kt)	Inicio de Producción	Área incorporada (m^2)	Producción Promedio en Régimen (tpd)
N41/N42	65.923	Sep-24	88.640	35.500
S04	82.607	Ago-25	89.430	38.000

((a)) Características de productivas MB N41/42 y S04



((b)) Infraestructuras mineras por construir en MBS04 según su nivel subterráneo en Chuquicamata

10.2. Riesgos, ECF, RC n°16



CONTROLES CRÍTICOS y requisitos de control de: Diseño (D), Operatividad y Mantenibilidad (OyM) y Entrenamiento y Competencias (EyC) por RC corporativo

N°	RIESGO CRÍTICO	ÍCONO	N°	RIESGO CRÍTICO	ÍCONO
1	Contacto con energía eléctrica en intervención de equipo eléctrico		12	Contacto o radiación con material fundido / Temperaturas extremas	
2	Caída a distinto nivel por trabajos en altura		13	Caída de objetos de distinto nivel	
3	Aplastamiento por carga suspendida / Maniobras de izaje de cargas		14	Operación ferroviaria	
4	Contacto con energías peligrosas por liberación descontrolada (neumática, hidráulica, térmica, mecánica, potencial, química, otras)		15	Avalanchas / Aludes	
5	Caída de rocas, derrumbes, colapso de talud, falla de pilas mina rajo, botadero, pilas por falla de terreno		16	Caída a piques en puntos de vaciado y chimeneas	
6	Incendio		17	Bombeo agua barro	
7	Contacto con ácido sulfúrico concentrado		18	Atrapamiento por caída de rocas / Planchoneo (control de terreno)	
8	Explosión por manejo, transporte, uso (tronadura) o almacenamiento de explosivos		19	Estallido de rocas	
9	Atrapamiento en equipos con partes o piezas móviles		20	Exposición a polvo con contenido de sílice sobre el límite permisible	
10	Choques, colisiones, atropellos, volcamientos y desbarrancamiento, por conducción de vehículos o equipos		21	Exposición a arsénico inorgánico (soluble generado en tostación y fundición)	
11	Exposición a atmósferas peligrosas / Falta de oxígeno (asfixia) / Intoxicación en espacios confinados y sectores abandonados		22	Caída a distinto nivel por colapso de estructura de piso, escaleras y barandas	

N° Riesgos Críticos	N° Controles Críticos	N° Requisitos de Controles Críticos: 513		
		Diseño (D)	Operatividad y Mantenibilidad (OyM)	Entrenamiento y Competencias (EyC)
22	122	187	182	144

((a)) Guía controles críticos y riesgos operacionales CODELCO, Controles críticos



RIESGO CRÍTICO 16
Caída a piques en puntos de vaciado o chimeneas

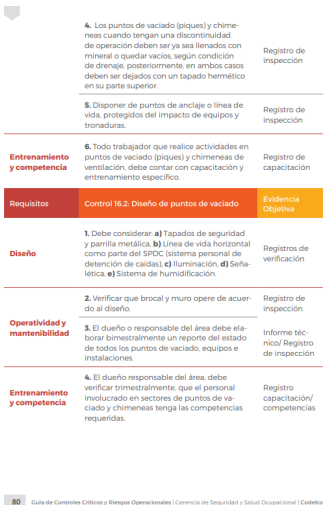
OBJETIVO:
Eliminar o controlar el riesgo crítico de incidentes de alto potencial (IAP), accidentes graves y fatales producto de caída a piques en puntos de vaciado o chimeneas.

CONTROLES CRÍTICOS APLICABLES:

Riesgo Crítico N°16	Controles Críticos	Requisitos D	OyM	EyC
Caída a piques en puntos de vaciado o chimeneas	**16.1** Segregación de puntos de vaciado	2	3	1
	16.2 Diseño de puntos de vaciado	1	2	1
	16.3 Mantenimiento en los puntos de vaciado	1	2	1
	16.4 Sistema personal para detención de caídas (SPDC)	2	1	1
	16.5 Iluminación	1	1	1
	16.6 Señalización / Segregación	1	2	1
	6 Controles Críticos y 25 requisitos	**8**	**11**	**6**

Requisitos	Control 16.1: Segregación de puntos de vaciado	Evidencia Objetiva
Diseño	**1.** Los Procedimientos y/o Instructivos de operación de equipos LHD y/o camiones deben contener los controles que regulen la descarga en puntos de vaciado.	Procedimientos y/o Instructivos
	2. Los piques deben contar con un análisis de riesgo que defina la protección que contendrán los puntos de vaciado.	Análisis de riesgo y documentos asociados
Operatividad y mantenibilidad	**3.** Contar con segregación o "muro tope" en todo el perímetro en los puntos de vaciado, que mida 1/3 de diámetro de la rueda del equipo minero mayor que opera en el pique o a una altura de 50 cm.	Registro de inspección

((b)) Guía controles críticos y riesgos operacionales CODELCO, Riesgo Crítico n°16 parte 1



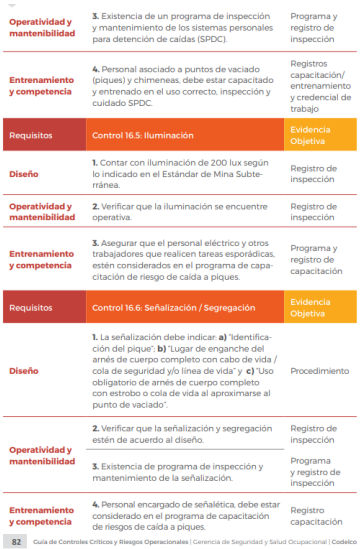
	4. Los puntos de vaciado (piques) y chimeneas cuando tengan una discontinuidad de operación deben ser ya sea llenados con mineral o quedar vacíos, según condición de drenaje, posteriormente, en ambos casos deben ser dejados con un tapado hermético en su parte superior.	Registro de inspección
	5. Disponer de puntos de anclaje o línea de vida, protegidos del impacto de equipos y tronaduras.	Registro de inspección
Entrenamiento y competencia	**6.** Todo trabajador que realice actividades en puntos de vaciado (piques) y chimeneas de ventilación, debe contar con capacitación y entrenamiento específico.	Registro de capacitación
Requisitos	Control 16.2: Diseño de puntos de vaciado	Evidencia Objetiva
Diseño	**1.** Debe considerar: **a)** Tapados de seguridad y parrilla metálica; **b)** Línea de vida horizontal como parte del SPDC (sistema personal de detención de caídas), **c)** Iluminación, **d)** Señalética, **e)** Sistema de humidificación.	Registros de verificación
Operatividad y mantenibilidad	**2.** Verificar que brocal y muro opere de acuerdo al diseño.	Registro de inspección
	3. El dueño o responsable del área debe elaborar bimestralmente un reporte del estado de todos los puntos de vaciado, equipos e instalaciones.	Informe técnico/ Registro de inspección
Entrenamiento y competencia	**4.** El dueño responsable del área, debe verificar trimestralmente, que el personal involucrado en sectores de puntos de vaciado y chimeneas tenga las competencias requeridas.	Registro capacitación/ competencias

((c)) Guía controles críticos y riesgos operacionales CODELCO, Riesgo Crítico n°16 parte 2



Requisitos	Control 16.3: Mantenimiento en los puntos de vaciado	Evidencia Objetiva
Diseño	**1.** Si el punto de vaciado: **a)** Está dotado de parrillas y requiere de mantenimiento (martillo rompe rocas, redes de servicios), se debe rellenar la parrilla con mineral de granulometría mayor a la abertura de la parrilla (emparrillado de pique), **b)** Si no cuenta con parrillas, se debe realizar un tapado de madera que cubra la totalidad de la superficie del pique.	Plan y programa de inspección / SAP
Operatividad y mantenibilidad	**2.** Cuando se requiera intervenir el punto de vaciado en el caso de reparación de una parrilla, muro o brocal, se deberá trabajar con el pique lleno de mineral, el buzón bloqueado y el tapado de madera, afianzado a cajas y techos.	Registro de inspección/ Check List
	3. El emparrillado de pique y los tapados de madera no deben ser utilizados como plataformas de trabajo.	Señalética / Registro de inspección/ Capacitación
Entrenamiento y competencia	**4.** El personal de mantenimiento debe contar con las competencias (aptitudes, conocimiento y destrezas) necesarias para el desarrollo de las actividades.	Registro de capacitación
Requisitos	Control 16.4: Sistema personal para detención de caídas (SPDC)	Evidencia Objetiva
Diseño	**1.** El sistema personal para detención de caídas (SPDC) y accesorios del sistema deben contar con certificación y/o memoria de cálculo correspondiente.	Certificación de los componentes/ accesorios del SPDC
	2. Contar con criterios o especificaciones técnicas que permitan validar que el equipo utilizado (SPDC) sea el adecuado para las características de las actividades a realizar.	Criterio o especificación técnica firmada

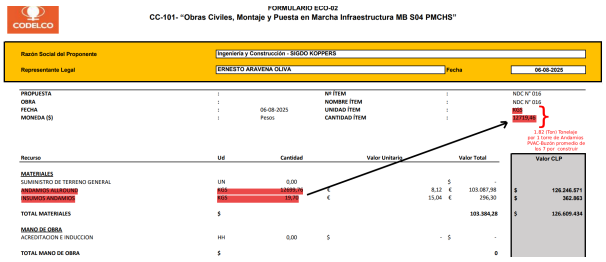
((a)) Guía controles críticos y riesgos operacionales CODELCO, Riesgo Crítico n°16 parte 3



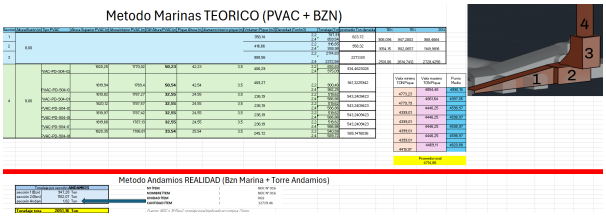
Operatividad y mantenibilidad	**3.** Existencia de un programa de inspección y mantenimiento de los sistemas personales para detención de caídas (SPDC).	Programa y registro de inspección
Entrenamiento y competencia	**4.** Personal asociado a puntos de vaciado (piques) y chimeneas, debe estar capacitado y entrenado en el uso correcto, inspección y cuidado SPDC.	Registros capacitación/ entrenamiento y credencial de trabajo
Requisitos	Control 16.5: Iluminación	Evidencia Objetiva
Diseño	**1.** Contar con iluminación de 200 lux según lo indicado en el Estándar de Mina Subterránea.	Registro de inspección
Operatividad y mantenibilidad	**2.** Verificar que la iluminación se encuentre operativa.	Registro de inspección
Entrenamiento y competencia	**3.** Asegurar que el personal eléctrico y otros trabajadores que realicen tareas esporádicas, estén considerados en el programa de capacitación de riesgo de caída a piques.	Programa y registro de capacitación
Requisitos	Control 16.6: Señalización / Segregación	Evidencia Objetiva
Diseño	**1.** La señalización debe indicar: **a)** "Identificación del pique"; **b)** "Lugar de enganche del arnés de cuerpo completo con cabo de vida / cola de seguridad y/o línea de vida" y **c)** "Uso obligatorio de arnés de cuerpo completo con estrobo o cola de vida al aproximarse al punto de vaciado".	Procedimiento
Operatividad y mantenibilidad	**2.** Verificar que la señalización y segregación estén de acuerdo al diseño.	Registro de inspección
	3. Existencia de programa de inspección y mantenimiento de la señalización.	Programa y registro de inspección
Entrenamiento y competencia	**4.** Personal encargado de señalética, debe estar considerado en el programa de capacitación de riesgos de caída a piques.	Registro capacitación

((b)) Guía controles críticos y riesgos operacionales CODELCO, Riesgo Crítico n°16 parte 4

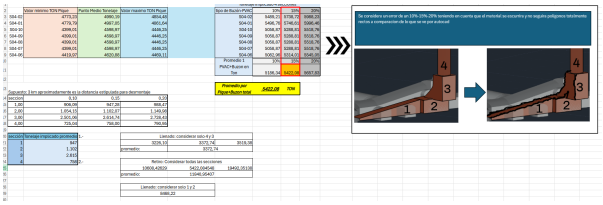
10.3. Método tonelaje material Andamios



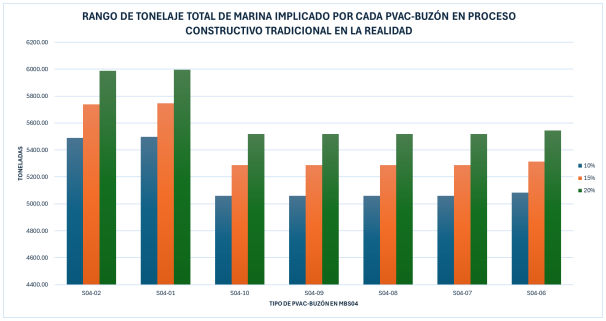
((a)) Tonelaje promedio estimado en metodología andamios ante contrato NDC n°16 Rev2



((b)) Cálculo total de tonelaje implicado con material marinas en planilla Excel

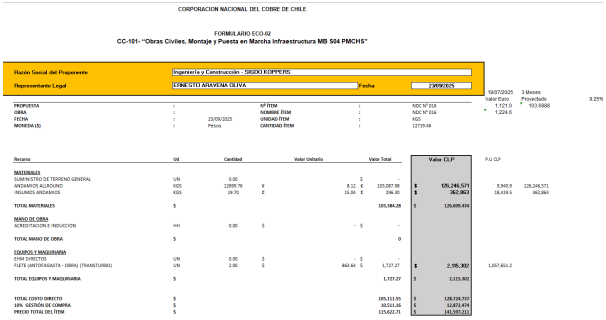


((a)) Cálculo de tonelaje implicado por secciones en planilla Excel

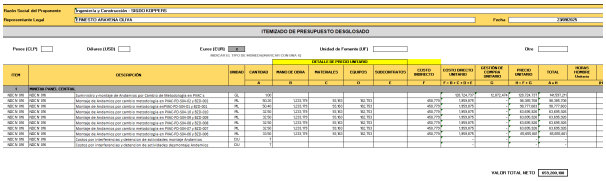


((b)) Rango de tonelaje total de marinas implicado por cada PVAC-Buzón en proceso constructivo tradicional

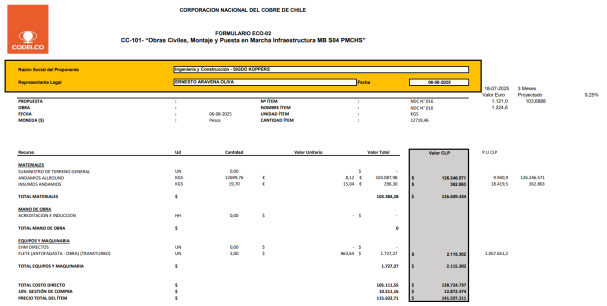
10.4. Método financiero material Andamios



((a)) Desglose financiero para metodología de andamios



((b)) Desglose financiero para metodología de andamios detallado



CORPORACION NACIONAL DEL COBRE DE CHILE

FORMULARIO ECO-02
CC-101- "Obras Civiles, Montaje y Puesta en Marcha Infraestructura MB S04 PMCHS"

Razón Social del Proponente	:	Ingeniería y Construcción - SIGDO KOPPERS	
Representante Legal	:	ERNESTO ARAVENA OLIVA	Fecha : 06-08-2025

						18-07-2025	3 Meses	
PROPUESTA	:		Mi ITEM	:	NOC N° 016	Valor Euro	Proyectado	9.25%
OBRA	:		NOMBRE ITEM	:	NOC N° 016	1.121,0	103.6806	
FECHA	:	06-08-2025	UNIDAD ITEM	:	KGS	1.224,6		
MONEDA ($)	:	Pesos	CANTIDAD ITEM	:	12739,46			

Recurso	Ud	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total	Valor CLP	P.U CLP	
MATERIALES							
SUMINISTRO DE TERRENO GENERAL	UN	0,00		$ -	-		
ANDAMIOS ALLROUND	KGS	12695,76	€ 8,12	€ 103.087,96	$ 128.240.371	9.940,9	126.246.571
INSUMOS ANDAMIOS	KGS	33,70	€ 13,04	€ 439,30	$ 382.863	10.413,5	362.863
TOTAL MATERIALES	$			103.084,28	$ 126.689.434		
MANO DE OBRA							
ACREDITACION E INDUCCION	HH	0,00	$ -	$ -	-		
TOTAL MANO DE OBRA	$			0			
EQUIPOS Y MAQUINARIA							
EHM DIRECTOS	UN	0,00	$ -	$ -	-		
FLETE (ANTOFAGASTA - OBRA) (TRANSITURBO)	UN	0,00	$ 863,64	$ 1.727,27	$ 2.155.302	1.057.651,2	
TOTAL EQUIPOS Y MAQUINARIA	$			1.727,27	$ 2.155.302		
TOTAL COSTO DIRECTO	$			105.111,55	$ 128.734.737		
10% GESTIÓN DE COMPRA	$			10.511,16	$ 12.872.474		
PRECIO TOTAL DEL ITEM	$			115.622,71	$ 141.597.211		

((a)) Compra y flete de andamios por cambio de metodología en PVAC´s

1.2	Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-02 y BZD-002	50.2	ML	1,959,874.7	98,385,708
Código	Descripción	Cantidad	Unid	P. Unit.	Total
C26830021	**Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-02 y BZD-002**	1	ML		
1.- MANO DE OBRA					
854070000	ACREDITACION E INDUCCION	58.41940995	UN	860.1	50,248
905113500	OPERADOR CAMION C/ IZAMIENTO HIAB-200 y Contraturno	0.006611	MES	6,452,524.7	42,660
905112850	OPERADOR PLATAFORMA ELEVADORA bajo 100 pies y Contraturno		MES	5,987,214.3	-
929551000	CUADRILLA ANDAMIOS	29.20970498	HH	18,926.9	552,850
929551001	CUADRILLA ANDAMIOS [JL1]	29.20970498	HH	20,110.5	587,421
2.- MATERIALES Y SUMINISTROS					
440000000	SUMINISTRO DE TERRENO GENERAL	58.41940995	UN	1,172.6	68,504
700000001	FLETE MATERIALES A OBRA		KG	0.0	-
	Cinta LED	3.121351314	ML	7,900.0	24,659
3.- EQUIPOS, HERRAMIENTAS y COMBUSTIBLES					
853024700	GRUA HORQUILLA, 5TON		HORA	0.0	-
853030600	CAMION CON RAMPLA 28 TON	0.013987098	MES	9,857,529.3	137,878
853024710	MANIPULADOR TELESCOPICO 3T		HORA	0.0	-
854050000	EHM DIRECTOS	58.41940995	UN	206.2	12,043
854200000	PETROLEO	35.75415553	LTS	918.3	32,832
854210000	PETROLEO EQ ESTACIONARIO	40.49844265	LTS	0.0	-
854300000	LUBRICANTES		%		
5.- COSTO INDIRECTO					
	Costo Indirecto	1	GI		450,779
	Precio Total $				98,385,708
	Precio Unitario $				1,959,875

((b)) Montaje en PVAC-PD-S04-02 y BZD-002

1.3	Montaje de Andamios por cambio metodologia enPVAC-PD-S04-01 y BZD-001	50.4	ML	1,959,874.7	98,777,683
Código	Descripción	Cantidad	Unid	P. Unit.	Total
C26830021	**Montaje de Andamios por cambio metodologia enPVAC-PD-S04-01 y BZD-001**	1	ML		
1.- MANO DE OBRA					
854070000	ACREDITACION E INDUCCION	58.41940995	UN	860.1	50,248
905113500	OPERADOR CAMION C/ IZAMIENTO HIAB-200 y Contraturno	0.006611	MES	6,452,524.7	42,660
905112850	OPERADOR PLATAFORMA ELEVADORA bajo 100 pies y Contraturno		MES	5,987,214.3	-
929551000	CUADRILLA ANDAMIOS	29.20970498	HH	18,926.9	552,850
929551001	CUADRILLA ANDAMIOS [JL1]	29.20970498	HH	20,110.5	587,421
2.- MATERIALES Y SUMINISTROS					
440000000	SUMINISTRO DE TERRENO GENERAL	58.41940995	UN	1,172.6	68,504
700000001	FLETE MATERIALES A OBRA		KG	0.0	-
	Cinta LED	3.121351314	ML	7,900.0	24,659
3.- EQUIPOS, HERRAMIENTAS y COMBUSTIBLES					
853024700	GRUA HORQUILLA, 5TON		HORA	0.0	-
853030600	CAMION CON RAMPLA 28 TON	0.013987098	MES	9,857,529.3	137,878
853024710	MANIPULADOR TELESCOPICO 3T		HORA	0.0	-
854050000	EHM DIRECTOS	58.41940995	UN	206.2	12,043
854200000	PETROLEO	35.75415553	LTS	918.3	32,832
854210000	PETROLEO EQ ESTACIONARIO	40.49844265	LTS	0.0	-
854300000	LUBRICANTES		%		
5.- COSTO INDIRECTO					
	Costo Indirecto	1	GI		450,779
	Precio Total $				98,777,683
	Precio Unitario $				1,959,875

((a)) Montaje en PVAC-PD-S04-01 y BZD-001

1.4	Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-10 y BZD-010	32.5	ML	1,959,874.7	63,695,926
Código	Descripción	Cantidad	Unid	P. Unit.	Total
C26830021	**Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-10 y BZD-010**	1	ML		
1.- MANO DE OBRA					
854070000	ACREDITACION E INDUCCION	58.41940995	UN	860.1	50,248
905113500	OPERADOR CAMION C/ IZAMIENTO HIAB-200 y Contraturno	0.006611	MES	6,452,524.7	42,660
905112850	OPERADOR PLATAFORMA ELEVADORA bajo 100 pies y Contraturno		MES	5,987,214.3	-
929551000	CUADRILLA ANDAMIOS	29.20970498	HH	18,926.9	552,850
929551001	CUADRILLA ANDAMIOS [JL1]	29.20970498	HH	20,110.5	587,421
2.- MATERIALES Y SUMINISTROS					
440000000	SUMINISTRO DE TERRENO GENERAL	58.41940995	UN	1,172.6	68,504
700000001	FLETE MATERIALES A OBRA		KG	0.0	-
	Cinta LED	3.121351314	ML	7,900.0	24,659
3.- EQUIPOS, HERRAMIENTAS y COMBUSTIBLES					
853024700	GRUA HORQUILLA, 5TON		HORA	0.0	-
853030900	CAMION CON RAMPLA 28 TON	0.013987098	MES	9,857,529.3	137,878
853024710	MANIPULADOR TELESCOPICO 3T		HORA	0.0	-
854050000	EHM DIRECTOS	58.41940995	UN	206.2	12,043
854200000	PETROLEO	35.75415553	LTS	918.3	32,832
854210000	PETROLEO EQ ESTACIONARIO	40.49844265	LTS	0.0	-
854300000	LUBRICANTES		%		
5.- COSTO INDIRECTO					
	Costo Indirecto	1	GI		450,779
	Precio Total $				63,695,926
	Precio Unitario $				1,959,875

((b)) Montaje en PVAC-PD-S04-10 y BZD-010

1.5	Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-09 y BZD-009	32.5	ML	1,959,874.7	63,695,926
Código	Descripción	Cantidad	Unid	P. Unit.	Total
C26830021	**Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-09 y BZD-009**	1	ML		
1.- MANO DE OBRA					
854070000	ACREDITACION E INDUCCION	58.41940995	UN	860.1	50,248
905113500	OPERADOR CAMION C/ IZAMIENTO HIAB-200 y Contraturno	0.006611	MES	6,452,524.7	42,660
905112850	OPERADOR PLATAFORMA ELEVADORA bajo 100 pies y Contraturno		MES	5,987,214.3	-
929551000	CUADRILLA ANDAMIOS	29.20970498	HH	18,926.9	552,850
929551001	CUADRILLA ANDAMIOS [JL1]	29.20970498	HH	20,110.5	587,421
2.- MATERIALES Y SUMINISTROS					
440000000	SUMINISTRO DE TERRENO GENERAL	58.41940995	UN	1,172.6	68,504
700000001	FLETE MATERIALES A OBRA		KG	0.0	-
	Cinta LED	3.121351314	ML	7,900.0	24,659
3.- EQUIPOS, HERRAMIENTAS y COMBUSTIBLES					
853024700	GRUA HORQUILLA, 5TON		HORA	0.0	-
853030600	CAMION CON RAMPLA 28 TON	0.013987098	MES	9,857,529.3	137,878
853024710	MANIPULADOR TELESCOPICO 3T		HORA	0.0	-
854050000	EHM DIRECTOS	58.41940995	UN	206.2	12,043
854200000	PETROLEO	35.75415553	LTS	918.3	32,832
854210000	PETROLEO EQ ESTACIONARIO	40.49844265	LTS	0.0	-
854300000	LUBRICANTES		%		
5.- COSTO INDIRECTO					
	Costo Indirecto	1	GI		450,779
	Precio Total $				63,695,926
	Precio Unitario $				1,959,875

((a)) Montaje en PVAC-PD-S04-09 y BZD-009

1.7	Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-08 y BZD-008	32.5	ML	1,959,874.7	63,695,926
Código	Descripción	Cantidad	Unid	P. Unit.	Total
C26830021	**Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-08 y BZD-008**	1	ML		
1.- MANO DE OBRA					
854070000	ACREDITACION E INDUCCION	58.41940995	UN	860.1	50,248
905113500	OPERADOR CAMION C/ IZAMIENTO HIAB-200 y Contraturno	0.006611	MES	6,452,524.7	42,660
905112850	OPERADOR PLATAFORMA ELEVADORA bajo 100 pies y Contraturno		MES	5,987,214.3	-
929551000	CUADRILLA ANDAMIOS	29.20970498	HH	18,926.9	552,850
929551001	CUADRILLA ANDAMIOS [JL1]	29.20970498	HH	20,110.5	587,421
2.- MATERIALES Y SUMINISTROS					
440000000	SUMINISTRO DE TERRENO GENERAL	58.41940995	UN	1,172.6	68,504
700000001	FLETE MATERIALES A OBRA		KG	0.0	-
	Cinta LED	3.121351314	ML	7,900.0	24,659
3.- EQUIPOS, HERRAMIENTAS y COMBUSTIBLES					
853024700	GRUA HORQUILLA, 5TON		HORA	0.0	-
853030800	CAMION CON RAMPLA 28 TON	0.013987098	MES	9,857,529.3	137,878
853024710	MANIPULADOR TELESCOPICO 3T		HORA	0.0	-
854050000	EHM DIRECTOS	58.41940995	UN	206.2	12,043
854200000	PETROLEO	35.75415553	LTS	918.3	32,832
854210000	PETROLEO EQ ESTACIONARIO	40.49844265	LTS	0.0	-
854300000	LUBRICANTES		%		
5.- COSTO INDIRECTO					
	Costo Indirecto	1	GI		450,779
	Precio Total $				63,695,926
	Precio Unitario $				1,959,875

((b)) Montaje en PVAC-PD-S04-08 y BZD-008

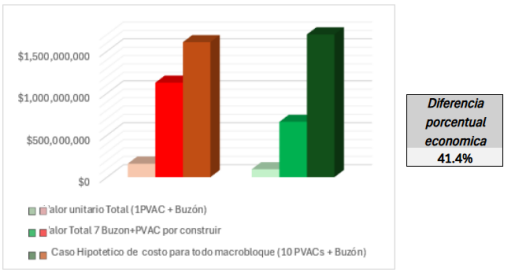
1.6	Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-07 y BZD-007	32.5	ML	1,959,874.7	63,695,926
Código	Descripción	Cantidad	Unid	P. Unit.	Total
C26830021	**Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-07 y BZD-007**	1	ML		
1.- MANO DE OBRA					
854070000	ACREDITACION E INDUCCION	58.41940995	UN	860.1	50,248
905113500	OPERADOR CAMION C/ IZAMIENTO HIAB-200 y Contraturno	0.006611	MES	6,452,524.7	42,660
905112850	OPERADOR PLATAFORMA ELEVADORA bajo 100 pies y Contraturno		MES	5,987,214.3	-
929551000	CUADRILLA ANDAMIOS	29.20970498	HH	18,926.9	552,850
929551001	CUADRILLA ANDAMIOS [JL1]	29.20970498	HH	20,110.5	587,421
2.- MATERIALES Y SUMINISTROS					
440000000	SUMINISTRO DE TERRENO GENERAL	58.41940995	UN	1,172.6	68,504
700000001	FLETE MATERIALES A OBRA		KG	0.0	-
	Cinta LED	3.121351314	ML	7,900.0	24,659
3.- EQUIPOS, HERRAMIENTAS y COMBUSTIBLES					
853024700	GRUA HORQUILLA, 5TON		HORA	0.0	-
853030600	CAMION CON RAMPLA 28 TON	0.013987098	MES	9,857,529.3	137,878
853024710	MANIPULADOR TELESCOPICO 3T		HORA	0.0	-
854050000	EHM DIRECTOS	58.41940995	UN	206.2	12,043
854200000	PETROLEO	35.75415553	LTS	918.3	32,832
854210000	PETROLEO EQ ESTACIONARIO	40.49844265	LTS	0.0	-
854300000	LUBRICANTES		%		
5.- COSTO INDIRECTO					
	Costo Indirecto	1	GI		450,779
	Precio Total $				63,695,926
	Precio Unitario $				1,959,875

((a)) Montaje en PVAC-PD-S04-07 y BZD-007

1.8	Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-06 y BZD-006	33.5	ML	1,959,874.7	65,655,801
Código	Descripción	Cantidad	Unid	P. Unit.	Total
C26830021	**Montaje de Andamios por cambio metodologia en PVAC-PD-S04-06 y BZD-006**	1	ML		
1.- MANO DE OBRA					
854070000	ACREDITACION E INDUCCION	58.41940995	UN	860.1	50,248
905113500	OPERADOR CAMION C/ IZAMIENTO HIAB-200 y Contraturno	0.006611	MES	6,452,524.7	42,660
905112850	OPERADOR PLATAFORMA ELEVADORA bajo 100 pies y Contraturno		MES	5,987,214.3	-
929551000	CUADRILLA ANDAMIOS	29.20970498	HH	18,926.9	552,850
929551001	CUADRILLA ANDAMIOS [JL1]	29.20970498	HH	20,110.5	587,421
2.- MATERIALES Y SUMINISTROS					
440000000	SUMINISTRO DE TERRENO GENERAL	58.41940995	UN	1,172.6	68,504
700000001	FLETE MATERIALES A OBRA		KG	0.0	-
	Cinta LED	3.121351314	ML	7,900.0	24,659
3.- EQUIPOS, HERRAMIENTAS y COMBUSTIBLES					
853024700	GRUA HORQUILLA, 5TON		HORA	0.0	-
853030600	CAMION CON RAMPLA 28 TON	0.013987098	MES	9,857,529.3	137,878
853024710	MANIPULADOR TELESCOPICO 3T		HORA	0.0	-
854050000	EHM DIRECTOS	58.41940995	UN	206.2	12,043
854200000	PETROLEO	35.75415553	LTS	918.3	32,832
854210000	PETROLEO EQ ESTACIONARIO	40.49844265	LTS	0.0	-
854300000	LUBRICANTES		%		
5.- COSTO INDIRECTO					
	Costo Indirecto	1	GI		450,779
	Precio Total $				65,655,801
	Precio Unitario $				1,959,875

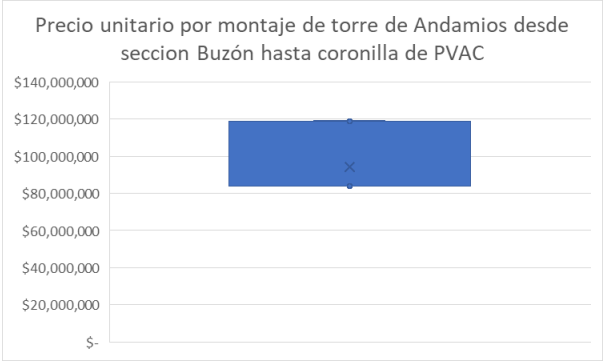
((b)) Montaje en PVAC-PD-S04-06 y BZD-006

casos	metodo Marina	Metodo Andamio
Valor unitario Total (1PVAC + Buzón)	$160,820,455	$94,171,444
Valor Total 7 Buzon+PVAC por construir	$1,125,743,182	$659,200,108
* Caso Hipotetico de costo para todo macrobloque (10 PVACs + Buzo	$1,608,204,546	$6,592,001,080



Diferencia porcentual economica
41.4%

((a)) Comparativa financiera entre ambos métodos



((b)) Diagrama de caja de precios promedio en montaje de torre de andamios para 7 PVAC-Buzones a construir según contrato NDC n°16 Rev2

10.5. Método financiero material Marinas

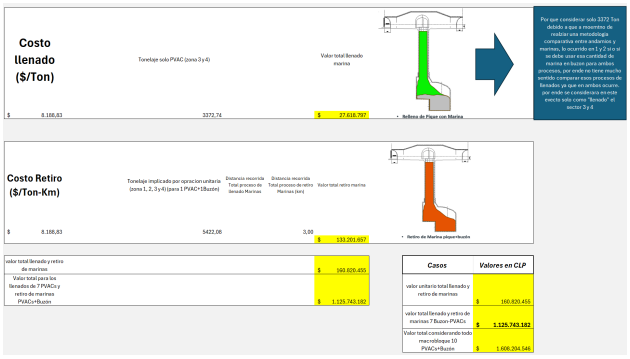


Figura 71: Planilla de calculo financiero material marinas en Excel

10.6. Comparativa financiera material Marinas y andamios

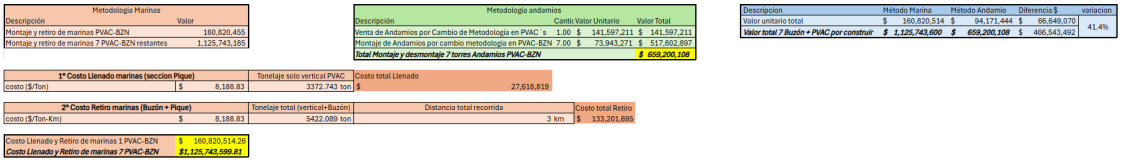
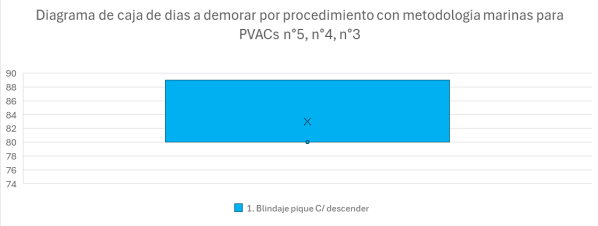
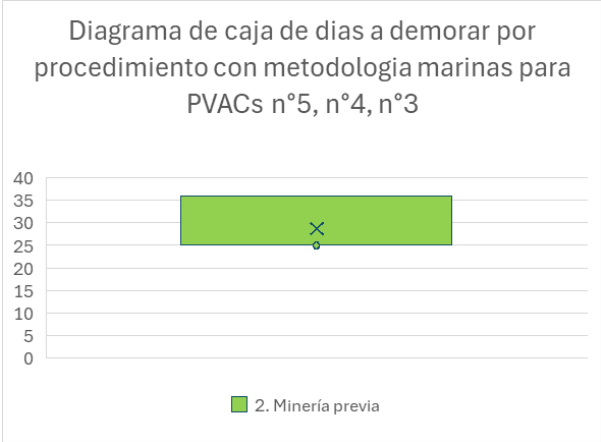


Figura 72: Calculos Comparativa financiera material Marinas y andamios

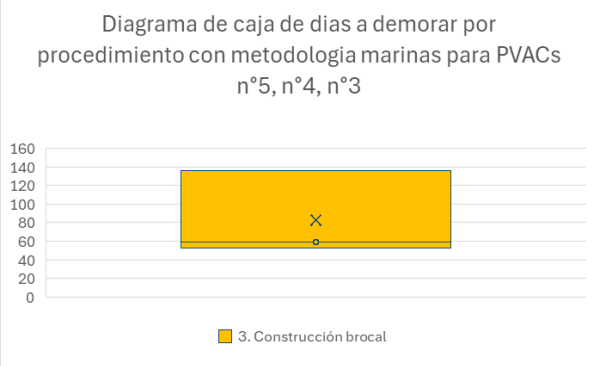
10.7. Método desglose temporal material Marina y Andamios



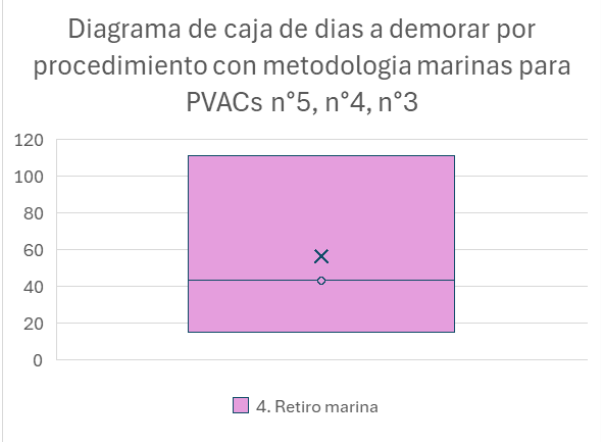
((a)) Diagrama de caja de días a demorar por procedimiento de perforación vertical y blindaje con metodología marinas para PVACs n°5, n°4, n°3



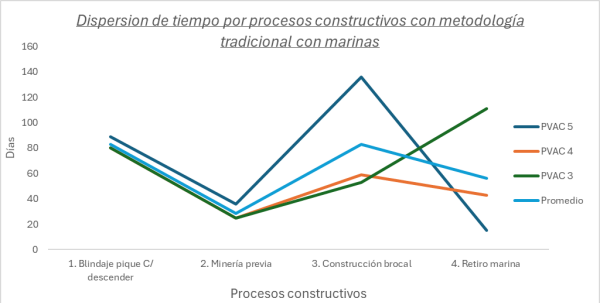
((b)) Diagrama de caja de días a demorar por procedimiento de minería previa con metodología marinas para PVACs n°5, n°4, n°3



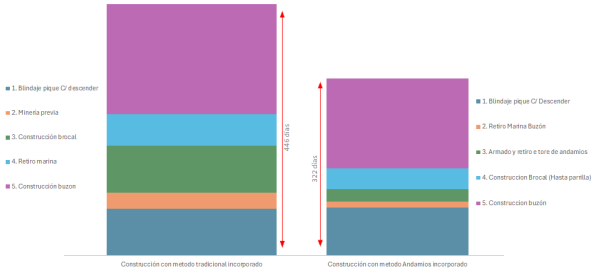
((a)) Diagrama de caja de días a demorar por procedimiento de construcción de brocal con metodología marinas para PVACs n°5, n°4, n°3



((b)) Diagrama de caja de días a demorar por procedimiento de retiro de marina con metodología marinas para PVACs n°5, n°4, n°3

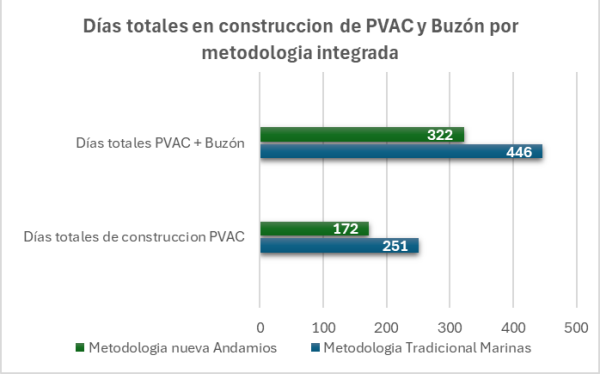


((a)) Dispersión de tiempo por procesos constructivos con metodología tradicional con marinas



((b)) Gráfico comparativo entre plazos de procesos constructivos por metodología utilizada proporcionada por datos recolectados

Figura 75: Comparación de tiempos en procesos constructivos bajo distintas metodologías



((a)) Días totales en construcción de PVAC-Buzón por metodología integrada

Contrato N°: 4600023597

GENERAL

Ítem	HH	Rend.	Homologación	Descripción	Unid.
1				Costo por impacto al PF por falta de entrega de aréas	
1.1	0,00	0,00	Nuevo	Venta de Andamios por Cambio de Metodología en PVAC's	GL
1.2	1.891,71	37,68	Nuevo	Montaje de Andamios por cambio metodología en PVAC-PD-S04-02 y BZD-002	ML
1.2	1.849,2	36,68	Nuevo	Montaje de Andamios por cambio metodología enPVAC-PD-S04-01 y BZD-001	ML
1.3	0,00	0,00	Nuevo	Montaje de Andamios por cambio metodología en PVAC-PD-S04-10 y BZD-010	ML
1.4	2.384,43	73,37	Nuevo	Montaje de Andamios por cambio metodología en PVAC-PD-S04-09 y BZD-009	ML
1.5	5.167,28	158,99	Nuevo	Montaje de Andamios por cambio metodología en PVAC-PD-S04-08 y BZD-008	ML
1.6	127,40	3,92	Nuevo	Montaje de Andamios por cambio metodología en PVAC-PD-S04-07 y BZD-007	ML
1.7	0,00	0,00	Nuevo	Montaje de Andamios por cambio metodología en PVAC-PD-S04-06 y BZD-006	ML
1.8	0,00	0,00	Nuevo	Costos por interferencias y detencion de actividades montaje Andamios	C/U
1.9	0,00	0,00	Nuevo	Costos por interferencias y detencion de actividades desmontaje Andamios	C/U

((b)) Desglose de tiempo requerido para montaje de cada una de las 7 torres por armar en contrato firmado NDC n°16 Rev2

Figura 76: Comparación de tiempos de construcción y montaje entre metodologías y contratos asociados

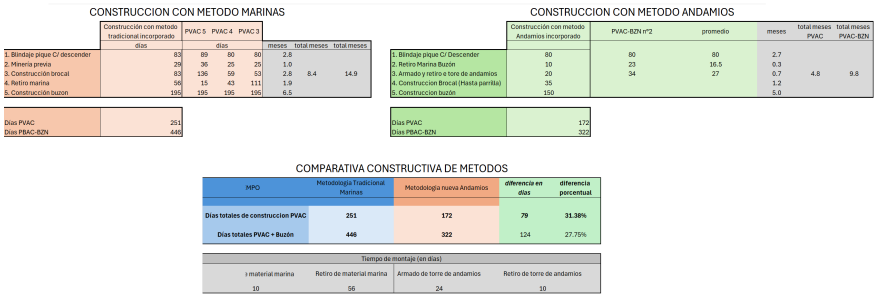
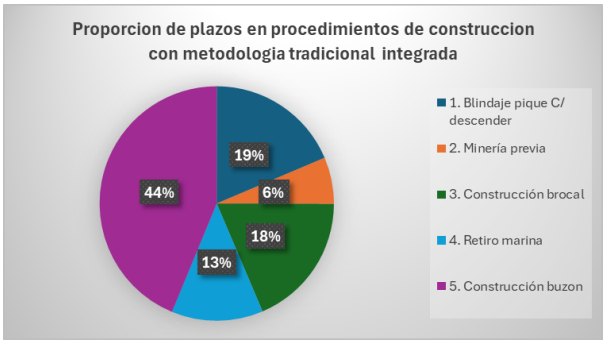
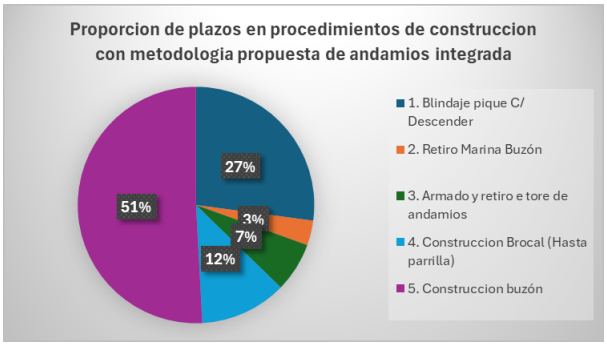


Figura 77: calculo de dias estimados en cada metodologia con respectivo datos reales recopilados poer personal de ingenieria y promedio con datos estimados



((a)) Proporción de plazos en procedimientos de construcción con metodología tradicional integrada en días



((b)) Proporción de plazos en procedimientos de construcción con metodología propuesta de andamios integrada en días

Figura 78: Comparación de proporción de plazos en procedimientos constructivos: metodología tradicional vs. metodología con andamios

Referencias

Biswas, A. K. and Davenport, W. G. (1994). *Extractive Metallurgy of Copper*. Pergamon, 4th edition.

Chitombo, G. (2010a). Cave mining: 16 years after laubscher's 1994 paper—key issues and future challenges. In *MassMin 2010 Proceedings*.

Chitombo, G. (2010b). *Geomechanics in Mining*. Oxford Press.

CII (Construction Industry Institute) (2012). Advanced work packaging: Improving construction work packaging. Technical report, University of Texas at Austin.

Cochilco (2022). Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales 2001–2022.

Cochilco (2023). Proyección de la minería del cobre en chile 2023–2035.

CODELCO (2020). Guía de controles críticos y riesgos operacionales.

CODELCO (2022a). Memoria anual 2022.

CODELCO (2022b). Proyecto mina chuquicamata subterránea.

CODELCO (2023). Reporte de sustentabilidad 2023.

CODELCO (2024). Informe de producción anual 2024.

CODELCO (2025). Informe trimestral q1 2025.

Darling, P., editor (2011). *SME Mining Engineering Handbook*. Society for Mining, Metallurgy & Exploration, 3rd edition.

Dirección de Presupuestos, Ministerio de Hacienda (2022). Informe de finanzas públicas.

Habashi, F. (1999). *Handbook of Extractive Metallurgy*. Wiley-VCH.

Hoek, E. (2007a). Practical rock engineering. Edición revisada en línea.

Hoek, E. (2007b). *Rock Engineering and Rock Mechanics*. Elsevier.

Houston, J. and Hartley, A. (2003). The central andean west-slope rainshadow and its potential contribution to the origin of hyper-aridity in the atacama desert. *International Journal of Climatology*, 23(12):1453–1464.

Hustrulid, W. A. and Bullock, R. L. (2001a). *Mining Engineering: A Practical Handbook for Engineers and Technicians in the Mining Industry*. Society of Mining Engineers.

Hustrulid, W. A. and Bullock, R. L., editors (2001b). *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies*. SME.

Laubscher, D. H. (2000a). Block caving and the transition to the underground mining of chuquicamata. *Journal of Mining and Technology*.

Laubscher, D. H. (2000b). *Block Caving Manual*. South African Institute of Mining and Metallurgy.

Meller, P. (2019). *La economía política del cobre en Chile*. CEPAL, Santiago.

Ministerio de Minería de Chile (2002). Decreto supremo n°132: Aprueba reglamento de seguridad minera. `https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=19478`. Diario Oficial de la República de Chile, 24 de enero de 2002.

O'Brien, J., Pappas, J., and Shvedov, S. (2020). Implementing advanced work packaging in industrial megaprojects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(4).

OECD (2023). Economic survey: Chile 2023.

SERNAGEOMIN (2019). Historia de chuquicamata: Desarrollo y transición minera.

SERNAGEOMIN (2021a). Informe sobre minería subterránea en chile.

SERNAGEOMIN (2021b). Manual de operaciones mineras subterráneas en chile.

SME (2011). Bulk materials handling for mining.

Wills, B. A. and Finch, J. (2016). *Wills' Mineral Processing Technology*. Butterworth-Heinemann, 8th edition.

World Bank (2021). Sustainable mining frameworks.