



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

**METODOLOGÍA FULL POTENTIAL APLICADA A LA
CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE TRASPASO EN MINA NORTE
DIVISIÓN EL TENIENTE CODELCO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

FRANCISCO ENRIQUE ARÉVALO BARRAZA

PROFESOR GUÍA:
EDGARDO MADARIAGA GALLARDO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
GERSON SOTOMAYOR ARRIAGADA
EMILIO CASTILLO DINTRANS

SANTIAGO DE CHILE
2022

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil de Minas
POR: Francisco Enrique Arévalo Barraza
FECHA: 2022
PROFESOR GUÍA: Edgardo Madariaga Gallardo

METODOLOGÍA FULL POTENTIAL APLICADA A LA CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE TRASPASO EN MINA NORTE DIVISIÓN EL TENIENTE CODELCO

La explotación del sector Recursos Norte (RRNN) se inserta en el contexto del Plan de Negocio y Desarrollo de División El Teniente, en una etapa donde es clave mantener los actuales ritmos de producción, por lo que se debe habilitar el sector para la explotación de los recursos mineros y así garantizar el cumplimiento de los compromisos asumidos.

En la División, la Gerencia de Obras Mina (GOBM) se encarga de satisfacer la necesidad de incorporación de área en el tiempo y calidad que se requiere, llevando a cabo todas las operaciones de desarrollo y construcción de infraestructuras mineras, civiles, mecánicas, eléctricas y de montaje, que permiten incorporar área al sector productivo.

Dentro de las obras desarrolladas por la GOBM, se tiene la construcción de los sistemas de traspaso, los cuales cuentan con una infraestructura en el nivel superior de carga de mineral controlando tamaños y volumen de vaciado, una infraestructura de descarga en el nivel inferior conocida como buzón, para controlar el flujo de mineral y carguío, y un pique de traspaso de mineral que conecta ambos niveles.

La construcción de buzones se demora como mínimo del orden de 16 meses y contempla las actividades de excavación y fortificación del levante, OO.CC. (consolas, muros, dado escala y blindaje), montaje, habilitación hidráulica y eléctrica y puesta en marcha.

Mediante la aplicación de la metodología Full Potential (FP) se ha logrado mejorar el rendimiento de construcción de los buzones, disminuyendo el tiempo mínimo de entrega de buzones al orden de 11 meses. La metodología FP ha generado una mayor captura de valor por parte de la línea operativa a partir de la identificación de las principales brechas y palancas del proceso, como la optimización de la programación y control hora a hora de las actividades, el aumento de las horas efectivas y de los recursos del contrato, la disminución de los retrabajos y cambios en la metodología de construcción.

A través de los aprendizajes obtenidos en su aplicación, se capturan las lecciones aprendidas al construir un buzón y se define un estándar de la metodología Full Potential para ser aplicada a toda la preparación minera en la División El Teniente, la cual podrá ser utilizada en cualquier proceso o actividad que requiera mejorar su productividad en base a la reducción de plazos o tiempos de construcción. Se logra traer una metodología que fue diseñada por Codelco para procesos productivos a labores de preparación minera para ser abordada por el área de construcción de manera fácil y eficiente.

Se logra habilitar 5 meses antes los sistemas de traspaso, con lo cual se adelanta la producción de mineral que es enviado al proceso de la planta concentradora aguas abajo, esto se traduce en un aumento de excedentes de alrededor de 17.9 MUSD, equivalente a 716.2 KUSD al mes por buzón.

Abstract

The exploitation of the Northern Resources sector is inserted in the context of the Business and Development Plan of El Teniente Division, in a stage where it is overriding to maintain the current production rates, for which the sector must be enabled for the exploitation of mining resources and thus guarantee compliance with the commitments assumed.

In the Division, the Mine Works Management oversees satisfying the need to incorporate the area in the required time and quality, carrying out all the development and construction operations of mining infrastructures, civil works, mechanical, electrical and assembly, which allow the area to be incorporated into the productive sector.

Within the works developed by the GOBM, there is the construction of the transfer systems, which have an infrastructure at the upper level of mineral loading controlling sizes and volume of emptying, a discharge infrastructure at the lower level known as ore bin, to control the flow of ore and loading, and an ore pass that connects both levels.

The construction of ore bins takes a minimum of 16 months, considering the excavation and fortification activities of the ore bin lift, OO.CC. (consoles, walls, given scale and shielding), assembly of ore bin components, hydraulic, electrical and commissioning.

Through the application of the Full Potential (FP) methodology, it has been possible to improve the construction performance of the ore bins, reducing the installment times of ore bins to the order of 11 months. The FP methodology has generated a greater capture of value by the operational line based on the identification of the main gaps and levers of the process, such as the optimization of programming and hourly control of activities, the increase in hours effective and of the resources of contract, the reduction of the reworks and changes in the construction methodology.

Through the learning obtained in its application, the lessons learned when building a ore bin are captured and a standard of the Full Potential methodology is defined to be applied to all mining preparation in El Teniente Division, which can be used in any process or activity that requires improving its productivity based on the reduction of deadlines or construction times. It is possible to bring a methodology that was designed by Codelco for production processes to mining preparation work to be addressed by the construction area in an easy and efficient manner.

It is possible to enable the ore passes 5 months before, with which the production of ore that is sent to the downstream concentrator plant process is advanced, this translates into an increase in surpluses of around 17.9 MUSD, equivalent to 716.2 KUSD per month per ore bin.

A la memoria de Elia González Sasso, mi querida abuela.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis padres y mi familia, que han sido un pilar fundamental en todos los procesos que he tenido en mi vida, tanto en lo académico, como en lo personal, me han entregado siempre todo su apoyo y amor incondicional, han estado conmigo siempre, en las buenas y en las malas. No soy de demostrar mucho, pero siempre apreciaré y les agradeceré por todo lo que me han entregado. Espero algún día poder convertirme en el hijo, hermano y tío que los haga sentir orgullosos.

Quiero agradecer a mi profesor guía Edgardo Madariaga, a mi profesor co-guía Gerson Sotomayor, al equipo de la Gerencia de Obras Mina (GOBM) de División El Teniente en general y a su gerente don Patricio Arce, a todo el equipo de la ITO y particularmente a Juan Carlos Salazar y Diego Yañez, por su ayuda y buena disposición durante el desarrollo de este trabajo de memoria, confiaron en mis capacidades para desarrollar este estudio y siempre tuvieron muy buenas expectativas en mi trabajo. Les agradezco también toda la confianza que han depositado en mí y todo lo que he podido aprender a su lado. Trabajar con ustedes ha sido una experiencia tremendamente enriquecedora.

De forma especial darle las gracias a Valeria por su tiempo, paciencia y entrega sincera. Por acompañarme en los momentos más difíciles y que a pesar del poco tiempo disponible, estar siempre presente y alentarme ante situaciones difíciles de afrontar. He crecido mucho junto a ti.

A mis amigos de la universidad, por compartir tantos buenos momentos en todos estos años y subsanar el estrés del día a día con risas y bromas. Han hecho que estos años universitarios sean los mejores. Ellos son los profesionales más capaces que conozco y me siento agradecido de que sean mis amigos.

Al Departamento de Ingeniería de Minas, a sus profesores por sus esenciales conocimientos y consejos, a sus funcionarios, por la buena disposición a ayudarme siempre cuando tuve algún problema o cuando necesitaba algún favor. Un especial agradecimiento al profesor Emilio Castillo, por formar parte de mi comisión examinadora y por brindarme de sus conocimientos y experiencia, un excelente docente y con una muy buena disposición.

A todas las personas que quizás no nombre pero que de alguna manera siguen apoyándome de varias formas y contribuyen a lograr mis metas.

Todo esto es gracias a ustedes, me siento realmente agradecido...

Tabla de Contenidos

1. Introducción	1
1.1. Contexto.....	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Alcances	2
2. Antecedentes Generales Mina el Teniente – Codelco.....	4
2.1. Codelco.....	4
2.2. División El Teniente.....	5
2.2.1. Ubicación y acceso.....	5
2.2.2. Geología.....	6
2.2.3. Sectores Productivos Mina El Teniente	10
2.2.4. Método de explotación Block/Panel Caving	11
2.2.5. Preacondicionamiento Hidráulico.....	14
3. Antecedentes de la Preparación Minera Subterránea	16
3.1. Etapas de un Proyecto de Minería Subterránea	16
3.1.1. Sistema de Inversión de Capital de Codelco.....	17
3.2. Preparación Minera en Block/Panel Caving.....	19
3.3. Obras de Preparación Minera.....	19
3.3.1. Desarrollos Horizontales.....	20
3.3.2. Desarrollos Verticales.....	22
3.3.3. Sistemas de Traspaso	24
4. Antecedentes Sistemas de Gestión	26
4.1. Metodología Lean	26
4.1.1. Implementación de la metodología Lean	27
4.2. Sistema de Gestión C+	27
4.2.1. Metodología Full Potential	28
5. Metodología de trabajo	33
6. Desarrollo	35
6.1. Caso de Estudio: Mina Recursos Norte División El Teniente.....	35
6.1.1. Ubicación y acceso.....	35
6.1.2. Caracterización Geológico-Estructural.....	35

6.1.3.	Mineralización.....	36
6.1.4.	Operación a través del Método Panel Caving	36
6.1.5.	Plan de Producción de Recursos Norte (GPRO-DET, 2019).....	37
6.1.6.	Preparación Minera en El Teniente: Gerencia de Obras Mina (GOBM)	38
6.2.	Construcción de Sistemas de Traspaso	39
6.2.1.	Excavación Punto de Vaciado	39
6.2.2.	Excavación y Blindaje Mecanizados de Pique NP	40
6.2.3.	Construcción Brocal NP	43
6.2.4.	Base de Martillo NP	44
6.2.5.	Frontón Gabinete.....	45
6.2.6.	Tiros de Habilitación	46
6.2.7.	Habilitación Eléctrica Martillo NP	46
6.2.8.	Excavación y fortificación de Buzón NA.....	47
6.2.9.	Construcción de Buzón NA.....	50
6.2.10.	Montaje de Buzón NA	53
6.2.11.	Habilitación de Buzón NA.....	54
6.3.	Metodología Full Potential aplicada en la construcción de Sistemas de Traspaso .	56
6.3.1.	Tiempos de construcción de un sistema de traspaso.....	56
6.3.2.	Cálculo y Programación Full Potential	62
6.4.	Resultados y análisis aplicación metodología Full Potential	65
6.4.1.	Lecciones Aprendidas	72
6.5.	Estudio de eficiencia de la metodología Full Potential desde el punto de vista técnico y económico	77
6.6.	Estandarización Aplicación Metodología Full Potential Preparación Minera	81
6.6.1.	Propuesta de mejoras.....	84
7.	Conclusión y recomendaciones	86
8.	Bibliografía.....	88
	Anexos	91

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa ubicación operaciones de Codelco (CODELCO, 2020)	4
Figura 2: Producción de cobre fino de divisiones Codelco, tercer trimestre 2021. (CODELCO, 2021).....	4
Figura 3: Ubicación de la mina El Teniente.	5
Figura 4: Ubicación referencial de las áreas comprendidas en mina El Teniente (CODELCO, 2017).....	6
Figura 5: Franja andina del Mioceno-Plioceno. Fuente: Carrillo, 2016	7
Figura 6: Modelo Geológico División El Teniente cota 2102 m.s.n.m. Fuente: CODELCO, 2018.	8
Figura 7: Sectores productivos División El Teniente. Fuente: CODELCO, 2021.	10
Figura 8: Infraestructura de una mina explotada por panel caving con hundimiento convencional.....	12
Figura 9: Esfuerzos inducidos en Zona de Transición	13
Figura 10: Secuencia de desarrollo y construcción para post-, avanzada y pre-socavación (R. Trueman, 2002)	14
Figura 11: Fracturamiento Hidráulico del macizo rocoso.....	15
Figura 12: Proceso de aplicación de la hidrofractura.....	15
Figura 13: Efectos de la implementación del Preacondicionamiento Hidráulico.	16
Figura 14: Modelo sistema de inversión de capital CODELCO (SIC) (Gómez Korn, 2018).	17
Figura 15: Ciclo de avance de los desarrollos horizontales.....	20
Figura 16: Proceso de perforación Raise Boring. 1. Perforación piloto; 2. Acople de broca escariadora; y 3. Escariado (Huamani, 2019)	23
Figura 17: Perforación Blind Hole (Aguila, González, Galdamez, & Ramos, 2016)	24
Figura 18: Ilustración general de un sistema de traspaso (Castro, 2016)	25
Figura 19: Actividades/etapas Full Potential (Codelco, 2020).....	28
Figura 20: Ejemplo ilustrativo de cálculo de Límite Técnico.	30
Figura 21: Ubicación Polígono Recursos Norte. Fuente: Gerencia de Proyectos, DET, Codelco.	35
Figura 22: Planta litológica sector PRN, cota 2120. Fuente: Gerencia de Proyectos, DET, Codelco.	35
Figura 23: Vista en planta del Nivel de Hundimiento mina Recursos Norte (cota 2120). Fuente: Gerencia de Proyectos, DET, Codelco.....	36
Figura 24: Esquema del manejo de materiales sector Recursos Norte Fuente: Gerencia de Proyectos, DET, Codelco.....	37
Figura 25: Plan de Producción proyecto Recursos Norte. Fuente: Gerencia de Proyectos, DET, Codelco.	37
Figura 26: Actividades necesarias para construir un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.....	39
Figura 27: Excavación de un punto de vaciado de un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.....	40
Figura 28: Excavación mecanizada de pique con metodología Raise Borer, equipo Redbore 65 de empresa Vertex en Nivel de Producción. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.	42

Figura 29: Excavación mecanizada de pique con metodología Box Hole, equipo BBR de empresa DMC en Nivel de Acarreo. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.....	43
Figura 30: Excavación y blindaje (continuo) de tronco pique de un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.	43
Figura 31: Vista Isométrica del brocal de un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.	44
Figura 32: Base de martillo de un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.	45
Figura 33: Frontón gabinete de un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.	46
Figura 34: Martillo picador de un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.	47
Figura 35: Tiros de la excavación de buzón en un solo levante. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.....	48
Figura 36: Fortificación levante de buzón de izquierda a derecha, cada color representa un tramo de fortificación. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco [modificado].....	49
Figura 37: Obras civiles construcción de buzón primera etapa	52
Figura 38: Obras civiles construcción de buzón segunda etapa.....	53
Figura 39: Componentes del montaje de buzón. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, CODELCO.....	54
Figura 40: Habilitación hidráulica y eléctrica de buzón	55
Figura 41: Buzones entregados Loop 0 Sector Recursos Norte, desde el OP13 a OP27. 66	
Figura 42: Secuencia de acceso para construcción de buzones desde el OP17 al OP21. 67	
Figura 43: Carta Gantt de actividades construcción de buzones desde el OP17 al OP21.68	
Figura 44: Diagrama actividades construcción de buzones.....	69
Figura 45: Diagrama secuencia de aplicación metodología Full Potential a la preparación minera.	82
Figura 46: Ejemplo ilustrativo de un Diagrama de Procesos, correspondiente a las operaciones unitarias de una mina rajo (Codelco, 2020).....	91
Figura 47: Ejemplo ilustrativo de un Árbol de Valor, correspondiente al proceso de apilamiento de material (Codelco, 2020).....	91
Figura 48: Ejemplo ilustrativo de la identificación de un Cuello de Botella entre las operaciones unitarias mineras (Codelco, 2020)	92
Figura 49: Ejemplo ilustrativo de la Identificación de Brechas OEE (Codelco, 2020) 92	
Figura 50: Ejemplo ilustrativo de PIT/Palancas del tratamiento de una planta (Codelco, 2020)	92
Figura 51: Ejemplo ilustrativo de de la elaboración de la aspiración de un proceso (Codelco, 2020)	93
Figura 52: Carta Gantt programa construcción de buzones. Fuente: Gardilcic, DET, Codelco.	95
Figura 53: Carta Gantt de actividades construcción de buzones desde el OP16 al OP22.96	

Índice de Tablas

Tabla 1: Sectores productivos de la mina El Teniente. Fuente: Codelco, 2022.	11
Tabla 2: Áreas de Trabajo de la Preparación Minera [modificado] (Camhi, 2012)	19
Tabla 3: Benchmarking de rendimientos de avance de desarrollos horizontales (Stewart et al., 2006).....	21
Tabla 4: Obras principales del sector Recursos Norte Rev. 0 2020. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.	38
Tabla 5: Tiempos históricos de actividades de construcción de buzón. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, CODELCO.....	55
Tabla 6: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de excavación de buzones. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.	56
Tabla 7: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de construcción de buzones primera etapa primera fase. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.	57
Tabla 8: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de blindaje tronco pique. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.	58
Tabla 9: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de montaje de plataforma de buzón. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.....	58
Tabla 10: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de construcción de buzones primera etapa segunda fase. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.	58
Tabla 11: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de construcción de buzones segunda etapa. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.....	59
Tabla 12: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de montaje de buzón. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.	60
Tabla 13: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de habilitación hidráulica de buzón. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.....	61
Tabla 14: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de habilitación eléctrica de buzón. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.....	61
Tabla 15: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de puesta en marcha (PEM) de buzón. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.....	62
Tabla 16: Plazos de las actividades de construcción de buzones según plan interno	62
Tabla 17: Cálculo Plan Full Potential actividades construcción buzón.....	65
Tabla 18: Tiempos reales de actividades de construcción de buzones desde el OP17 al OP21	69
Tabla 19: Costos de construcción de un Sistema de Traspaso en el sector Recursos Norte. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.....	79
Tabla 20: Mineral pasante por los SdT del caso en estudio.	80
Tabla 21: Parámetros económicos de CODELCO, Memoria Anual 2021	80
Tabla 22: Excedentes por SdT en base al mineral pasante en el caso de estudio.	81
Tabla 23: Estimación de captura de la Palanca de Tratamiento (Codelco, 2020).....	94
Tabla 24: Tiempos reales de actividades de construcción de buzones desde el OP16 al OP22	97

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Relación de Eficiencia Global del Equipo	30
Ecuación 2: Excedentes estimados en base a parámetros operacionales Codelco 2021. 80	
Ecuación 3: Estimación de cobre adicional producido.....	93
Ecuación 4: Estimación del aumento en beneficio por Tratamiento	93

1. Introducción

1.1. Contexto

La explotación del sector Recursos Norte (RRNN), que forma parte de la Mina Norte en División El Teniente, Codelco, es parte de la estrategia divisional en una etapa donde es fundamental mantener los niveles de producción formulados por el Plan de Desarrollo y Negocio Divisional (PND). Por tanto, la explotación de estos recursos debe proporcionar a la División los niveles de producción requeridos que permitan garantizar el cumplimiento de los compromisos asumidos y acompañar el desarrollo del rediseño del Proyecto Nuevo Nivel Mina (PNNM).

Dentro de este contexto estratégico, el plan de producción de RRNN proporcionará una alimentación total de 157 Mt de mineral a las plantas de beneficio en Colón con una ley media de cobre de 0,75% y de 166 ppm de molibdeno incorporando al proceso productivo 1,17 millones de toneladas de cobre fino y 26 mil toneladas de molibdeno. Su explotación se extiende desde el 2020 al 2038, considerando una vida útil de 19 años y un régimen nominal de 35 ktpd al año 2029.

Como proyecto, fue adecuado estratégicamente al PND realizando una actualización de la Ingeniería Básica que permitió identificar una serie de oportunidades para agregar valor a su diseño, maximizar el uso de infraestructura existente, reducir costos y mejorar sus indicadores económicos.

El sector RRNN es explotado a través del método Panel Caving, metodología de extracción más utilizada en la mina El Teniente en la operación de sus sectores productivos subterráneos. Esta operación se realiza por medio de equipos LHD, sistemas de traspaso verticales (piques) y camiones, para posteriormente transportar el mineral a través de ferrocarriles hacia superficie a la planta en Colón.

La preparación minera es el primer eslabón del proceso productivo de una mina a ser explotada a través del método de explotación Panel Caving, y forma parte de la ruta crítica del proceso definiendo el comienzo de las operaciones, en esta etapa se llevan a cabo todas las operaciones de desarrollo y construcción tanto de infraestructuras mineras, como de infraestructuras civiles, mecánicas, eléctricas y de montaje, las cuales permiten incorporar área al sector productivo, dentro de estas obras, se tiene la construcción de los desarrollos horizontales, sistemas de traspaso y de ventilación, subestaciones eléctricas y otros.

Cumplir con una correcta planificación y posterior ejecución de las labores de construcción permiten comenzar y desarrollar las labores de producción en los tiempos establecidos de manera eficiente, oportuna y segura. En División El Teniente, la Gerencia de Obras Mina (GOBM) es la encargada de satisfacer la necesidad de incorporación de área en el tiempo y calidad requeridos.

En la actualidad, los sistemas de traspaso (SdT) que habilitan la extracción del mineral desde el nivel de producción (Sub 6) hacia el nivel de transporte intermedio (Teniente 7) en mina Norte, se demoran en su construcción y puesta en marcha del orden de 16 meses, con lo cual la captura de valor en la venta del cobre ante un precio alto sumado al desgaste de las palas ante distancias de acarreo mayores a las planificadas genera pérdidas en el negocio.

La metodología Full Potential (FP) que se define como el proceso que busca la manera de generar una mayor captura de valor por parte de la línea operativa a partir de la identificación de las principales brechas y palancas del proceso, ha sido aplicada a la construcción de los sistemas de traspaso en el sector RRNN, permitiendo ser entregados en el orden de 11 meses, disminuyendo casi en un tercio el tiempo de su construcción.

A pesar de que la metodología ha dado buenos resultados, no se ha logrado establecer un estándar para su implementación, por lo que, a través de los aprendizajes obtenidos en su aplicación, se buscará la manera de capturar las lecciones aprendidas y construir un estándar de la metodología. Al mismo tiempo, se buscará la manera de identificar el verdadero aporte que entrega esta metodología a la División, enfocando el estudio en el sector RRNN de mina Norte donde se han habilitado 5 SdT bajo la implementación de la metodología FP en la construcción de los buzones.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

El objetivo del presente trabajo es establecer un estándar de la implementación de la metodología Full Potential y capturar los aprendizajes obtenidos de su implementación en la construcción de buzones de los sistemas de traspaso (SdT) en el sector productivo Recursos Norte (RRNN), lo que permitirá entregar área en un tiempo menor al convencional e inspirar la búsqueda constante de captura de valor en la división El Teniente con un caso de éxito.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar y definir las actividades de construcción de un SdT en el sector RRNN.
- Determinar los principales procesos aplicados de la metodología FP en la construcción de buzones de los SdT.
- Recopilar los aprendizajes obtenidos y las lecciones aprendidas de la construcción de buzones de los SdT bajo la implementación de la metodología FP.
- Establecer un estándar de la implementación de la metodología FP en base a la experiencia actual y proponer mejoras en su implementación.
- Realizar un estudio desde el punto de vista técnico y económico de la efectividad de la implementación de la metodología FP a la construcción de buzones de los SdT.

1.3. Alcances

Este estudio no contempla la implementación de la metodología Full Potential (FP) a la construcción de desarrollos horizontales ni de desarrollos verticales, el estudio está centrado exclusivamente a la construcción de buzones de los sistemas de traspaso (minería, obras civiles, montaje y habilitación).

El estudio de la metodología FP se centra en la construcción de 5 buzones que se ubican en serie en el Loop 0, en el nivel de transporte intermedio, y corresponden a la primera entrega del sector productivo Recursos Norte (RRNN).

La aplicación de la metodología FP en la construcción de buzones de los SdT se orienta principalmente en la optimización de los recursos, como en la disposición de los turnos de trabajo, disponer de un mayor tiempo efectivo por día, realizar trabajos en paralelo, entre otros.

1.4. Estructura de la memoria

Este trabajo presenta la estructura que se describe a continuación:

En la primera sección se encuentran los antecedentes generales de la mina El Teniente, en los que destacan los sectores productivos y el método de explotación. Luego, en la siguiente sección, se incluyen los antecedentes de la preparación minera subterránea, describiendo principalmente las obras de preparación minera asociadas al método. Posteriormente, asociado también a la sección de antecedentes, se describen los distintos Sistemas de Gestión que han sido utilizados en la División El Teniente, y al mismo tiempo, se incluye un análisis crítico de la literatura disponible en base a las obras de preparación minera y como estas se desarrollan con la ayuda de los diferentes Sistemas de Gestión. Seguido de esto, se describe la metodología Full Potential junto a la explicación de cómo se lleva a cabo su implementación, incluyendo en detalle el paso a paso de su aplicación.

En la siguiente sección, se profundiza con los antecedentes del caso de estudio de este trabajo, donde se introduce la caracterización tanto geológico-estructural como geotécnica del sector productivo estudiado, también se especifican los objetivos de las obras de preparación minera de RRNN como proyecto, se describen las obras de preparación minera que son relevantes para el estudio y en general la información necesaria para poder realizar el trabajo. Luego, se detalla la implementación de la metodología Full Potential en la construcción de los sistemas de traspaso. Asimismo, se presentan los principales resultados obtenidos una vez que se aplica la metodología y se realiza el análisis de aquello desde un punto de vista técnico y económico considerando los aspectos relevantes de la construcción de sistemas de traspaso.

Finalmente, se presentan conclusiones generadas en base a los resultados y análisis realizados, las cuales son concordantes a los objetivos presentados al comienzo del trabajo, además se realizan recomendaciones para una futura implementación de la metodología en base a una propuesta de mejora presentada en la sección anterior. Posterior a esto, en la sección final de la memoria, se encuentra una parte importante de los resultados que sirven para interpretar los datos y ampliar el conocimiento sobre la investigación realizada en el presente trabajo, estos son presentados como anexos.

2. Antecedentes Generales Mina el Teniente – Codelco

Esta sección tiene como objetivo proporcionar antecedentes generales de las operaciones cubiertas por el estudio, con un énfasis principal en la geología del área, los sectores productivos de la mina y sus métodos de extracción.

2.1. Codelco

La Corporación Nacional del Cobre (Codelco) es una empresa autónoma dedicada a la minería, propiedad de todos los chilenos y chilenas, principal productora de cobre del mundo y líder en reservas del mineral a nivel planetario y motor del desarrollo del país (CODELCO, 2020). Codelco se creó como corporación en 1976 tras la reforma constitucional que nacionalizó el cobre el 11 de julio de 1971.

Codelco ejecuta sus operaciones a través de siete divisiones mineras; Chuquicamata, Radomiro Tomic, Ministro Hales, Gabriela Mistral, El Salvador, El Teniente y Andina, emplazadas entre la II Región de Antofagasta y la VI región del Libertador Bernardo O'Higgins, opera junto a la fundición y refinería Ventanas, ubicada en la zona costera de la región de Valparaíso y junto su Casa Matriz ubicada en Santiago de Chile.



Figura 1: Mapa ubicación operaciones de Codelco (CODELCO, 2020).

Codelco durante el tercer trimestre del año 2021 alcanzó una producción de 1,185 Mt de cobre fino, entregando US\$5.249 millones de excedentes al estado, casi cuatro veces más que el mismo período del año anterior. La producción generada por cada división durante el tercer trimestre del año 2021 se detalla en el gráfico de la Figura 2, donde se puede apreciar la producción de la División El Teniente que entregó el mayor aporte a la producción total de Codelco.

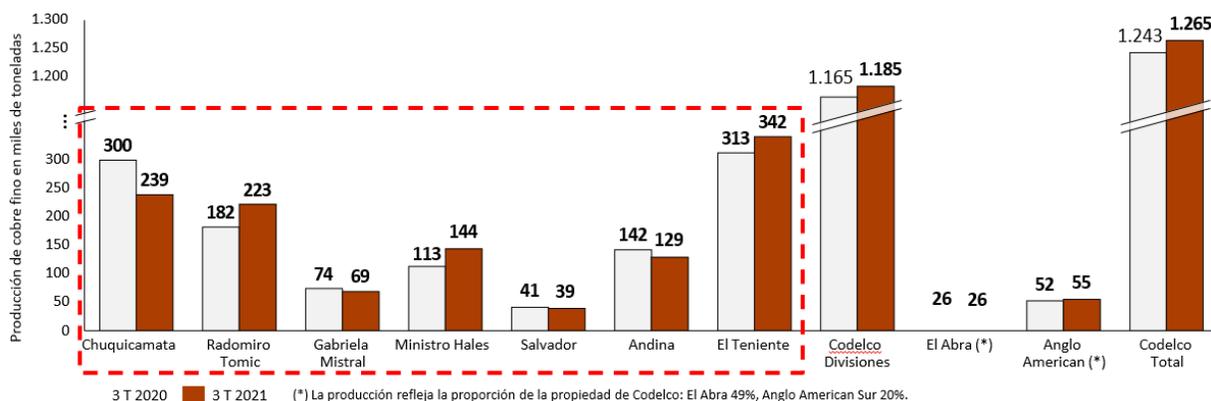


Figura 2: Producción de cobre fino de divisiones Codelco, tercer trimestre 2021. (CODELCO, 2021).

2.2. División El Teniente

El Teniente corresponde al yacimiento de cobre subterráneo más grande del mundo. Comenzó a ser explotado el 29 de enero de 1905 a cargo de la empresa Braden Copper Company, fue constituida como sociedad el 16 de Septiembre de 1966 mediante la ley 16.425 de Chilenización del Cobre y al sumar la extensión de todas sus galerías subterráneas son más de 4.500 kilómetros.

Cuenta la leyenda que debe su nombre al teniente del Ejército Libertador, Juan de Dios Correa, quien heredó la propiedad a la muerte de su suegro, el Conde de la Conquista, Mateo de Toro y Zambrano (CODELCO, 2021).

Las principales operaciones del complejo industrial de la división son la mina, el concentrador Colón y la Fundición Caletones, de donde se obtienen productos principales como ánodos de Cobre y también subproductos como Molibdeno y ácido sulfúrico.

Durante el tercer trimestre del año 2021 alcanzó una producción de 342 Mt de cobre fino, como se puede apreciar en la Figura 2, y fueron comercializadas principalmente a través de ánodos que se producen en la Fundición de Caletones.

2.2.1. Ubicación y acceso

2.2.1.1. Ubicación

La mina El Teniente está ubicada en la comuna de Machalí, en la cordillera de Los Andes, entre los 2.200 y los 3.200 m.s.n.m. Está distante a 54 kilómetros de Rancagua, capital de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile, cuyas coordenadas específicas son 70°21' de longitud Oeste y 34°05' de latitud Sur.



Figura 3: Ubicación de la mina El Teniente.

2.2.1.2. Acceso

Para llegar al yacimiento, se debe acceder a través de una moderna carretera que ofrece gran seguridad y alto estándar desde la ciudad de Rancagua, la conocida “Carretera del Cobre”, la cual permite acceder a las instalaciones industriales ubicadas en Sewell, Colón, Caletones y Coya. Para acceder al yacimiento se deben recorrer 24 km desde Rancagua hasta Maitenes, esta parte de la ruta es de uso público, luego del control Maitenes la ruta es de uso privado y se deben recorrer 26 km hasta Colón Alto, y recorriendo alrededor de 10 km más se llega al acceso principal del yacimiento, al “ADIT 71”, por el cual se tiene acceso a los diferentes sectores productivos de la mina El Teniente, como por ejemplo al barrio cívico del Sub 6 recorriendo alrededor de 5 km.

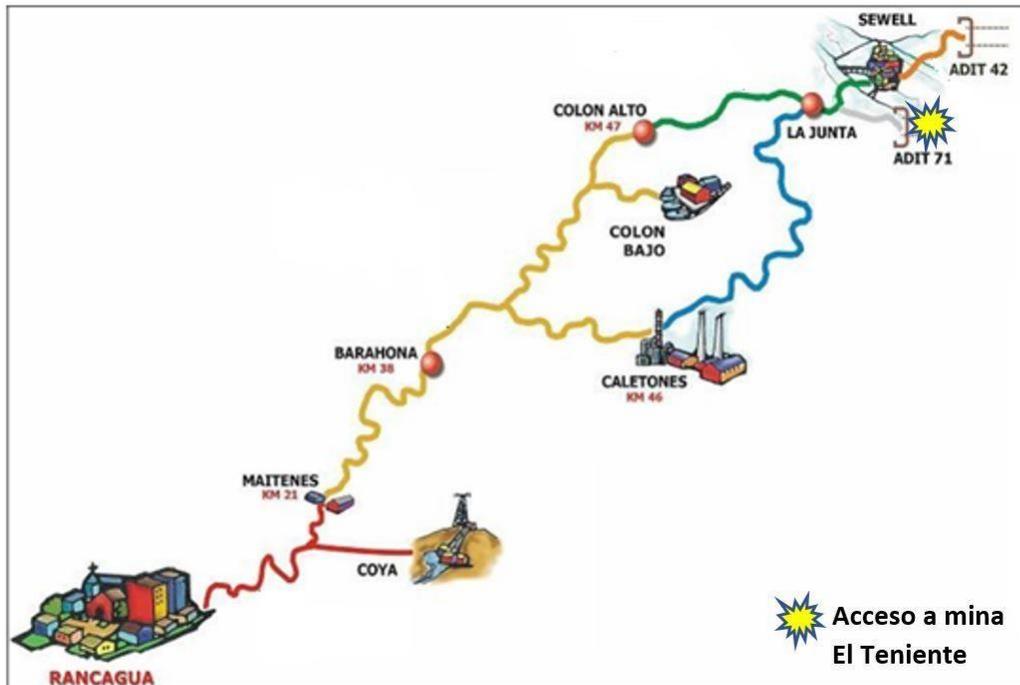


Figura 4: Ubicación referencial de las áreas comprendidas en mina El Teniente (CODELCO, 2017).

2.2.2. Geología

2.2.2.1. Tipo de Yacimiento

La geología del yacimiento está compuesta principalmente por rocas volcánicas del Mioceno correspondientes a la Formación Farellones, localmente intruidas por rocas ígneas de composición plutónica de ácida a intermedia, y brechas hidrotermales (Cuadra, Geocronología K-Ar del yacimiento El Teniente y áreas adyacentes, 2010). Las rocas presentan diferentes grados de alteración y mineralización, siendo sus principales minerales de mena la calcopirita, la bornita y la molibdenita.

El yacimiento El Teniente posee una extensión prácticamente de 3 kilómetros de largo por 2 kilómetros de ancho, con una extensión en la vertical de aproximadamente 2 kilómetros. Con estas características, el yacimiento está clasificado, según la literatura geológica, como un “mega yacimiento”.

2.2.2.2. Génesis del Yacimiento

La geología del yacimiento en conjunto con su mineralización tanto de cobre como de molibdeno, sugieren que la génesis del depósito está relacionada a una evolución dada por la intrusión de cuerpos subvolcánicos máficos y félsicos, los cuales están estrechamente asociados a brechas magmáticas e hidrotermales.

El yacimiento El Teniente, junto con otros pórfidos como Los Pelambres y Río Blanco-Los Bronces, se encuentra ubicado en el cordón de pórfidos de Chile Central correspondiente al Mioceno-Plioceno (Carrillo, 2016). Estos depósitos se encuentran ubicados cerca de la frontera terrestre, en Los Andes, entre los segmentos tectónicos correspondientes a la Zona Volcánica Sur y al segmento de la Subducción Plana.

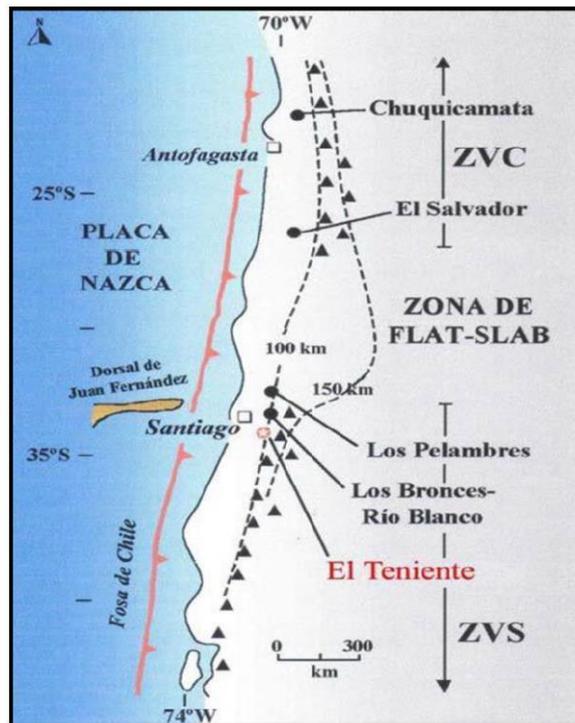


Figura 5: Franja andina del Mioceno-Plioceno. Fuente: Carrillo, 2016.

2.2.2.3. Unidades Litológicas

El yacimiento El Teniente presenta una litología que está compuesta mayoritariamente por rocas máficas correspondientes al miembro inferior de la Formación Farellones, presentan intrusivos de cuerpos félsicos de forma, tamaño y composiciones variables. La composición principal del yacimiento El Teniente se observa en la Figura 6.

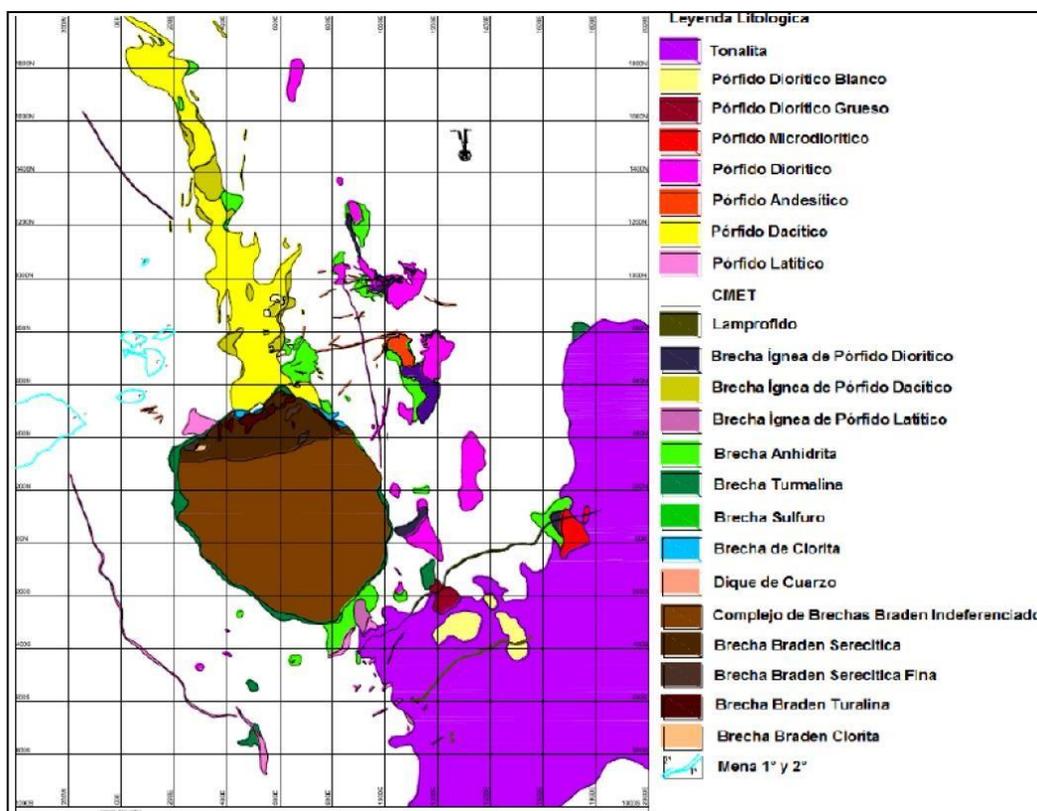


Figura 6: Modelo Geológico División El Teniente cota 2102 m.s.n.m. Fuente: CODELCO, 2018.

El yacimiento se compone por un cuerpo central de material estéril, denominado Pipa Braden asociado a la unidad litológica Brecha Braden, presenta una geometría similar a la de un cilindro en posición vertical de sección circular, con un diámetro que varía entre los 1000 m en su parte superior (cota 2940 m.s.n.m.) hasta los 600 m en su parte inferior (cota 1740 m.s.n.m.), lo cual hace que sea identificada con una forma de cono invertido (Cuadra, 1986). Esta unidad tiene un contenido de cobre escaso (<0.3% Cu), por lo que no se ha desarrollado una explotación masiva de este complejo, pero dado que presenta una buena calidad geotécnica se ha emplazado en su interior toda la infraestructura de la mina, como los barrios cívicos, salas de chancado, petroleras, policlínico, entre otros. Este cuerpo se encuentra rodeado por distintas unidades litológicas que poseen una extensión radial que va de los 400 a los 800 metros. El tipo de roca predominante en el yacimiento es la Andesita, junto a otros cuerpos de menor proporción correspondientes a Dacita (extensión Norte-Sur), Diorita (lado Sureste) y pequeñas intrusiones de Diorita (lado Noreste y Este).

Las principales unidades litológicas que conforman el yacimiento El Teniente se describen en los siguientes puntos.

1) Complejo Máfico El Teniente (CMET): Esta unidad corresponde a un complejo subvolcánico de composición básica de color marrón oscuro a negro, se extiende verticalmente por más de 2 km y posee una extensión de 2,4 km de ancho por 1,2 km de largo (Burgos, 2002), agrupa principalmente a diabasas, gabros y pórfidos basálticos que se han descrito por otros autores en el pasado como Andesitas. Son las rocas de mayor distribución en el yacimiento y contienen el 80% de la mineralización.

2) Unidades de Pórfidos Félsicos: Se ubican en diferentes lugares dentro del yacimiento y poseen distintas características mineralógicas, los principales grupos de pórfidos que se pueden identificar se detallan a continuación.

- Pórfido Dacítico: se presenta en el yacimiento como un cuerpo con características de dique orientado en dirección norte-sur a norte-noroeste y manto sub-vertical, está ubicado al norte del depósito, mientras que hacia el sur se encuentra interrumpido por la Brecha Braden.
- Tonalita: se conoce con el nombre de Diorita Sewell y se presenta principalmente en la mitad sureste del yacimiento.
- Pórfido Diorítico: se ubica en la parte central y norte del yacimiento, en donde se presenta como una serie de cuerpos y diques menores alineados en dirección N30°W, con una gran extensión vertical, es posible encontrar en el lugar brechas hidrotermales y/o brechas ígneas debido al contacto con el Complejo Máfico El Teniente.
- Pórfido A (Pórfido Microdiorítico): está ubicado en el sector central-este del yacimiento, este cuerpo corresponde a una diorita de grano fino con abundantes xenolitos del Complejo Máfico El Teniente, brecha de biotita y tonalita, al presentar contactos con la Tonalita y el Complejo Máfico El Teniente, genera un volumen importante de brechas ígneas e hidrotermales de anhidrita, que generan altas leyes de cobre en el sector.
- Pórfidos Latíticos: se presentan en el yacimiento como filones de poca potencia que varían entre los 2 a 6 metros, conforma cuerpos de cierta magnitud en profundidad en la parte sur del yacimiento, en donde puede alcanzar espesores de hasta 15 metros.

3) Unidades de Brechas: En el yacimiento existe un conjunto de brechas que poseen distintas composiciones y diferentes características, las principales unidades de brechas que se pueden identificar se detallan a continuación.

- Brechas Ígneas: se ubican preferentemente en los contactos entre el Complejo Máfico El Teniente y los distintos pórfidos que la intruyen.
- Brechas de Biotita: pueden ser identificadas en distintos sectores del yacimiento y se asocian a una alteración de tipo biotítica.
- Brechas Hidrotermales de Anhidrita y Turmalina: se encuentran preferentemente en los contactos de los pórfidos que intruyen al Complejo Máfico El Teniente, incorporando fragmentos de rocas máficas y de pórfido.
- Complejo de Brechas Braden: está compuesto por fragmentos redondeados en una matriz de polvo de roca y cemento de sericita con cantidades menores de turmalina, calcita y sulfuros.

2.2.3. Sectores Productivos Mina El Teniente

El Teniente es la mina subterránea de cobre más grande del mundo y entre sus sectores productivos destaca Diablo Regimiento, Esmeralda, Dacita, Reservas Norte, Pacífico Superior y Pilar Norte.

Además, tiene una operación en superficie, el Rajo Sur, ubicado entre 2.730 y 3.240 m.s.n.m. y entró en funcionamiento a fines de 2012 (CODELCO, 2021).

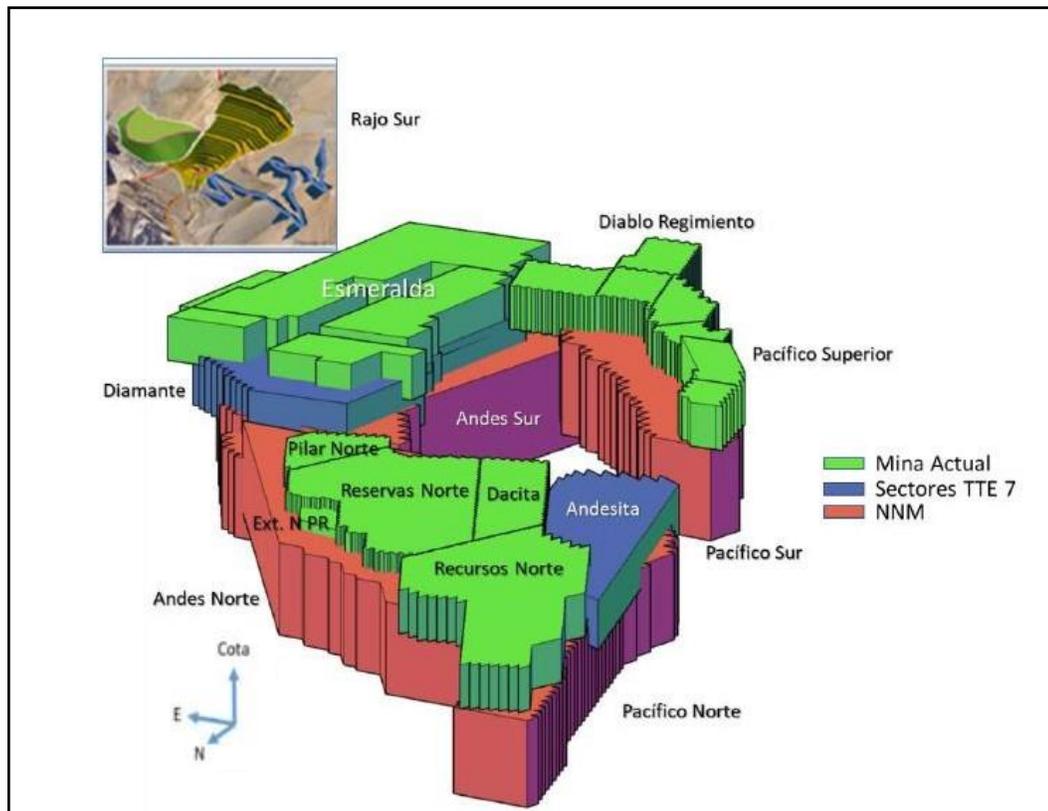


Figura 7: Sectores productivos División El Teniente. Fuente: CODELCO, 2021.

Los actuales sectores productivos, que rodean al cuerpo cilíndrico de material estéril llamado Pipa Braden, son explotados a través de métodos subterráneos que se llevan a cabo a través del método Panel Caving, método de hundimiento que es operado con equipos LHD para el carguío del mineral desde los puntos de extracción hasta los puntos de vaciados (piques), los cuales conectan al nivel de acarreo y descargan el mineral en camiones o trenes a través de buzones que son telecomandados. Luego, se vacía el mineral en piques que conectan con el nivel de transporte principal de ferrocarriles Teniente 8, en el cual el mineral es transportado a la planta de Colón (chancado, molienda y flotación), para continuar luego con los procesos de flotación que permiten concentrar el mineral para su posterior fundición y refinación en Caletones.

Por otro lado, el Rajo Sur transporta el mineral en camiones, los cuales depositan el mineral a piques que conectan al nivel de ferrocarriles Teniente 5, para posteriormente alimentar a la planta de Sewell (chancado y molienda).

Tabla 1: Sectores productivos de la mina El Teniente. Fuente: Codelco, 2022.

Sector	Cota Nivel de Producción [m.s.n.m.]	Producción 2021 [t/día]	Ley Media [% Cu]	Producción 2021 [tmf]
Rajo Sur	No Aplica	13,650	0.57	28,365
Pacífico Superior	2,247	15,589	1.01	57,545
Diablo Regimiento	2,192	22,375	0.73	59,957
Esmeralda	2,193	38,527	0.91	127,855
ReNo Inv+And	2,102	19,691	0.86	61,704
Recursos Norte	2,102	3,046	0.89	9,885
Panel Reno	2,102	3,296	0.91	10,973
Dacita	2,102	24,593	1.23	110,776
Pilar Norte	2,102	5,138	1.15	21,498
NNM	1,880	2,559	0.85	7,955
Desarrollos	No Aplica	3,884	0.85	12,108
Agua Barro DR F-3	No Aplica	488	0.77	1,380
Total	No Aplica	152,833	0.91	510,001

Fuente: Elaboración Propia, en base a información proporcionada por personal de Codelco.

2.2.4. Método de explotación Block/Panel Caving

En el yacimiento El Teniente se utiliza un método de explotación subterráneo, el cual se caracteriza por ser un método de hundimiento donde se induce el desplazamiento vertical de manera descendente del cuerpo mineralizado y de la roca caja, formando un cráter en la superficie, el macizo rocoso puede ser quebrado a través de perforación y tronadura (Sub Level Caving) o induciendo el quiebre mediante la socavación de la base que soporta la columna de roca a extraer (Block y Panel Caving) (A. Karzulovic, 2001).

El método de explotación Block Caving fue aplicado en El Teniente desde los años 1940 extrayendo principalmente mena secundaria, este método presentó problemas de estabilidad en las labores, los cuales estaban asociados a la caída de planchones y colapsos de galerías. Más tarde, debido al agotamiento de los primeros sectores productivos, El Teniente pasó a explotar los sectores productivos más profundos, encontrándose con cambios en las propiedades físicas y mecánicas de las rocas, pasando así a explotar mineral primario, el cual es de menor ley, con una mayor dureza y una menor cantidad de fracturas. Esto último, llevó a El Teniente a realizar una modificación en su método de explotación, pasando de la metodología Block Caving a la metodología Panel Caving, la cual destaca por ser completamente mecanizada.

2.2.4.1. Panel Caving

El método de explotación Panel Caving, actualmente es la metodología de extracción más utilizada en la mina El Teniente, realizando la operación de sus sectores productivos subterráneos por medio de equipos LHD, sistemas de traspaso verticales (piques), camiones, correas y ferrocarriles que transportan el mineral hacia superficie a la planta en Colón. Este método se ha utilizado desde la década de los 80 explotando inicialmente roca primaria en el sector Teniente 4 Sur.

El método de explotación Panel Caving es un método de minería subterránea que consiste en la inducción de la socavación de una columna de mineral mediante la realización de un corte basal en el nivel de hundimiento (SME, 2001), donde se realiza la

perforación y tronadura del mineral para que este se hunda y rellene el espacio vacío generado al extraer el mineral de las bateas de producción. A medida que se extrae el mineral, la socavación resultante continúa extendiéndose hacia la parte superior del depósito. La explotación se lleva cabo a través de paneles que son extraídos a lo largo del cuerpo mineralizado, por lo cual, las actividades de preparación y producción pueden llevarse a cabo simultáneamente a medida que se explota el yacimiento.

La secuencia de explotación desplegada en el sector involucra el desarrollo y construcción de un Nivel de Hundimiento (UCL), un Nivel de Producción (NP), un Sistema de Traspaso (SdT), un Sub-Nivel de Ventilación (SNV) y un Nivel de Acarreo o de Transporte (NA). Este método fue llamado Panel Caving Convencional.

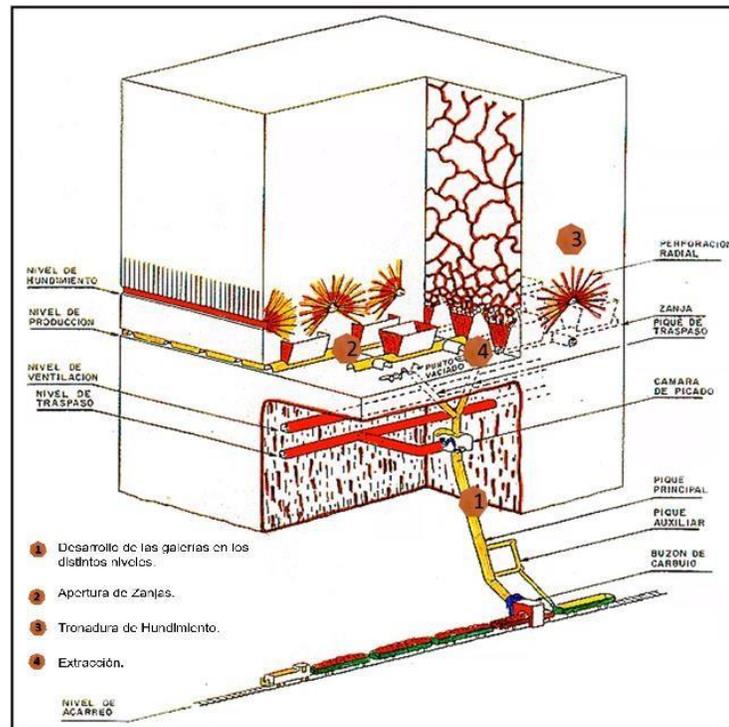


Figura 8: Infraestructura de una mina explotada por panel caving con hundimiento convencional.

La explotación de mena primaria a través del método Panel Caving Convencional (PCC) en mina El Teniente, muestra que el avance del frente de hundimiento (o frente de socavación), provoca daños en los desarrollos que se encuentran debajo del nivel de hundimiento (SME, 2001).

Las características de las variantes del método de explotación Panel Caving presentan diferencias en la zona en que se ubica la distribución de los esfuerzos inducidos (abutment stress) respecto a la posición de los desarrollos horizontales, se tiene el caso que, al momento de pasar el frente de hundimiento sobre estos desarrollos, provoca daños en las labores de producción.

El estado de esfuerzos existentes en el macizo rocoso al implementar la metodología Panel Caving se ve modificado al avanzar con el frente de hundimiento, generando 3 zonas delimitadas por los esfuerzos: zona de relajación, de transición y de pre-minería.

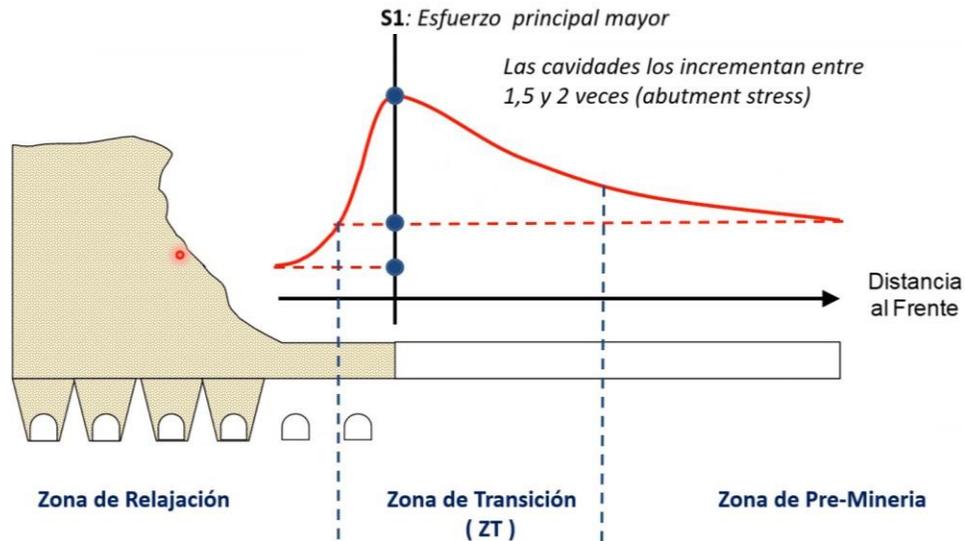


Figura 9: Esfuerzos inducidos en Zona de Transición.

- a) Zona de Pre-Minería: Zona en donde la minería aún no afecta el estado tensional y la calidad geomecánica del macizo rocoso, al encontrarse alejada del frente de hundimiento.
- b) Zona de Transición: Zona donde se encuentra el Abutment Stress, la calidad geomecánica del macizo rocoso se encuentra afectada por las labores mineras, los esfuerzos inducidos generan una rotación del tensor de esfuerzos y donde la magnitud del esfuerzo principal mayor puede llegar a ser del orden de 1,5 a 2,0 veces la magnitud del esfuerzo presente en la zona de pre-minería (Karzulovic, 2006).
- c) Zona de Relajación: Zona que se encuentra por debajo del área hundida y que no está bajo el efecto que provoca el frente de hundimiento, según las condiciones bajo las que se encuentra el macizo rocoso, es la zona donde se prefiere desarrollar las operaciones mineras.

Las variaciones del método de explotación Panel Caving, han demostrado que se puede reducir el daño en los desarrollos si la socavación en el nivel de hundimiento se realiza por delante de las labores de preparación en el nivel de producción adhiriéndose a la regla de 45° (hundimiento previo), o bien, si las bateas son preparadas detrás del frente de socavación, pero con la libertad de que la construcción de calles puede ser adelantada (hundimiento avanzado) (R. Trueman, 2002).

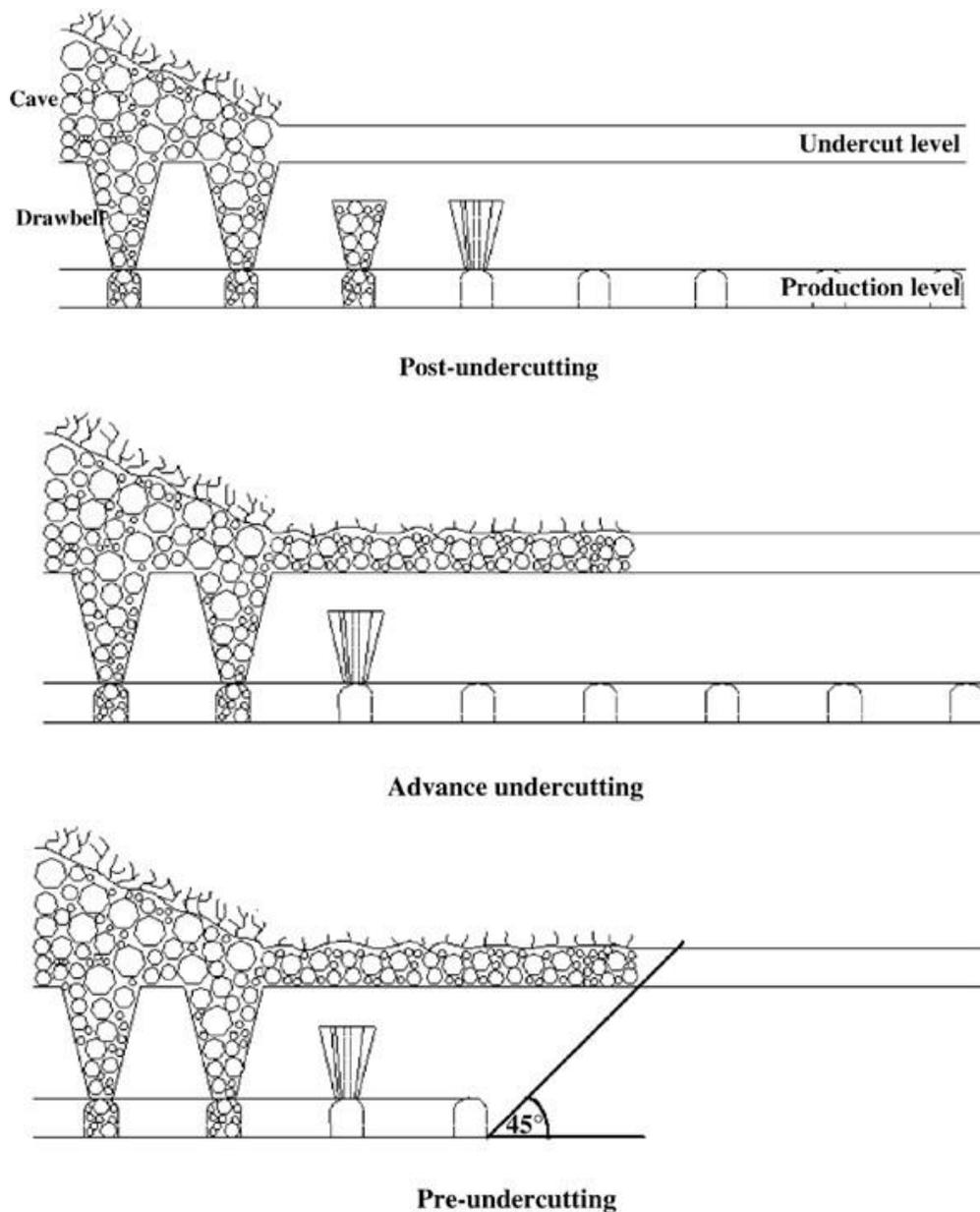


Figura 10: Secuencia de desarrollo y construcción para post-, avanzada y pre-socavación (R. Trueman, 2002).

2.2.5. Preacondicionamiento Hidráulico

El preacondicionamiento hidráulico es una intervención realizada en el macizo rocoso con el objetivo de fracturarlo y debilitarlo a través de la inyección de agua a alta presión, se realiza antes de comenzar las labores de extracción del mineral para disminuir o evitar el uso de explosivos ya que genera nuevas discontinuidades en el macizo rocoso, las cuales conceptualmente tienen propiedades de resistencia nula o muy bajas. En consecuencia, la aplicación de esta técnica debiese actuar favorablemente sobre la hundibilidad in situ, reduciendo el área crítica para inicio de caving y permitiendo una mayor velocidad de conexión hacia superficie o sectores ya explotados a mayores cotas. También reduce al mínimo la sismicidad, aumentando radicalmente la seguridad de los trabajadores.

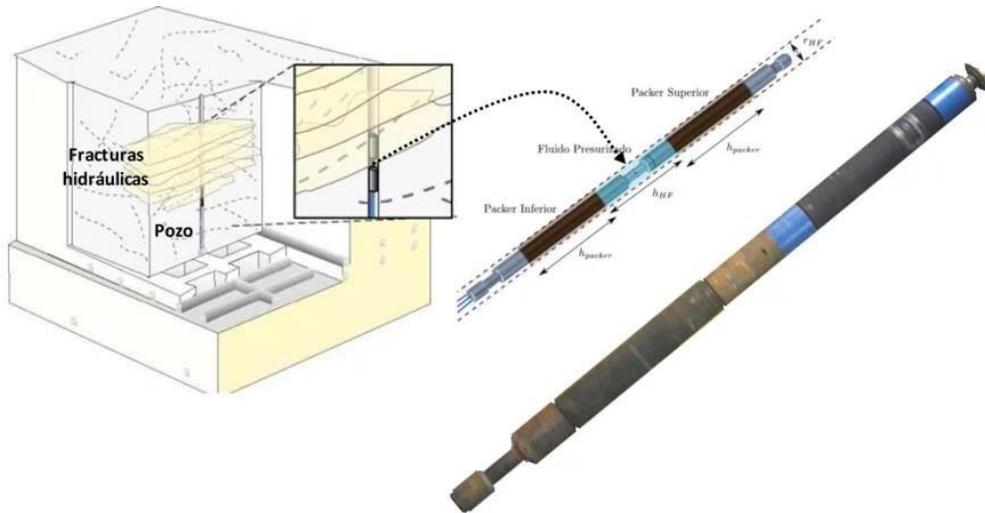


Figura 11: Fracturamiento Hidráulico del macizo rocoso.

El proceso de Fracturamiento Hidráulico (FH) consiste en presurizar una parte del tiro de preconditionamiento inyectando agua a alta presión hasta vencer la resistencia de la roca, de esta manera se inician fracturas que se propagan a través del macizo rocoso a través de las vetas de mineral, por medio de los planos de debilidad presentes o por fracturas preexistentes.

Luego de realizar las perforaciones en el área de interés, se introducen en los pozos perforados los packers hidráulicos, a través de ellos se inyecta agua a alta presión, la cual se regula dependiendo de las características del macizo rocoso y de los requerimientos de la mina, puede llegar incluso hasta los 12.000 bar, suficiente para fracturar el tipo de roca más competente (America, 2010). De esta manera se logra fracturar y debilitar el macizo, facilitando la hundibilidad del depósito.

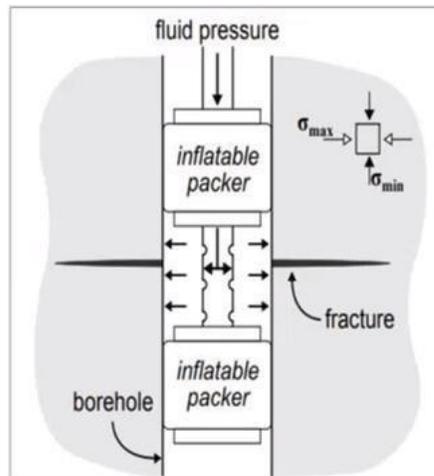


Figura 12: Proceso de aplicación de la hidrofractura.

La eficiencia del FH sobre el macizo rocoso, en términos de favorecer su hundimiento, mejorar la granulometría y por consecuencia aumentar la productividad de un sector, dependerá principalmente de factores de diseño (densidad malla de tiros, espaciamiento de fracturas, altura pre acondicionada) y de implementación (temporalidad y calidad).

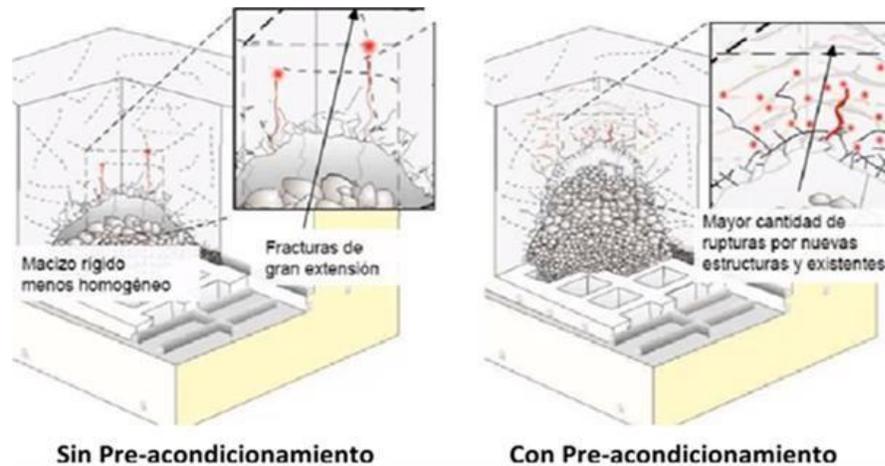


Figura 13: Efectos de la implementación del Preacondicionamiento Hidráulico.

En División El Teniente, se ha hecho uso del proceso de FH sobre macizo rocoso primario con el objetivo de mejorar los indicadores de productividad, en términos de reducir el número de eventos de colgadura y la cantidad de colpas para el cachorro (reducción secundaria). La aplicación de FH debe ser manteniendo una zona de preacondicionamiento hidráulico fuera de la incidencia de la zona de transición y por delante del frente de hundimiento. Lo anterior con el objetivo de evitar morfologías sub-verticales de las fracturas a causa de la modificación del campo tensional y, por lo tanto, un menor volumen de macizo rocoso pre-acondicionado.

3. Antecedentes de la Preparación Minera Subterránea

En la presente sección se pretende entregar el contexto general de las etapas de un proyecto minero y de las obras que se deben realizar en la preparación minera, la cual permite habilitar las operaciones de la mina.

3.1. Etapas de un Proyecto de Minería Subterránea

Primero, hay que definir que es un proyecto, según la guía del PMBOK un proyecto se define como “un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único”, donde el momento y los plazos de los proyectos indica que éste cuenta con un principio y un final ya definidos.

En base a la definición anterior, las fases, o bien, el ciclo de vida de un proyecto está compuesto por las siguientes etapas:

- Ingeniería de Perfil.
- Ingeniería de Prefactibilidad.
- Ingeniería de Factibilidad.
- Ingeniería de Detalle y Construcción (Inversional).
- Operación.
- Cada una de estas fases, es un conjunto de actividades del proyecto, que están vinculadas de manera racional y que concluyen con la finalización de uno o más entregables. Las etapas pueden ser iterativas, secuenciales o superpuestas.

En la actualidad, los grandes proyectos que requieren de una gran inversión de capital y que presentan una importante complejidad, van más allá de la concepción habitual del PMBOK y consideran un enfoque distinto más analítico y receptivo, como lo es en el caso de la gestión de proyectos de la empresa estatal Codelco.

3.1.1. Sistema de Inversión de Capital de Codelco

La Corporación Nacional del Cobre de Chile ha establecido un cuerpo normativo compuesto por una Política Normativa, Manuales, Procedimientos e Instructivos, conocido como el Sistema de Inversión de Capital (SIC). El SIC, define el marco que regula los procesos de gestión de inversión de capital, siguiendo la Política y las mejores prácticas de la industria (CODELCO, 2011). Por lo tanto, el SIC define los procesos y el marco distintivo de la gestión inversional de Codelco, al mismo tiempo, los proyectos de inversión generan una variación en el Activo Fijo de la Corporación.

El Sistema de Inversiones de Codelco, sustenta su operación sobre la base de dos Sub-Sistemas de gestión (CODELCO, 2011):

1. Gestión de Inversiones (SIC): Encargado de seleccionar las mejores Inversiones de Capital.
2. Gestión de Proyectos: Encargado de desarrollar las mejores oportunidades de inversión y ejecutar los proyectos de manera óptima.

Los objetivos principales del SIC en el contexto anterior son los siguientes (CODELCO, 2011):

- a) Asegurar el alineamiento con la estrategia, prioridades y valores de la Corporación
- b) Maximizar el valor al dueño con riesgos admisibles.
- c) Toma de decisiones de acuerdo con el marco normativo definido.
- d) Asegurar tener la mejor probabilidad de éxito.
- e) Entregar los resultados de los compromisos adquiridos en los plazos establecidos.



Figura 14: Modelo sistema de inversión de capital CODELCO (SIC) (Gómez Korn, 2018).

- Ingeniería de Perfil: Es la etapa de identificación de las oportunidades para el desarrollo de los proyectos y corresponde con la evaluación inicial de un proyecto minero. Un estudio de perfil es útil como una herramienta para determinar si los estudios posteriores de ingeniería se justifican, sin embargo, no es válido para la toma de decisiones económicas ni es suficiente para elaborar un informe de reservas. En el caso de Codelco, esta etapa la realiza el Cliente, en otras palabras, la División será quien opere el futuro activo cuando el proyecto esté terminado.
- Ingeniería de Prefactibilidad: Es la etapa de generación y selección de alternativas de proyectos. Es más detallada que la ingeniería de perfil alcanzando una precisión de $\pm 25\%$ del CAPEX. En el caso de Codelco, esta etapa la realiza la Vicepresidencia de Proyectos (VP).
- Ingeniería de Factibilidad: Es la etapa de desarrollo de la alternativa seleccionada. Representa el último paso de ingeniería y es el más elaborado, se evalúa si el proyecto minero debe pasar a la siguiente etapa, ya que se iniciará con el financiamiento de la inversión. Los parámetros principales se basan en pruebas representativas y escalables. La precisión es más alta que en el estudio de prefactibilidad y es típicamente 15%. Su costo se encuentra entre el 0,5 a 1,5% del costo total estimado del proyecto. En Codelco, esta etapa la realiza la VP.
- Ingeniería de Factibilidad: Es la etapa de desarrollo de la alternativa seleccionada. Representa el último paso de ingeniería y es el más elaborado, se evalúa si el proyecto minero debe pasar a la siguiente etapa, ya que se iniciará con el financiamiento de la inversión. Los parámetros principales se basan en pruebas representativas y escalables. La precisión es más alta que en el estudio de prefactibilidad y es típicamente 15%. Su costo se encuentra entre el 0,5 a 1,5% del costo total estimado del proyecto. En Codelco, esta etapa es realizada por la VP.
- Ingeniería de Detalle y Construcción: Corresponde a la etapa donde se desarrolla el diseño final del proyecto, se aprueba y se materializa el proyecto debido a que se contempla la aprobación de los fondos de la inversión. En esta etapa el alcance del proyecto es detallado y exhaustivo, se debe elaborar el plan de ejecución, la ingeniería de detalle, la gestión y administración de contratos, la construcción, montaje y la puesta en marcha. Para entonces, la flexibilidad en las decisiones es mínima, ya que el proyecto al ser aprobado para el financiamiento queda con muy pocas posibilidades para generar cambios. El gasto en esta etapa contempla del 12% a un 15% del presupuesto global del proyecto. En el caso de Codelco, se busca capturar la oferta prometida, priorizando los aspectos plazo, costo, calidad y sustentabilidad, realizando esta etapa a través de la VP.
- Operación: Es la etapa donde se pasa de la puesta en marcha y comisionamiento a la operatividad del nuevo activo, en otras palabras, entra en producción el proyecto siendo operado de acuerdo con el diseño final. En el caso de Codelco, se realizan acciones correctivas y se entrega a Operaciones, siendo esta etapa realizada por el Cliente.

3.2. Preparación Minera en Block/Panel Caving

La preparación minera para el método de explotación Block/Panel Caving se caracteriza por ser intensiva en actividades de desarrollo, siendo esta la etapa en que se llevan a cabo todas las labores constructivas de infraestructuras mineras, civiles, mecánicas, eléctricas y de montaje en los diferentes niveles que permiten incorporar área al sector productivo y de esta manera contar con el material disponible para su extracción.

Las actividades de preparación minera se pueden dividir en 3 grandes áreas de trabajo; las excavaciones mineras, las obras civiles y el montaje de infraestructura (Camhi, 2012).

Tabla 2: Áreas de Trabajo de la Preparación Minera [modificado] (Camhi, 2012).

Excavaciones Mineras	Obras Civiles	Montaje de Infraestructura
Corresponden a los desarrollos horizontales, verticales y todas las actividades asociadas a estos como la fortificación de galerías, el saneamiento de éstas, desquinches y la estabilización de sectores.	Son las obras cuya materialización principal se hace a través de Hormigón Armado, esto es, el hormigón en sus distintas calidades y la armadura necesaria para estructurar un elemento determinado. Algunos ejemplos de estas actividades son las carpetas de rodado y los muros de confinamiento, estos últimos cumplen como fortificación definitiva de una zona en producción.	Esta tarea corresponde a las obras de terminación necesarias para finalizar un determinado proyecto. Comúnmente, se ejecutan posterior a las obras civiles y culminan con la habilitación ya sea local o remota de un elemento determinado. Ejemplos de estas actividades son el montaje y habilitación de buzones de carguío, elementos de infraestructura necesarios para el traspaso y manejo de material desde un nivel a otro.

3.3. Obras de Preparación Minera

Generalmente, en la etapa de preparación minera, los proyectos tienden a seguir un programa de construcción de infraestructura, donde se desarrollan obras principales como desarrollos de galerías y construcción de piques, y otras obras, no menos importantes, como la habilitación de instalaciones provisionales que permiten la correcta supervisión, operación y mantención de los trabajos involucrados. Algunas de las obras principales son las siguientes:

- Desarrollos horizontales: desarrollo de galerías en los niveles de hundimiento, producción, ventilación y transporte.
- Desarrollos verticales: construcción de piques desde el nivel de producción hasta el nivel de transporte, también se construyen chimeneas de ventilación entre el nivel de ventilación y los demás niveles.
- Obras civiles: construcción de obras de ingeniería civil, como los puntos de extracción, puntos de vaciado, buzones, ferrocarriles, correas y otros.
- Servicios: construcción de infraestructura de servicios, tales como los talleres de mantenimiento, infraestructura eléctrica, oficinas, entre otros.
- Montaje y puesta en marcha: habilitación de instalaciones eléctricas, electrónicas, mecánicas e hidráulicas, por ejemplo, martillos picadores, buzones, ventiladores, entre otros.

Dar cumplimiento a la programación de las labores constructivas permite cumplir con la preparación minera de manera segura, eficiente y oportuna, asegurando la incorporación de área a producción.

3.3.1. Desarrollos Horizontales

La actividad correspondiente a la excavación de desarrollos horizontales es considerada una actividad clave durante la etapa de construcción de una mina Block/Panel Caving, debido a que de esta actividad dependen las demás obras a realizar. Los desarrollos horizontales habilitan el acceso a la mina, a sus distintos niveles, a las bateas, punto de extracción, puntos de vaciado, buzones, chimeneas, frontones, entre otros.

La excavación puede ser a través de Perforación y Tronadura (PyT) o realizarse por medio de excavación mecanizada. A pesar de que la excavación mecanizada a través de máquinas tuneleras como las TBMs (Tunnel Boring Machines) presentan mejor control ambiental, cumplen con las exigencias productivas, presenta una mayor velocidad de excavación y surgen como un avance tecnológico, la excavación a través del método Perforación y Tronadura es más utilizado en la construcción de desarrollos horizontales en la minería subterránea, debido a que a una menor longitud en los tramos de las excavaciones se tiene un menor costo asociado (Giraldo Paredez, 2010).

El método PyT está caracterizado por cumplir un ciclo, el cual es conocido como el “ciclo minero” y consiste en una serie de operaciones unitarias que se van realizando una tras otra (ver Figura 15). Estas pueden ser manuales o semi-mecanizadas, como por ejemplo la operación de perforación se puede realizar de manera manual con una máquina perforadora, o bien, de manera semi-mecanizada con un equipo jumbo.

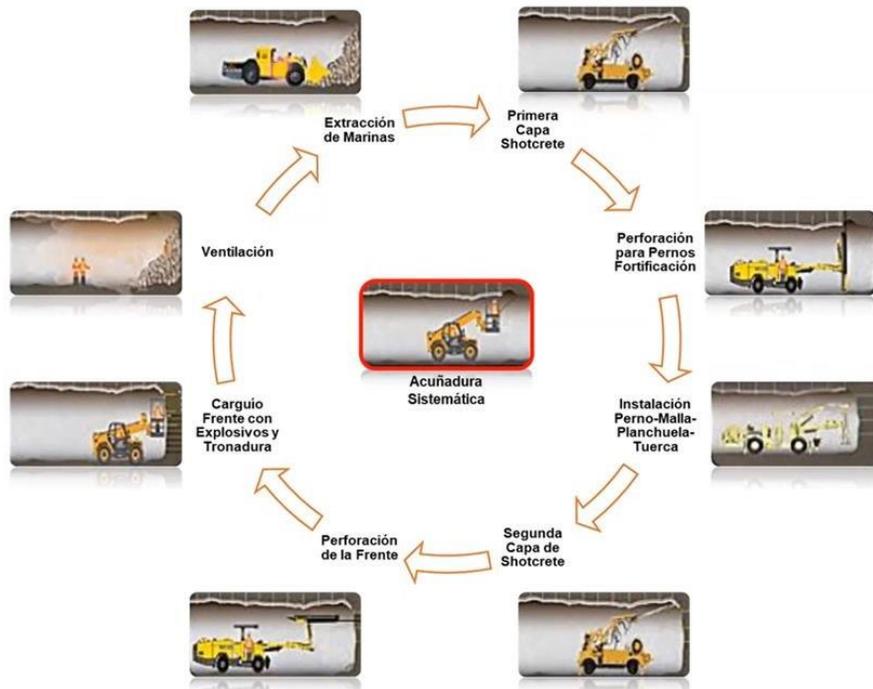


Figura 15: Ciclo de avance de los desarrollos horizontales.

Al ciclo minero, que comúnmente se conoce, se le incorporó la acuñadura antes, durante y después de cada actividad del ciclo, convirtiéndose así en una actividad sistemática. El objetivo de la acuñadura sistemática es proteger al personal del riesgo de aplastamiento o impacto por caídas de roca, como por ejemplo del planchoneo (rocas sueltas que desprenden del techo y/o las cajas de una labor subterránea). La acuñadura es el procedimiento que se lleva a cabo para hacer caer estas rocas de manera controlada antes que el personal transite o trabaje en el sector que está siendo intervenido, y así, evitar posibles accidentes.

El tiempo necesario para llevar a cabo cada una de las operaciones unitarias que forman parte del ciclo minero depende del diseño de cada desarrollo, ya que se tienen diferentes secciones de avance, distancias de extracción de marinas y características de la roca que hacen variar el tipo de fortificación que se aplicará. Por otro lado, las tasas de avance dependen del tiempo del ciclo minero, de la planificación y disponibilidad de los recursos, y de la cantidad de frentes activos, por ejemplo, en la Gerencia de Obras Mina (GOBM) de la División El Teniente, Codelco, por cada disparo que se realice se deben tener al menos 3 frentes activos.

Un benchmarking realizado por Stewart, Ramezanzadeh y Knights (2006), sobre las tasas de avance de desarrollos por perforación y tronadura, respecto a 12 minas que fueron estudiadas (ver Tabla 3), arrojó que el rendimiento de avance promedio de los 12 casos estudiados fue de 6.8 m/día, mientras que la mediana fue de 7.0 m/día. Los autores destacan que los datos utilizados son de frentes únicos y múltiples (multifrentes), por lo que las diferencias en los rendimientos pueden ser atribuible a diferentes prioridades, ya sea operacionales, productivas y/o de costos, es decir, que los valores más bajos pueden representar escenarios donde no es preponderante realizar un rápido desarrollo.

Tabla 3: Benchmarking de rendimientos de avance de desarrollos horizontales (Stewart et al., 2006).

Caso de estudio	País	Rendimiento de avance promedio
Common infrastructure project - PT Freeport (Barber et al., 2005)	Indonesia	9.0 m/día (270 m/mes)
Craviale Tunnel (Kalamaras et al., 2005)	Italia	5.5 m/día (165 m/mes)
Kidd Creek mine (Neumann, 2001)	Canadá	5.3 m/día (159 m/mes)
Holt McDermott mine (Neumann, 2001)	Canadá	7.2 m/día (216 m/mes)
Creighton mine (Neumann, 2001)	Canadá	5.0 m/día (150 m/mes)
Brunswick mine (Neumann, 2001)	Canadá	5.8 m/día (174 m/mes)
Dome mine (Neumann, 2001)	Canadá	7.4 m/día (222 m/mes)
Musselwhite mine (Neumann, 2001)	Canadá	8.9 m/día (267 m/mes)
Birchtree mine (Neumann, 2001)	Canadá	4.1 m/día (123 m/mes)
Stobie mine (Neumann, 2001)	Canadá	7.9 m/día (237 m/mes)
Golden Giant mine (Neumann, 2001)	Canadá	6.7 m/día (202 m/mes)
Golden Grove Catalpa Decline (Roche Mining, 2006)	Australia	8.3 m/día (249 m/mes)

3.3.2. Desarrollos Verticales

Los desarrollos verticales en el método de explotación Block/Panel Caving se preparan mayormente para habilitar caras libres en el proceso de tronadura para la socavación y para la tronadura de bateas, construcción de chimeneas de ventilación entre el nivel de ventilación y los distintos niveles, construcción de chimeneas de traspaso de marina y construcción de piques de los sistemas de traspaso que conectan los niveles de producción y transporte.

Los desarrollos verticales se llevan a cabo con excavaciones tanto ascendentes como descendentes, presentando un método de excavación mecanizada característico de cada una. Para excavaciones ascendentes se utiliza la metodología Blind Hole, mientras que para las excavaciones descendentes la metodología Raise Borer. También es factible realizar las excavaciones de los desarrollos verticales a través de métodos convencionales (Perforación y Tronadura), pero por su naturaleza, son muy peligrosos y lentos, presentan una baja velocidad de avance y el sector debe ser aislado al momento de la tronadura. Es por esto, que se ha optado por adoptar los métodos de excavación mecanizada, los cuales presentan un aumento significativo en la seguridad del personal, llegando incluso a cero fatalidades, también se reducen los tiempos de desarrollo al aumentar la velocidad de avance, el funcionamiento al ser continuo evita los tiempos de inactividad cíclicos de los métodos convencionales y son fáciles de operar y mantener (KOGLER, 2008).

3.3.2.1. Raise Borer

El método Rise 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 (ver Figura 16). En el caso de este método de excavación, se debe contar con ambos niveles disponibles para realizar la labor de excavación, con la parte del nivel superior, donde va montado el equipo, y con la parte del nivel inferior, donde es depositado el detritus de la excavación que luego es extraído.

El método Rise Borer se basa en las acciones de empuje y rotación, realizando el primero con bombas hidráulicas que accionan cilindros hidráulicos y el segundo, 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 de la longitud de este.

A través de este método, se pueden alcanzar alturas de perforación de hasta 1.000 metros, con diámetros que van de los 0.7 hasta los 8 metros (Minería Chilena, 2017).

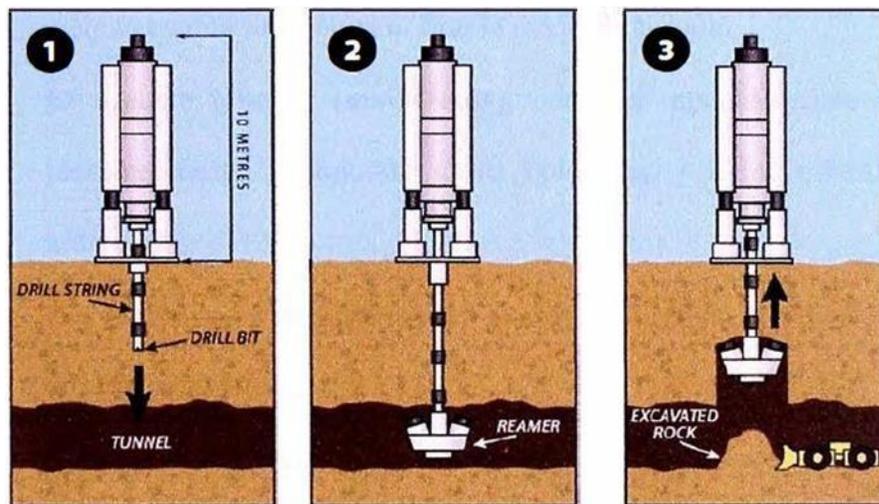


Figura 16: Proceso de perforación Raise Boring. 1. Perforación piloto; 2. Acople de broca escariadora; y 3. Escariado (Huamani, 2019).

3.3.2.2. Blind Hole

El método Blind Hole implica el uso de una máquina electrohidráulica para excavar desarrollos verticales de forma descendente, el equipo se instala en el nivel inferior desde donde se perfora un tiro ciego, el cual lleva en la punta, 60 cm más adelante, el Pilot Blit que sirve como guía para el escariador, mientras que el detritus (material excavado particulado) cae por la acción de la gravedad hasta el nivel donde se encuentra ubicado el equipo (ver Figura 17). Para llevar a cabo las labores de excavación se debe disponer solamente del nivel donde está ubicado el equipo.

El método Blind Hole se basa en las acciones de empuje y rotación, realizando el primero con sistemas hidráulicos de bombas de alta presión y el segundo, con un motor eléctrico que puede ser de 250 HP como lo es en el caso del equipo Robbins 52-R, que tiene la transmisión justo debajo del escariador. Mientras que, en lo que respecta al equipo Master Drilling RD-2000, son motores hidráulicos los que realizan la acción de empuje y rotación.

A través de este método, se pueden alcanzar alturas de perforación de hasta 100 metros, con diámetros que van de los 0,6 hasta los 2 metros (Minería Chilena, 2017).

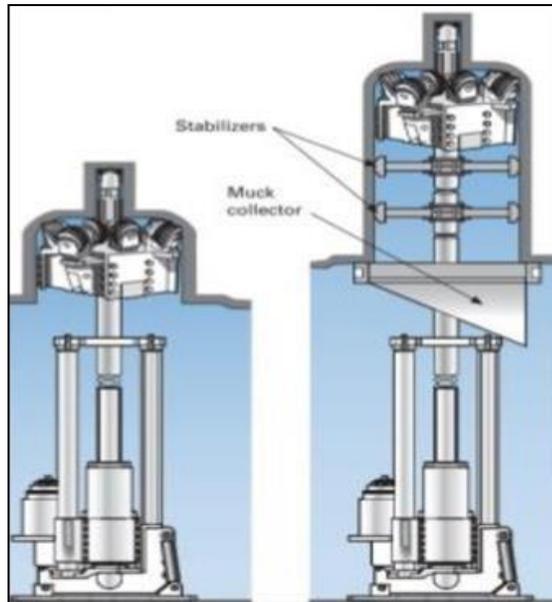


Figura 17: Perforación Blind Hole (Aguila, González, Galdamez, & Ramos, 2016).

3.3.3. Sistemas de Traspaso

Los sistemas de traspaso son infraestructura crítica para cumplir con los compromisos de producción de la mina, son la base de los sistemas de manejo de mineral y son relevantes para la comprensión e interpretación adecuadas de todo el proceso involucrado en la construcción de estas macroestructuras.

La construcción de un sistema de traspaso implica el desarrollo de un conjunto de proyectos de ingeniería, de distintas especialidades, que es esencial estudiar y abordar antes de iniciar la etapa de construcción. Para esto, se debe realizar un completo análisis técnico-económico de la modalidad de construcción, debido a que es una de las actividades mineras más riesgosas (Salinas, 1998).

Si bien es una de las actividades mineras más riesgosas, se puede desarrollar con el apoyo de una buena ingeniería y un correcto control, permitiendo convertirla en una operación segura con los riesgos inherentes de toda actividad minera.

Un sistema de traspaso se puede identificar con 3 componentes principales; el pique de traspaso, la infraestructura de carga de mineral que sirve para el control de tamaños y volumen de vaciado, y la infraestructura de descarga, para controlar el flujo de material y carguío.

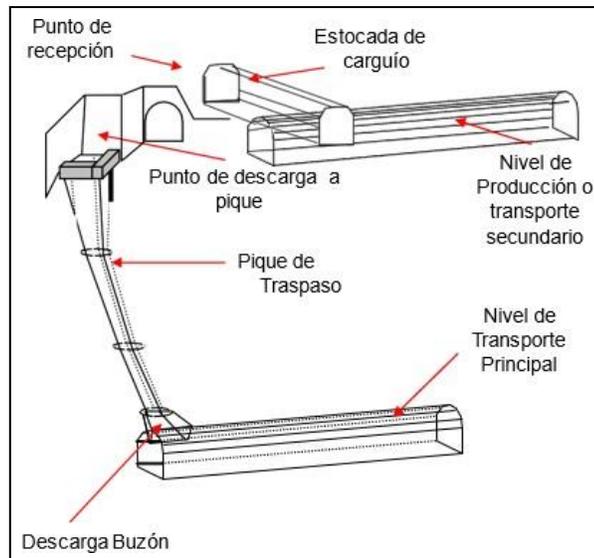


Figura 18: Ilustración general de un sistema de traspaso (Castro, 2016).

3.3.3.1. Punto de Vaciado

Para realizar una correcta transmisión del material se requiere contar con la infraestructura adecuada, por lo que se debe contar con elementos de obras civiles como muros topes, los cuales cumplen la función de detener la posible caída de equipos al pique de traspaso, como también proteger al personal de la exposición a la cara libre del pique, el brocal, que corresponde a la terminación fortificada de la rotura de un pique con la galería horizontal, la parrilla, para controlar la granulometría que ingresa al pique, los martillos picadores fijos, para reducción de material que presenta un tamaño superior a la sección de la parrilla, entre otros componentes.

La parrilla es una especie de harnero que sirve para controlar la granulometría máxima que pasa por el pique de traspaso y se puede construir de acero, rieles, vigas T, tubos vacíos y/o con hormigón, barras de molino, entre otros. La parrilla debe resistir la reducción del sobretamaño que realiza el martillo picador sobre ella, siendo esta una operación de alto impacto.

3.3.3.2. Pique de Traspaso

Los piques de traspaso (ore pass) son construcciones verticales a subverticales cuyo objetivo es el transporte de mineral, estéril y/o relleno desde un nivel a otro en una mina subterránea (Castro, 2016). Su construcción depende del método que se utilice, puede ser desde el nivel superior al inferior, viceversa, o bien, una combinación de ambos, este último método es posible ya que se puede realizar una excavación de tiro piloto desde un nivel, para luego proceder con la excavación del diámetro del pique en dirección contraria.

El diseño de la construcción de un pique de traspaso idealmente debe responder a la ejecución del plan minero real, es decir, debe permitir que el flujo de material fluya sin interrupciones y con la distribución granulométrica requerida. Para esto, el diámetro de la sección del pique se debe dimensionar en base al tamaño máximo de partículas (Laubscher, 2000).

A lo largo de los años, se han realizado extensos estudios para determinar la relación entre el diámetro del pique y el tamaño de partícula, por lo que existe una serie de reglas empíricas que establecen dicha relación. Una de ellas introduce que la relación entre el diámetro del pique debe ser cinco veces el tamaño de la roca más grande, para que el 100% del material fluya sin atascos (Laubscher, 2000), mientras que, con cuatro veces el diámetro fluiría el 90% y con tres veces el diámetro solo el 80% fluiría sin complejos. Otra regla empírica establece que el material fluiría libremente con una relación 4:1, mientras que con una relación 2:1 las partículas no fluirán (Vergne, 2014).

3.3.3.3. Infraestructura de descarga

Para efectuar una descarga controlada del material se debe disponer de sistemas de carguío estacionarios (buzones) que se ubican en el extremo inferior del pique. Los buzones sustituyen al sistema tradicional de carguío mediante cargadores frontales, ya que ejecutan la descarga de material de manera directa en el siguiente equipo de acarreo.

Los buzones permiten obtener una mayor seguridad en la operación y un menor tiempo de carguío, también se puede considerar un menor costo de operación siempre y cuando sea necesario llevar el mineral desde una cota superior a una cota inferior, ya que se puede dar el caso en el que se necesite llevar el mineral a una cota inferior del yacimiento antes de enviarlo a la planta de tratamiento siendo que la ubicación de la planta queda sobre la cota del nivel donde se ubican los puntos de extracción (López, 2016), lo cual generaría un aumento en los costos de operación.

Los buzones que son utilizados comúnmente en minería subterránea masiva son de gran magnitud debido a la cantidad de material que tienen que retener. Su construcción consta de la etapa de excavación y fortificación de caverna, obras civiles de estructuras de soporte de acero y/o hormigón, componentes del buzón y unidades hidráulicas y eléctricas. Los buzones están compuestos básicamente por elementos fijos, elementos móviles y unidad de fuerza y control.

- a. Elementos fijos (anclados al cerro): Socucho, tolva y estructura de soporte
- b. Elementos móviles (accionados por cilindros hidráulicos o neumáticos): Cortina de cadenas y buzón de descarga.
- c. Unidad de fuerza y control: Instalaciones requeridas para el accionamiento de los cilindros hidráulicos y en ocasiones ventiladores auxiliares y semaforización.

En resumen, el buzón de carguío está compuesto por una compuerta (posición superior) de regulación de mineral y, además, por una tolva de detención de mineral. Estos mecanismos son accionados por cilindros hidráulicos, y estos últimos son parte integrante del sistema electrohidráulico.

4. Antecedentes Sistemas de Gestión

4.1. Metodología Lean

Lean es una metodología que está basada en una filosofía de trabajo, que define la manera de mejorar y optimizar los sistemas de producción, con un enfoque en la identificación y eliminación de diversos “desperdicios”, definidos como aquellos procesos o actividades que utilizan más recursos de los estrictamente necesarios (Hernández & Vizán, 2013). Identifica los tipos de desperdicios presentes en la producción: como la

sobreproducción, el tiempo de espera, el transporte, el sobreprocesamiento, el inventario, el movimiento y los defectos.

La metodología Lean, como filosofía, indica que acciones no deberían estar en curso, principalmente porque no agregan valor al cliente y se tiende a eliminarlas. Para lograr sus objetivos, despliega la aplicación sistemática y habitual de un amplio conjunto de tecnologías que cubren la gama completa de prácticas en el dominio de las operaciones de fabricación: organización del trabajo, gestión de la calidad, procesos internos de producción, mantenimiento, cadena de suministro, entre otros (Hernández & Vizán, 2013).

Según lo expuesto por Hernández & Vizán (2013), los resultados de implementar la metodología Lean deben ser productos que puedan ser obtenidos con la menor cantidad de recursos y de calidad, en el menor tiempo posible y sin desperdicios, estos últimos son considerados como elementos que no contribuyen en el producto del sistema y se tiende a eliminarlos a pesar de que estén asociados con el pensamiento de lo necesario.

4.1.1. Implementación de la metodología Lean

La implementación de la metodología Lean en la preparación minera es más complicada de lo que parece, ya que el proceso de construcción es evaluado en base al producto final que es entregado y no se considera que en el camino se tienen desperdicios y se pierden oportunidades de mejoras que no fueron recepcionadas en su debido momento. Dichas singularidades no dificultan en modo alguno la aplicación de la metodología lean, pero se deben realizar esfuerzos para mitigar los problemas que ocasionan.

4.2. Sistema de Gestión C+

A modo de gestionar, mejorar y optimizar de mejor manera los procesos asociados al rubro minero, Codelco ha elaborado mejoras a las metodologías de gestión creando el Sistema de Gestión C+ que es una manera de administrar el negocio en la búsqueda de mejoras y en la captura de valor de manera sostenible. Tiene como base 4 disciplinas que se relacionan entre sí y cada una de ellas se compone de prácticas C+ (Codelco, 2020).

- Objetivo común: Enlazar la estrategia a los objetivos y a los propósitos importantes.
 - Full Potential (Indicadores y metas)
 - Aspiración
- Mejora continua: Encontrar mejores maneras de trabajar.
 - Resolución de problemas
 - Gestión del PIT
- Procesos Eficientes: Dar al cliente lo que quiere de manera eficiente.
 - Estándares
- Desarrollo de personas: Desarrollar a las personas con la finalidad de que puedan liderar y contribuir con su máximo potencial.

- Desarrollo de rol
- Confirmación de rol
- Confirmación de proceso
- Talento de Valor

4.2.1. Metodología Full Potential

Codelco define la metodología Full Potential como un proceso que conecta la estrategia a objetivos y propósitos operacionales con una metodología definida (Codelco, 2020). El objetivo principal del Estándar Corporativo - Full Potential consiste en consolidar un proceso definido y estandarizado que:

- Pueda recopilar las mejores prácticas tanto locales como del mercado.
- Posibilitar que las Divisiones puedan identificar brechas dentro de sus procesos productivos y levantar palancas que apunten al cese de estas.
- Permita configurar Proyectos (PITs) que conglomeren estas palancas y puedan ser gestionables

En el proceso de la Estrategia de Codelco se busca asegurar las capturas de valor, para esto, el equipo C+ desarrolla actividades/etapas Full Potential. El rol de la Excelencia Operacional es desafiar los procesos vía identificación de Límites Técnicos, y a través del mejoramiento continuo, aspirar a cerrar brechas para la obtención de mejores resultados.

Las actividades/etapas Full Potential se pueden agrupar en: Identificación, Diagnóstico, Diseño, Ejecución y Captura (ver Figura 19).



Figura 19: Actividades/etapas Full Potential (Codelco, 2020).

Las actividades/etapas Full Potential correspondientes a la fase de identificación, se describen en los siguientes puntos:

- 1) Diagrama de procesos: Permite comprender como interaccionan los procesos de la fase productiva. Para esto, se debe definir el límite teórico de cada proceso, el cual corresponde a la producción de diseño de un equipo productivo por el tiempo nominal (normalmente 24 horas), y al mismo tiempo, definir el límite técnico, que

corresponde a la máxima producción que puede entregar un equipo o sistema de forma sostenible según sus condiciones operacionales, para alcanzar esto se necesita una ejecución acorde al diseño, al mantenimiento, a la operación y a todas las actividades de planificación, operación y mantenimiento. Por otro lado, se debe considerar el valor real de cada proceso, es decir, el valor real de producción obtenida en el periodo de análisis, ya que de esta manera se puede determinar los límites con los que se va a trabajar y que se desean mejorar. Un ejemplo ilustrativo de diagrama de procesos se puede observar en el Anexo A: Diagrama de Procesos.

- 2) **Árbol de valor:** Permite identificar los indicadores accionables para la mejora de un proceso a través de palancas operacionales. Se debe descomponer cada proceso en variables que afectan su disponibilidad, utilización en base disponible y rendimiento. Estas variables se pueden agrupar en indicadores cuantitativos y cualitativos, los primeros se dividen en primarios (Disponibilidad, UEBD y Rendimiento) y secundarios (Mantenciones Programadas / No programadas, Aguas Arriba/Abajo, Internos, etc.) los cuales influyen directamente en el indicador primario, mientras que los segundos, son indicadores que se relacionan de manera directa con los cuantitativos, pero son difíciles de modelar. Un ejemplo ilustrativo de árbol de valor se puede observar en el Anexo B: Árbol de Valor.
- 3) **Límite Técnico:** Corresponde a la máxima producción que un sistema o equipo puede entregar de manera sostenible en base a sus condiciones operacionales. Para alcanzarla, se requiere una ejecución perfecta de todas las actividades de planificación, operación y mantenimiento. Se debe buscar que el Límite Técnico sea la Capacidad de Diseño. El Límite Técnico (*L.T.*) se puede calcular a partir de:
 - Capacidad Nominal ($C_{nominal}$) : Capacidad máxima de un equipo, la cual no considera factor de seguridad o de resistencia. A pesar de que operar en este nivel dañará el equipo, máquina o instalación, es el límite superior de funcionamiento, descontando restricciones, permisos ambientales y actividades intrínsecas del proceso (mantenimiento programado, reservas).
 - Capacidad de Diseño ($C_{diseño}$): Capacidad determinada en la ingeniería de construcción.
 - Benchmark Interno o Externo: Corresponde al valor de referencia empleado como comparación para estimar el rendimiento que tiene una instalación, equipo o máquina.
 - Performance Histórica: Conjunto de datos históricos que dan cuenta del rendimiento alcanzado en dicho periodo de tiempo, debiendo ser representativo a las condiciones estables de operación.

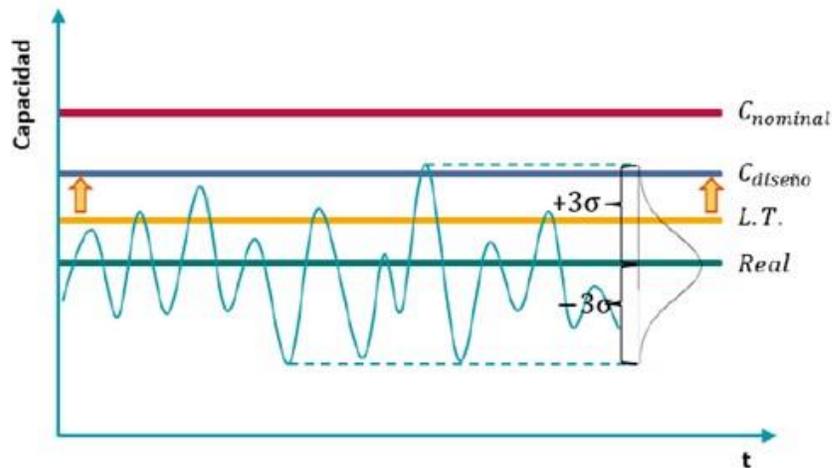


Figura 20: Ejemplo ilustrativo de cálculo de Límite Técnico.

- 4) Cuello de Botella: Es aquel proceso (activo) que restringe la producción real de un sistema, incrementa los tiempos de espera y reduce la productividad global, afectando los costos del producto final. Se deben identificar las pérdidas que genera el proceso tanto aguas arriba o aguas abajo, como también las pérdidas internas. Se define el cuello de botella como aquella actividad con menor holgura, o con menor potencial perdido aguas arriba o aguas abajo.
- Pérdidas en aguas arriba: Limitaciones en el procesamiento a raíz de las detenciones operacionales o a raíz de mantenciones en los procesos anteriores al analizado.
 - Pérdidas en aguas abajo: Limitaciones en el procesamiento a raíz de las detenciones operacionales o a raíz de mantenciones en los procesos siguientes al analizado.
 - Pérdidas internas: Son la causadas por detenciones o por un funcionamiento imperfecto en el proceso analizado.

Un ejemplo ilustrativo de Cuello de Botella se puede encontrar en el Anexo C: Cuello de Botella.

- 5) Identificación de Brechas: La identificación de Brechas o también llamado OEE es un indicador que muestra la Eficiencia Global del Equipo. Corresponde a la relación entre la producción real del equipo (que considera las actividades intrínsecas del proceso y las pérdidas por disponibilidad, utilización y rendimiento), respecto a su límite teórico.

$$OEE = \frac{\text{Producción actual}}{\text{Límite teórico}}$$

Ecuación 1: Relación de Eficiencia Global del Equipo.

Para profundizar la identificación de las brechas en base a las fuentes de pérdida, se pueden utilizar diferentes herramientas estadísticas. En las cuales destacan:

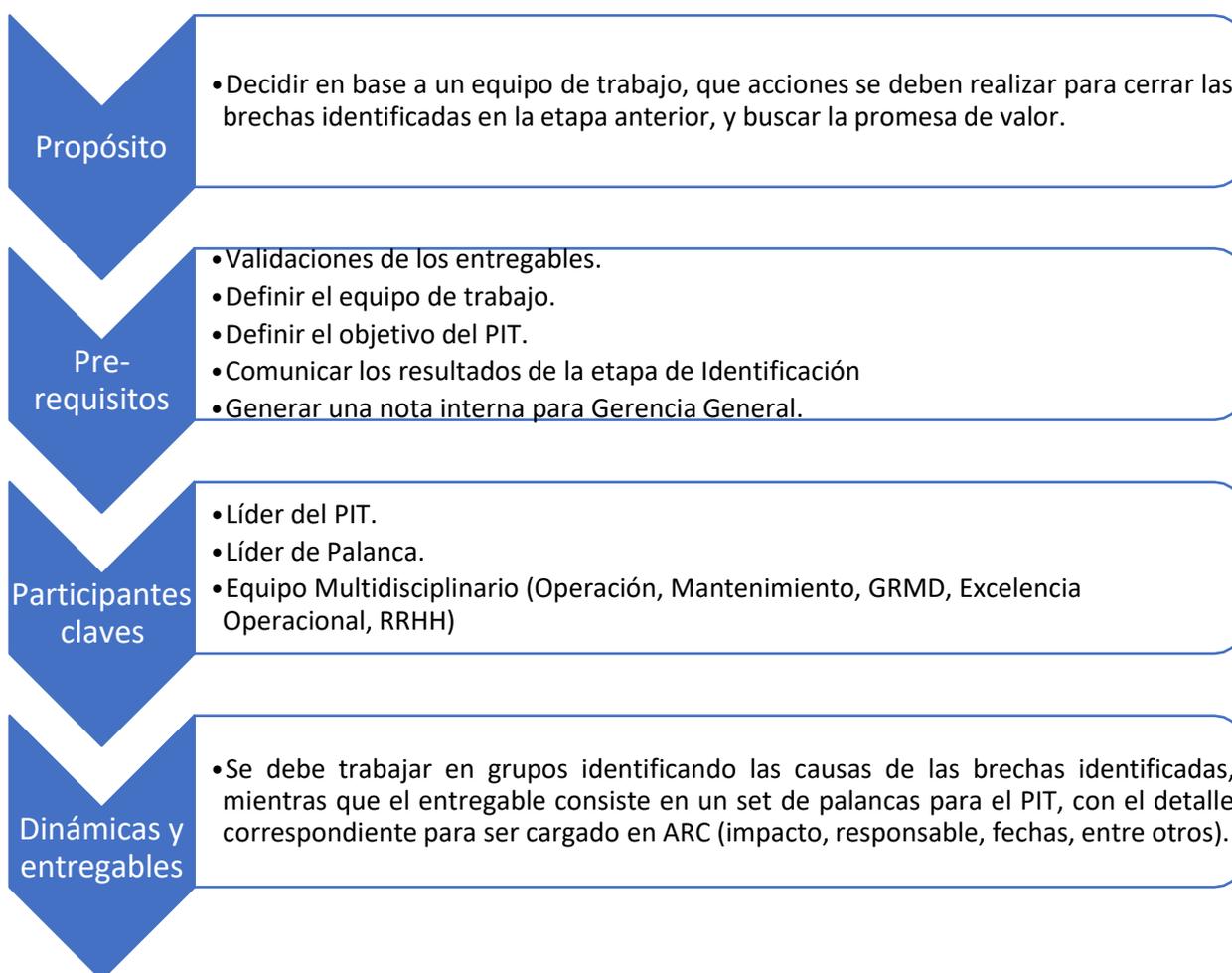
- Diagrama de Pareto: Regla 80/20, permite asignar un orden de prioridades.
- Análisis histórico: Permite identificar cuando ocurren los eventos.
- Análisis de distribución/capacidad: Permite identificar cuan dispersos están los datos (variabilidad).
- Análisis de predictibilidad: Permite predecir el comportamiento de los datos.

Un ejemplo ilustrativo de Identificación de Brechas OEE se puede encontrar en el Anexo D: Identificación de Brechas OEE.

Al momento de identificar las diferentes brechas, para el proceso sería ideal poder atacar cada una de ellas, pero como los recursos limitados, se deben priorizar las que generen un mayor impacto en el proceso.

Por otro lado, las actividades/etapas Full Potential correspondientes a la fase de diagnóstico, como la Identificación de Causas Raíces, Palancas y PIT's se realizan a través del Taller de Palancas.

El Taller de Palancas se describe por medio del siguiente diagrama.



El Taller de Palancas, en su estructura interna, se compone de 4 módulos, primero se realiza la presentación del análisis del PIT, luego se deben identificar las Causas Raíces

y Palancas de Gestión, posteriormente se lleva a cabo la priorización de Palancas y finalmente, se construye el Plan de Actividades. Codelco define los PIT's, las Palancas y las Actividades de la siguiente manera:

- PIT: Plan de Implementación Tático que tiene por objetivo aumentar el desempeño a nivel de fase (o proceso mayor) desde una línea base (definida) hacia una aspiración desafiante pero realista. Se compone de palancas.
- Palanca: Contra medida que busca cerrar o disminuir una brecha específica o mal actor (generalmente asociadas a disponibilidad, utilización o rendimiento), que tenga un impacto relevante en el PIT. Se debe caracterizar por tener un KPI de proceso al cual afecta, ser temporalmente acotado y ser específico.
- Actividad: Corresponde a las tareas necesarias para la realización de una palanca. No es necesario que tenga un KPI asociado o un resultado incorporado en su definición.

Un ejemplo ilustrativo de PIT/Palanca se puede encontrar en el Anexo E: PIT/Palanca.

En tanto, las otras actividades/etapas Full Potential correspondientes a la fase de diagnóstico, como la Aspiración a partir de palancas y la Valorización, se describen a continuación:

- 1) Aspiración a partir de Palancas: Elaborar la aspiración es esencial para la transformación del desempeño, y tiene como fin expandir las ambiciones de la organización. Se construye a partir de los PIT's y Palancas identificadas. La aspiración final de una transformación del desempeño es lograr un cambio sustancial y sostenible en el desempeño y los comportamientos que lo sustentan. Se puede entender como la meta productiva desafiante que busca acercarse lo más posible al límite técnico de un equipo o sistema. La aspiración debe estar fundamentada en palancas que permitan alcanzar esta meta en un tiempo determinado. A modo de ejemplo, en el Anexo F: Aspiración, se muestra la elaboración de aspiración de un proceso.
- 2) Valorización: Codelco define un estándar para la valorización de palancas operacionales en diferentes operaciones unitarias, tiene como objetivo definir la metodología que permite valorizar el impacto de Palancas Operacionales (MUSD). A modo de ejemplo, en el Anexo G: Metodología para valorizar palancas de tratamiento, se detalla la metodología que permite valorizar palancas de tratamiento de mineral.

Las últimas actividades/etapas Full Potential correspondientes a las fases de Diseño, Ejecución y Captura, son la Definición de hitos de captura, el Seguimiento y control de PITs y la Captura de valor estable respectivamente. Cada una de ellas se describe a continuación.

- 1) Definición de hitos de captura: Se deben definir las actividades claves que se deben desarrollar para la captura, deben ser fácilmente verificables como hechos realizables y siempre están asociados a un PIT o palanca.

- 2) Seguimiento y control de PITs: Se debe tener en consideración presentar el desempeño de cada palanca con respecto a la línea base e indicar el aporte de los PITs por fases, en la aspiración definida.
- 3) Captura de valor estable: se utiliza un mecanismo que permite a la organización volver a capturar valor del que esta misma está creando, por lo que la organización debe encontrar la manera de identificar con que actividades aumentan el valor de estas y potenciarlas para que perduren en el tiempo.

5. Metodología de trabajo

La metodología de trabajo utilizada para llevar a cabo el presente estudio se describe a continuación.

1. Recopilación de antecedentes de excavación, construcción y habilitación de los sistemas de traspaso (SdT): Con el objetivo de identificar las actividades y operaciones necesarias para entregar un sistema de traspaso, se realizan entrevistas personalizadas al personal de turno, para obtener de primera fuente la manera de construir los SdT y como se lleva a cabo la implementación de la metodología Full Potential (FP). Se realizan entrevistas a jefes de turno, personal encargado de la minería, obras civiles, habilitación hidráulica, habilitación eléctrica y puesta en marcha, cuadrillas mineras, operadores, la inspección técnica de obra (ITOs), jefes de área y jefes de proyecto, de esta manera también se busca construir el escenario global que se vive dentro de la mina. Al mismo tiempo, se le solicita al personal encargado de construir los SdT, expedientes y documentación que respalde los procedimientos, uso de equipos, tiempos invertidos en la labor, recursos, entre otros.
2. Evaluación y diagnóstico en terreno del estado de los actuales SdT que se encuentran en construcción y puesta en marcha: Con el fin de analizar y levantar el estado actual de los SdT que se encuentran en el loop 0, se describen, según lo observado en terreno, sus principales características y etapas de construcción.
3. Estudio, comparación y análisis de nueva metodología implementada en la construcción de SdT: En base a los antecedentes recopilados, se identifica una variante en las labores mineras de la construcción de los SdT, por lo que realiza un estudio de las nuevas variables y se comparan con la anterior metodología.
4. Marco Teórico: Búsqueda bibliográfica, búsqueda de información acerca de excavación, construcción y habilitación de sistemas de traspaso, junto a la descripción de la metodología Full Potential y de las principales características de la mina Recursos Norte, como ubicación, mineralización, geología, método de explotación, entre otros.
5. Recopilación de resultados y lecciones aprendidas en la construcción y puesta en marcha de los SdT: A partir de la entrega de 5 sistemas de traspaso correspondientes al loop 0 del sector Recursos Norte, se le solicita al personal encargado de construir dichos SdT, las mensuras, informe, reportes, expedientes y documentación que respalde los hitos de las actividades de construcción de los buzones, junto a entrevistas personalizadas para detallar las principales lecciones aprendidas en la construcción de los SdT.

6. Análisis de la implementación de la metodología Full Potential: Orientado en la ejecución del proceso de la metodología FP aplicada en la construcción de los SdT, se analiza al detalle el uso de cada herramienta de la metodología FP y los principales resultados obtenidos en su implementación.
7. Estudio de eficiencia de la metodología FP desde el punto de vista técnico y económico: análisis de la viabilidad de la implementación de la metodología en cada actividad constructiva, estudiando las herramientas que son aplicables en cada proceso y cuáles no. Junto a esto, se calculan los excedentes que se obtienen con la mejora presentada en base al avance en la entrega del SdT, para esto, se considera la entrega adelantada de cada buzón, por lo que se calcula el excedente en base al material descargado durante 5 meses y el costo de operación y tratamiento durante el mismo período. Adicionalmente, considerando la inversión que se requiere para construir cada uno de estos SdT, se calcula el tiempo de retorno de dicha inversión y se realiza una proyección del potencial económico en base a la estimación.
8. Estandarización de la metodología FP y recomendaciones: A partir de las lecciones obtenidas en la etapa de estudio, se establecen los lineamientos de cada una de las etapas de la metodología para su posterior implementación en proyectos de otros sectores productivos de mina El Teniente.

6. Desarrollo

6.1. Caso de Estudio: Mina Recursos Norte División El Teniente

6.1.1. Ubicación y acceso

El sector RRNN está ubicado al norte de los sectores Reservas Norte (ReNo) y Dacita, los que se encuentran aún en operación. Estos 3 sectores productivos forman parte de mina Norte, la cual está ubicada al norte de la pipa Braden.

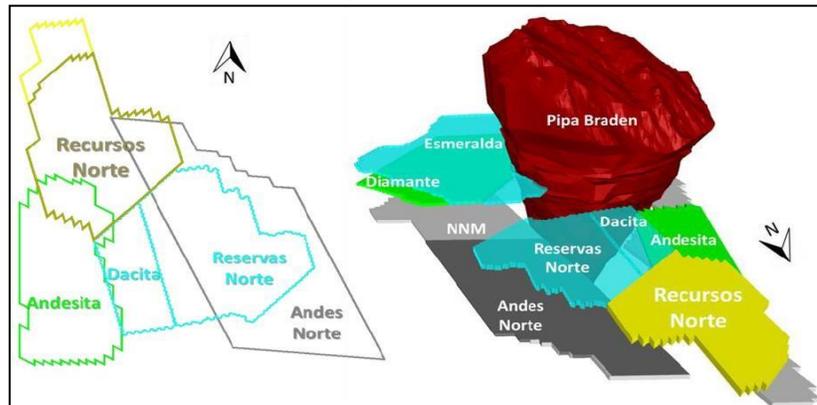


Figura 21: Ubicación Polígono Recursos Norte. Fuente: Gerencia de Proyectos, DET, Codelco.

6.1.2. Caracterización Geológico-Estructural

Las principales unidades litológicas existentes en el sector Recursos Norte corresponden al Complejo Máfico El Teniente (CMET) y al Pórfido Dacítico, en torno a los contactos entre ambas litologías se encuentran cuerpos menores de brechas ígneas e hidrotermales. También se reconoce la presencia de un dique de Latita ubicado en el flanco oeste del área de interés. La orientación preferencial de las estructuras geológicas es NE-SW con variaciones E-W y los desarrollos requeridos para la explotación de este sector se situarían en roca primaria. En la Figura 22, se presenta una distribución en planta de las principales unidades litológicas presentes en el sector Recursos Norte.

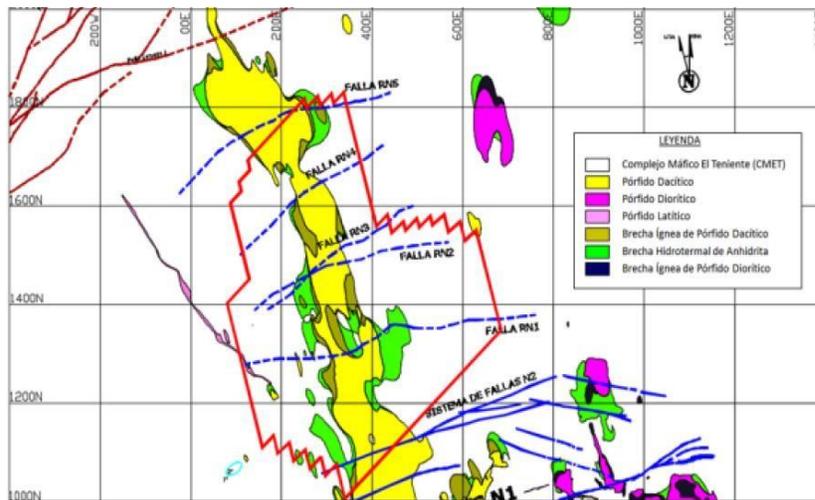


Figura 22: Planta litológica sector PRN, cota 2120. Fuente: Gerencia de Proyectos, DET, Codelco.

6.1.3. Mineralización

La mineralización del yacimiento El Teniente persiste a medida que se profundiza en los niveles productivos, manteniéndose la zonificación de los sulfuros de Cu y Fe, presenta un núcleo de bornita o calcopirita con una zona envolvente de calcopirita mayor que bornita. Mientras que, en la Brecha Braden y Latita Norte adosada, predomina fuertemente la pirita. En la Figura 23 se muestra la distribución de sulfuros de Cu y Fe para el área involucrada en el polígono minero del sector Recursos Norte.

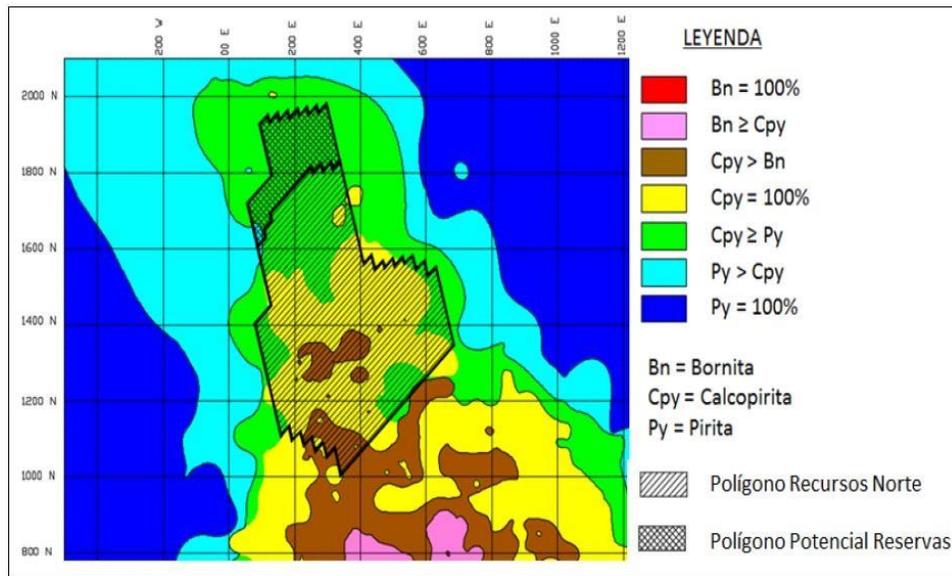


Figura 23: Vista en planta del Nivel de Hundimiento mina Recursos Norte (cota 2120). Fuente: Gerencia de Proyectos, DET, Codelco.

En el Pórfido Dacítico (PDA) presente en el sector Recursos Norte, las leyes de cobre se encuentran entre los 0,5 y sobre 1% Cu, superando el 1,5% Cu, ocasionalmente (principalmente entre los 300E y 400E). Las leyes de cobre más altas se encuentran en el PDA y en las brechas hidrotermales presentes en torno a los contactos CMET - PDA, con valores mayores a 1% Cu y que pueden superar hasta el 2% Cu.

6.1.4. Operación a través del Método Panel Caving

La minería por Panel Caving, en el sector Recursos Norte, se utiliza para explotar roca primaria, la cual es menos fracturada y más competente que la roca secundaria. Por lo cual, el área del sector productivo es pre acondicionado mediante el proceso de fracturamiento hidráulico para que el material fracturado mediante la socavación gravite desde el nivel de hundimiento hasta las zanjas del nivel de producción.

El Sistema de Manejo de Materiales contempla equipos LHD, de 7 yd³ o bien de 9 yd³, que transportan el mineral desde los puntos de extracción hacia los piques de traspaso, donde el mineral, por efecto de la gravedad, baja y es retenido por los buzones en el nivel de transporte intermedio (nivel de acarreo). Luego, los buzones descargan en camiones CAT775, camiones utilizados en minería a cielo abierto de 65 toneladas que han sido adaptados para su tránsito en minería subterránea, los cuales depositan el mineral directamente sobre el chancador giratorio que se ubica en la sala de chancado al interior de la mina en el sector Dacita, el mineral chancado es almacenado en la tolva de

descarga del chancador, desde donde desciende directamente a buzones del nivel Teniente 8 y es descargado en trenes que se encargan de transportar el mineral hasta la superficie hacia la planta concentradora Colón.

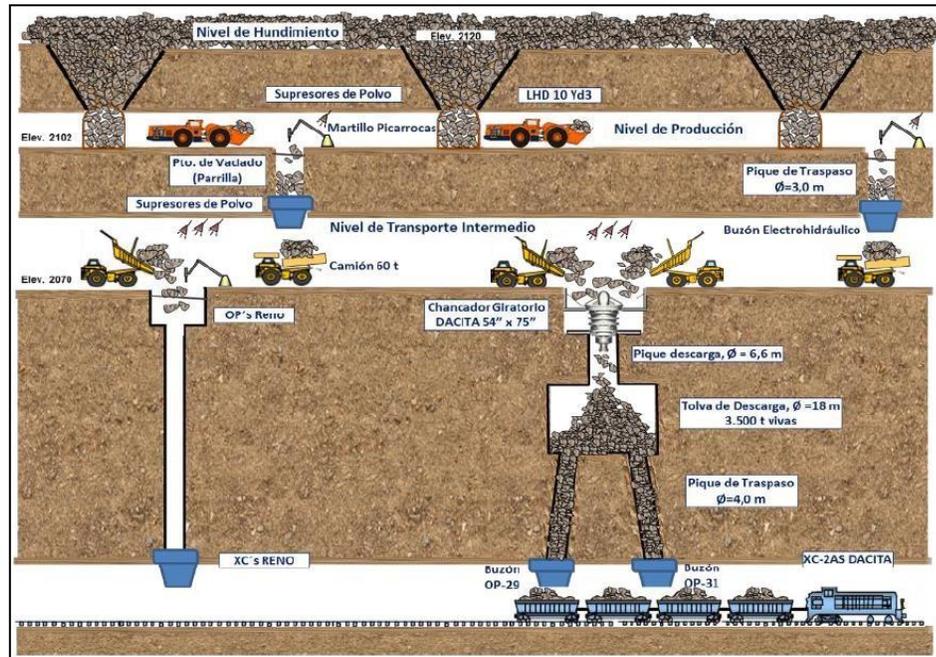


Figura 24: Esquema del manejo de materiales sector Recursos Norte Fuente: Gerencia de Proyectos, DET, Codelco.

6.1.5. Plan de Producción de Recursos Norte (GPRO-DET, 2019)

El sector productivo Recursos Norte contempla explotar reservas en torno a 157 millones de toneladas con una ley media de 0,75% de cobre y 166 ppm de molibdeno, en un área de explotación aproximada de 311.000 m², a través del método de explotación convencional Panel Caving con fracturamiento hidráulico. Su explotación se extiende desde el 2020 al 2038, contemplando una vida útil de 19 años y alcanzando un régimen nominal de 35.000 tpd como valor promedio para el año 2029.

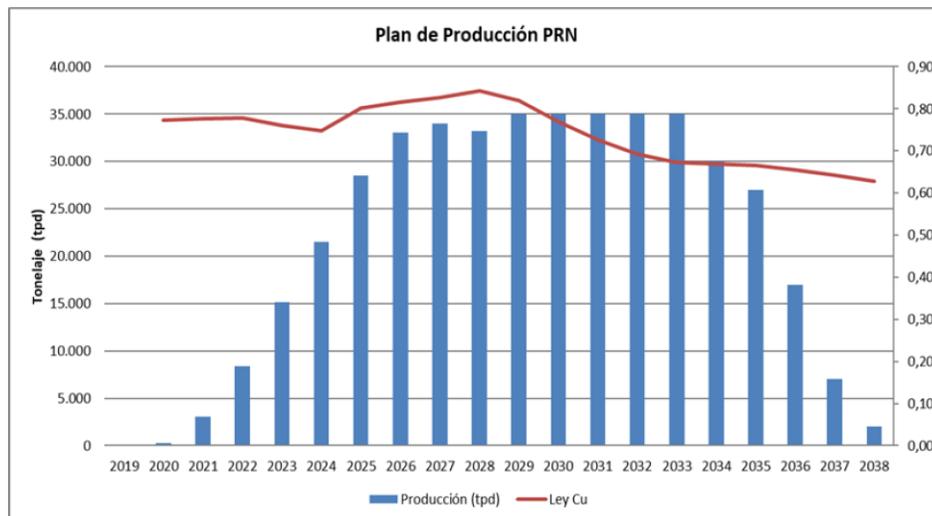


Figura 25: Plan de Producción proyecto Recursos Norte. Fuente: Gerencia de Proyectos, DET, Codelco.

6.1.6. Preparación Minera en El Teniente: Gerencia de Obras Mina (GOBM)

En División El Teniente las labores de preparación minera se llevan a cabo a través de la Gerencia de Obras Mina (GOBM), la cual está encargada de gestionar todos los trabajos subterráneos realizados por las empresas contratistas (EE.CC.).

La misión de la GOBM es llevar a cabo todas las labores de desarrollo y construcción de infraestructura minera, civil, mecánica, montaje, eléctrica e instrumentación, que son necesarias para la incorporación de área, de tal forma que habilite las operaciones y brinde continuidad a la explotación. Dichas labores se deben llevar a cabo bajo los más altos estándares de seguridad, productividad y excelencia, para así cumplir con la preparación minera de manera segura, eficiente y oportuna, asegurando así la incorporación de área a producción.

El área productiva correspondiente a mina Recursos Norte se inserta en la estrategia Divisional de la mina El Teniente en un período donde es clave desarrollar opciones que permitan consolidar el Plan de Producción de la División y que acompañen el crecimiento de los otros Proyectos que componen el Plan de Negocio; Andesita, Diamante y Andes Norte. En este contexto, se busca que mina Recursos Norte otorgue los niveles de flexibilidad necesarios que permitan dar cumplimiento a los compromisos productivos establecidos por Codelco Chile para la División El Teniente.

Dentro de las labores de preparación minera realizadas por la GOBM se encuentran principalmente excavaciones y fortificaciones de desarrollos horizontales, verticales y cavernas, construcción de buzones, habilitaciones mecánicas e hidráulicas de buzones, sistemas de ventilación, entre otras.

Para alcanzar una capacidad de producción de 35.000 tpd en el sector Recursos Norte, la GOBM deberá seguir habilitando área productiva en todos los niveles del sector. Para esto, la GOBM tiene como objetivo entregar en los próximos 3 años una cantidad definida de obras principales, tal como se detalla en Tabla 4.

Tabla 4: Obras principales del sector Recursos Norte Rev. 0 2020. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.

Recursos Norte			
Sector	Nivel	Unidad	Total
Desarrollos Horizontales	Nivel Acarreo	Metros lineales	4.448
	Subnivel Ventilación	Metros lineales	4.110
	Total		8.558
Desarrollos Verticales	Subnivel Ventilación	Metros lineales	830
Buzones	Nivel Acarreo	Unidad	17
Montaje de Ventiladores	Subnivel Ventilación	Unidad	73

6.2. Construcción de Sistemas de Traspaso

Entre las labores de preparación minera llevadas a cabo por la GOBM en mina norte, se tiene la construcción de sistemas de traspasos completos, que contemplan trabajos en un nivel superior de producción (NP), en un nivel inferior de acarreo (NA) y entre ambos niveles para la construcción del pique.

En el presente trabajo, el estudio se realiza en las actividades relacionadas a la preparación del sistema de traspaso desde el nivel inferior, o sea, a las labores de construcción de buzón. No obstante, para entender las actividades involucradas en el método constructivo de un SdT, primero se debe comprender el esquema completo del sistema (ver Figura 26).

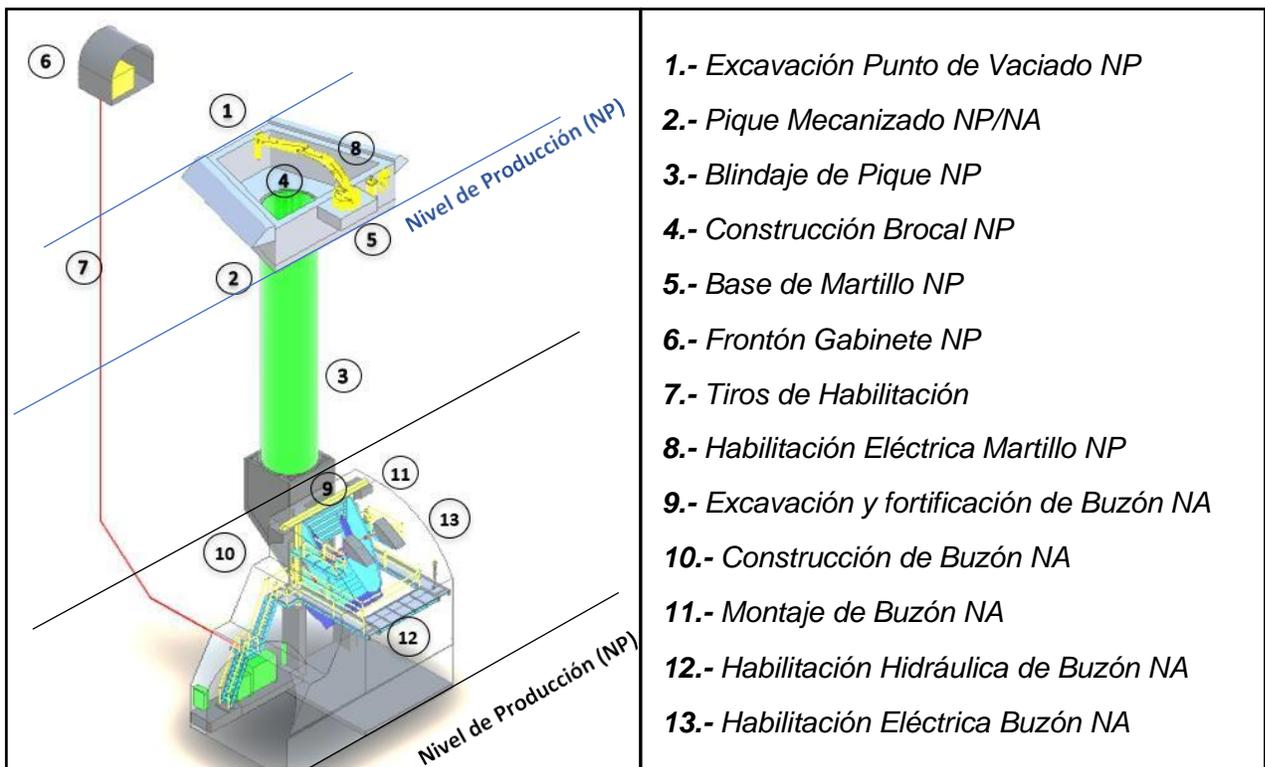


Figura 26: Actividades necesarias para construir un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.

A continuación, se presenta una descripción general de todas las actividades involucradas en el método constructivo de un SdT, enfatizando principalmente en las labores de excavación y construcción de buzón.

6.2.1. Excavación Punto de Vaciado

Contempla la perforación, tronadura y fortificación del sector de la calle donde se ubicará el punto de vaciado del LHD. De esta forma se crea el espacio necesario para instalar el martillo picador de la operación de reducción de sobre-tamaño y la altura que necesita el balde de la pala para vaciar el material.

La secuencia operacional, realizada en serie, considera la excavación en tres etapas más el cableado de techo.

1. Marcación de diagrama de tronadura.
2. Perforación de diagrama de tronadura.
3. Limpieza de última línea de pozos de carguío.
4. Acuñadura.
5. Carguío de frente de tronadura.
6. Conexión de carguío y tronadura.
7. Ventilación.
8. Extracción de marina.
9. Acuñadura.
10. Proyección de preshotcrete.
11. Marcación de pernos.
12. Perforación de fortificación.
13. Limpieza de pata.
14. Lechado de pernos.
15. Colocación de malla.
16. Acondicionamiento de malla.
17. Proyección de shotcrete.

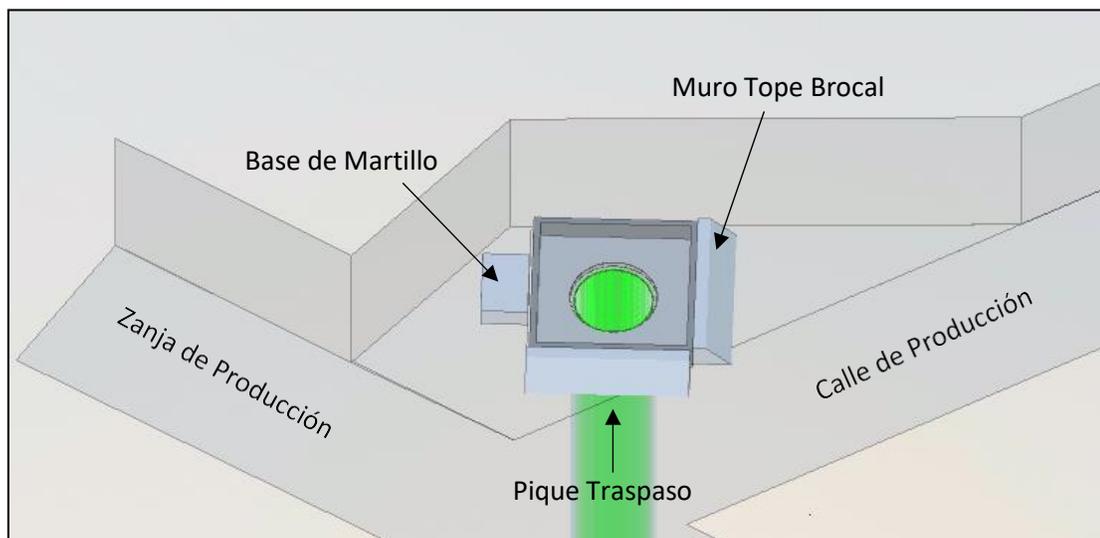


Figura 27: Excavación de un punto de vaciado de un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.

6.2.2. Excavación y Blindaje Mecanizados de Pique NP

Considera la excavación del pique de forma ascendente o descendente, mediante las metodologías Raise Borer o Box Hole (análogo a Blind Hole) respectivamente (ver 3.3.2), en ambos casos se excava un pique de 3,5 metros de diámetro que conecta los niveles de producción y acarreo. Por otra parte, el blindaje de pique considera las obras de instalación de planchas M-01 (aproximadamente 18 anillos de 1 metro de altura), en todo el pique y su posterior hormigonado. La secuencia operacional, realizada en serie, para cada metodología, se describe a continuación.

Secuencia operacional con metodología Raise Borer:

1. Se transporta el equipo Redbore 65 hasta el ensanche del punto de vaciado.
2. Se posiciona el equipo en los puntos teóricos marcados por la ITO y se da la inclinación requerida.
3. Se perfora el tiro piloto de forma descendente (puede ser inclinada) utilizando como herramienta de corte un tricono de rodamientos sellados.
4. Se van agregando barras a la columna de perforación, la cual se estabiliza con barras estabilizadoras de piloto.
5. Una vez perforado el tiro piloto en la galería inferior, se procede al retiro del tricono y en su lugar se conecta un escariador de 3,5 metros de diámetro.
6. Se comienza con el retiro de las barras desde el nivel superior, provocando que el escariador entre en contacto con la roca y logre su corte y cizalle.
7. Se realiza el empate de escariado, una perforación con bajo RPM y empuje para asegurar que el tiro no se desvíe.
8. El detritus generado por la perforación es retirado periódicamente según el nivel de material, el cual no debe abocar la boca de la chimenea.
9. Una vez excavada la chimenea completa, se procede al retiro del escariador, para esto existen 2 alternativas:
 - a. Bajar la columna de barras, desconectar y retirar el escariador por el fondo de la chimenea o pique, a través de la galería inferior. Esto se realiza cortando la barra solida que se encuentra acoplada a la columna de barras y al escariador, la denominada "barra de sacrificio", es cortada con un equipo de oxicorte especial.
 - b. Excavar la chimenea en su totalidad, quitando el escariador por la zona superior de la excavación.
10. Se procede a la remoción de barras de perforación y acopio de estas en un lugar seguro.
11. Finalmente se retiran los equipos y componentes de la postura.
12. Las vigas quedan en postura hasta el traslado de la base para montar los aceros de blindaje.
13. Se utiliza un bastidor con cilindros para el descenso completo de los anillos.
14. Una vez en posición el conjunto completo de anillos se procederá a instalar una fijación adicional de los cables bajo los cilindros hidráulicos.
15. Se realiza el primer vaciado de concreto al interior del espacio anular.
16. Se cortan los cables entre el soporte inferior y el cilindro. Se retira el extremo residual del cable desde dentro del cilindro.
17. Los cilindros serán retirados y montados en otro bastidor, permitiendo mantener la instalación permanente de anillos de fortificación.



Figura 28: Excavación mecanizada de pique con metodología Raise Borer, equipo Redbore 65 de empresa Vertex en Nivel de Producción. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.

Secuencia operacional con metodología Box Hole (proceso de excavación y blindaje continuo):

18. Se transporta hasta el frontón todo el equipo de la BBR1500.
19. Se posiciona la maquina BBR1500, se ancla al piso y se posiciona el bastidor.
20. Se realiza el empate de la máquina a la chimenea y la activación de cilindros de sujeción.
21. Se perfora la chimenea BBR hasta que queden 10 metros de pilar con el nivel superior.
22. Se hace la extracción de detritus, esto lo realiza por medio de un colector que sirve como guía para controlar la caída del material.
23. Se prepara el punto de llegada de la chimenea, confinando el sector con loros metálicos donde romperá la chimenea en desarrollo.
24. Se perfora la chimenea BBR hasta el nivel superior.
25. Se realizan labores superiores strand jacks, se procede a retirar el cabezal de corte en 1,5 metros de diámetro, se arma una parte del escariador y luego se monta el resto para terminar su armado hasta los 3,5 metros de diámetro.
26. Se realiza la perforación de escareado hasta los 2 metros de profundidad.
27. Se procede a levantar el escariador a nivel de piso para realizar un tapado de seguridad sobre el escariador, y así montar los componentes de strand jacks.
28. Se inicia el proceso de instalación de anillos de blindaje adheridos al sistema de Strand Jack por intermedio de cables.
29. Se continua con el escareado en conjunto con descenso de anillos de blindaje.
30. Finalizada la instalación de blindaje a cota proyecto, se procede con el hormigonado de los anillos hasta llegar al límite superior de la instalación de los anillos.
31. Terminado el fraguado del hormigón se procede a cortar los cables del sistema Strand Jack que están embebidos en el hormigón y se inicia la desconexión y retiro del sistema strand Jack.
32. Se realiza un tapado en la base de los anillos instalados.
33. Se retira la maquina con apoyo de Crawler y se instala una malla de protección en el parte inferior.
34. Se completa retiro de componentes del nivel inferior y se entrega a Cliente.

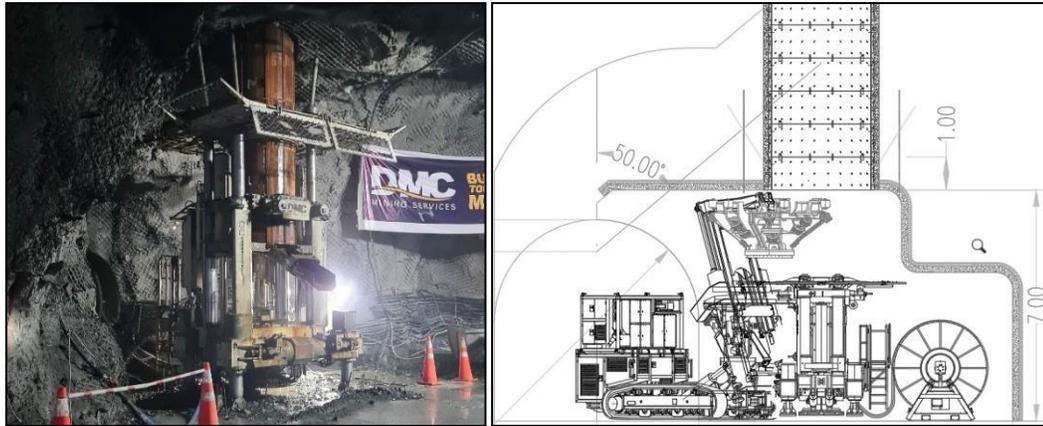


Figura 29: Excavación mecanizada de pique con metodología Box Hole, equipo BBR de empresa DMC en Nivel de Acarreo. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.

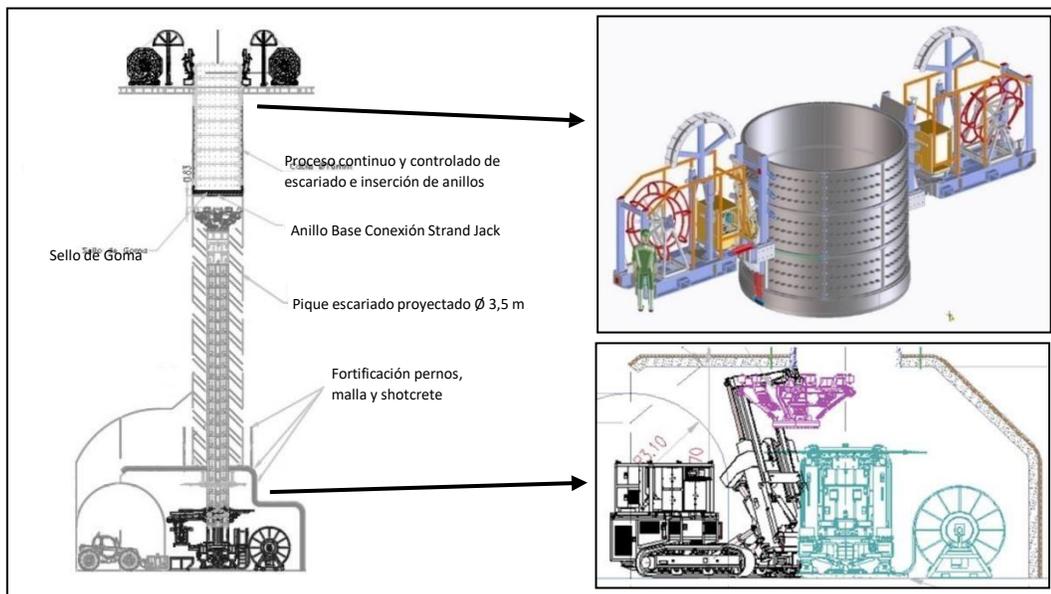


Figura 30: Excavación y blindaje (continuo) de tronco pique de un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.

6.2.3. Construcción Brocal NP

Contempla la instalación de la enfierradura, planchas de blindaje del brocal y de muro perimetral, hormigonado y posterior instalación de parrilla. Con antelación, se debe realizar el desquinche del brocal. La secuencia operacional, la cual se realiza en serie, es descrita a continuación.

1. Marcación topográfica e instalación de patas mineras (soporte) por encima del último anillo.
2. Tapado y colocación de hormigón.
3. Perforación y lechado de perno PL4.

4. Instalación de plancha PC5 encima del último anillo.
5. Solicitud camión mixer.
6. Enfierradura y hormigonado H-30.
7. Tapado de trabajo sobre plancha PC5.
8. Perforación y lechado de perno PL3.
9. Instalación de plancha PC5 y plataforma de trabajo.
10. Fijación con hierro de plancha PC5 y muro de tope.
11. Solicitud camión mixer.
12. Hormigonado H-30.
13. Perforación y lechado de pernos PL1, PL2 y PL4 e instalación de perno de maniobra.
14. Moldaje de cuadratura de parrilla.
15. Instalación de planchas PC1, PC2, PC3 y PC4.
16. Solicitud de camión mixer.
17. Enfierradura de plancha PC5.
18. hormigonado H-30.

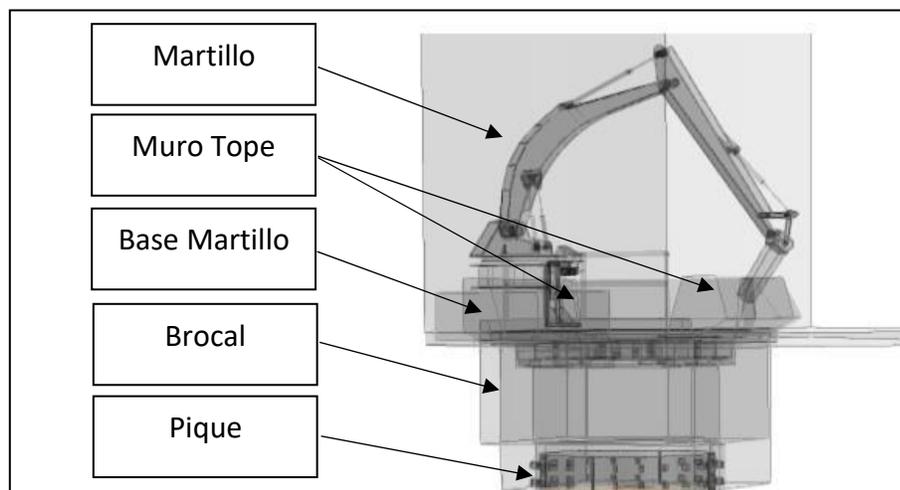


Figura 31: Vista Isométrica del brocal de un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.

6.2.4. Base de Martillo NP

Contempla el acondicionamiento del piso, instalación de pernos de anclaje, instalación de base y hormigonado. La secuencia operacional, la cual se realiza en serie, es descrita a continuación.

1. Solicitud de camión mixer.
2. Escarpe de piso y soplado.
3. Emplantillado (primera etapa de hormigonado)
4. Fraguado de hormigón.
5. Marcación de pernos.

6. Perforación y lechado de pernos de anclaje.
7. Enfierradura base de martillo.
8. Instalación de estructura metálica.
9. Solicitud de camión mixer.
10. Instalación de moldaje.
11. Hormigonado.

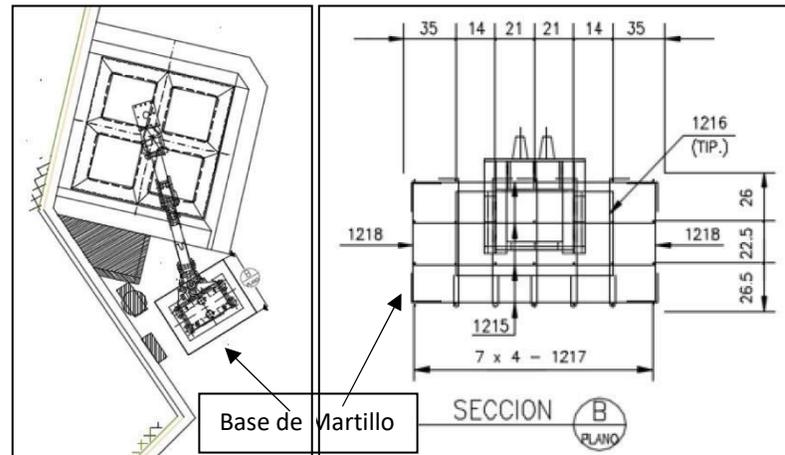


Figura 32: Base de martillo de un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.

6.2.5. Frontón Gabinete

Contempla la perforación, tronadura y fortificación del frontón para la posterior instalación del gabinete de control que sirve para el accionamiento eléctrico de los martillos de cada sector. La secuencia operacional, ejecutada en serie, se describe a continuación.

1. Señalización del diagrama de tronadura de avance (Tiro).
2. Perforación de tiro.
3. Limpieza de pata (línea final de los pozos de tronadura a la cota del piso).
4. Acuñadura.
5. Carguío de frente.
6. Conexión de disparo y voladura.
7. Ventilación.
8. Extracción de marina.
9. Acuñadura.
10. Marcación de frente.
11. Perforación de fortificación.
12. Limpieza de pata.
13. Lechado de pernos.
14. Colocación de malla.
15. Acondicionamiento de malla.
16. Proyección de shotcrete.

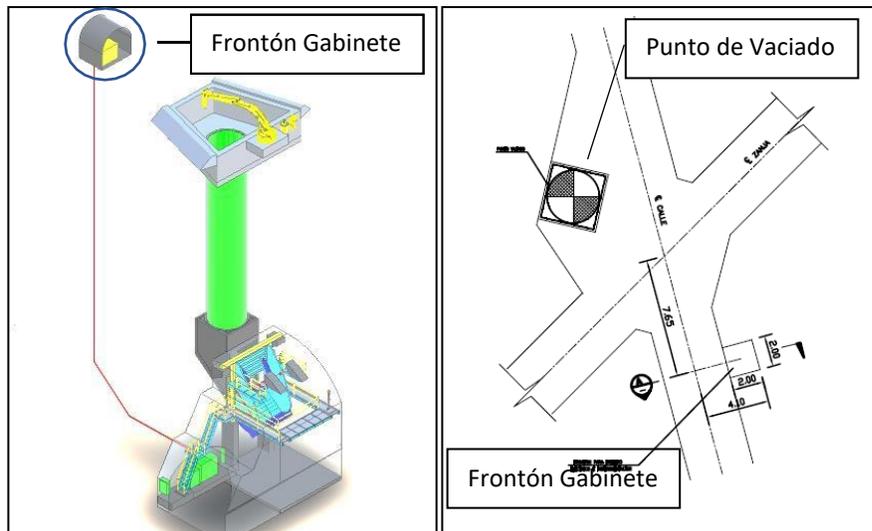


Figura 33: Frontón gabinete de un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.

6.2.6. Tiros de Habilitación

Contempla realizar los desarrollos verticales con una máquina de perforación vertical (Cubex o equivalente) para el paso de los cables de alimentación eléctrica del sistema de traspaso. La secuencia operacional, la cual se realiza en serie, es descrita a continuación.

1. Posicionamiento e instalación equipo de perforación.
2. Preparación de sector de trabajo.
3. Perforación de equipo (6 ½ pulgadas).

6.2.7. Habilitación Eléctrica Martillo NP

Considera el montaje de equipos eléctricos y de automatización, tendido de vías porta conductores, tendido y conexionado de cables de control, fuerza y fibra óptica, para el posterior accionamiento y operación del martillo desde una sala de control. La secuencia operacional, que se realiza en serie, se describe a continuación.

1. Primero se perfora, luego se realiza el soporte para después canalizar en el punto de vaciado (PV).
2. Montaje, anclaje, fijación y conexión gabinete de fuerza y control martillo (PLC) y tablero control local.
3. Montaje y conexión sistema de seguridad (Safety Switch).
4. Suportación, montaje, fijación y conexionado semáforo, baliza en punto de vaciado.
5. Suportación, canalización, montaje, fijación y conexionado de equipos de alumbrado en punto de vaciado y frontón gabinete.

6. Se tiende, fija y conecta cable de audio, video y control.
7. Trazado, perforación, montaje de cáncamos, soportes y tendido de vías para cables de fuerza y alumbrado.
8. Montaje y tendido de vías para cable con HDPE en punto de vaciado (para tendidos por chimenea y tiros pasa cables).
9. Se tiende, fija, soporta y conecta el cable de fuerza martillo y alumbrado.
10. Se tiende, fija, conecta y certifica la fibra óptica.
11. Suportación, montaje, fijación y conexionado de cámaras de video y accesorios.
12. Montaje y conexionado de componentes en salas de equipos (convertor de FO/UTP, jumper, cable UTP).
13. Programación unidades remotas (comunicación y accionamiento UH martillo).
14. Programación servidores de datos (integración a base de datos).
15. Programación consolas de operación y mantenimiento (incorporación pantallas y rutina comunicación).
16. Ingeniería de habilitación martillos (Planos red line y as-built).
17. Puesta en servicio y marcha blanca martillo (pruebas de: aislación, configuración, operación, señales, movimiento, de trabajo).

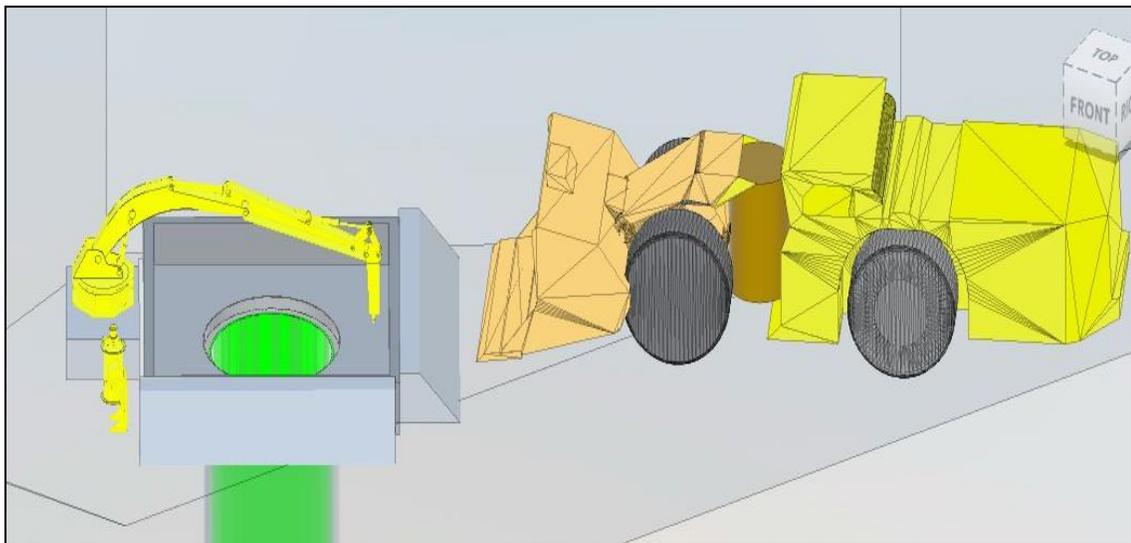


Figura 34: Martillo picador de un Sistema de Traspaso. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.

6.2.8. Excavación y fortificación de Buzón NA

Para realizar la etapa de excavación de levante de buzón, se debe haber realizado previamente la excavación del frontón Raise Borer (para el equipo de perforación vertical) y la excavación de la caja escala, estas labores se llevan a cabo cuando minería desarrolla el loop (galería). La excavación y fortificación de buzón contempla todos los trabajos de minería necesarios para entregar el buzón a la cuadrilla de obras civiles.

La excavación de buzón se realiza en una sola etapa, la cual considera la excavación total del levante de buzón y excavación de tronco pique. El levante del buzón se realiza

con una sola tronadura aprovechando como cara libre el frontón Raise Borer y la excavación previa de la caja escala. Con ambos desarrollos, es posible generar un diagrama de disparo que abarque todo el diseño de excavación sin la necesidad de quemar en etapas. Adicionalmente, se adiciona el proceso de tronadura electrónica, de modo de controlar con mayor eficiencia la secuencia de salida del disparo y así obtener un mejor resultado de la tronadura.

Posterior a la tronadura del levante, se quema sector visera. Esta mejora busca disminuir el riesgo y la exposición del personal, eliminando los puntos ciegos y el sector tipo cuña que se generaba en antiguos buzones causando incidentes en división El Teniente. La secuencia operacional, la cual se realiza en serie, es descrita a continuación:

1. Marcación, perforación, carguío, tronadura y ventilación del levante completo considerando tronco pique.
2. Se realiza tronadura de visera de acceso.
3. Escarpe de marina para generar rampa de acceso.

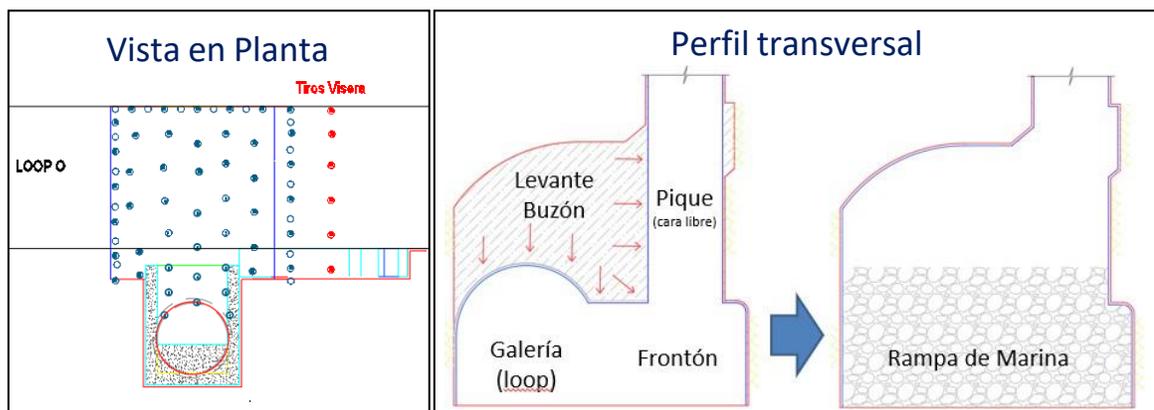


Figura 35: Tiros de la excavación de buzón en un solo levante. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco.

4. La fortificación del levante de buzón se realiza siempre bajo techo fortificado, para esto, se sigue la secuencia de los siguientes 5 tramos: visera, caja-techo FW, techo o corona, caja-techo HW y tronco pique. En cada parada de fortificación se sigue la siguiente secuencia (un diagrama del proceso de fortificación se puede observar en la Figura 36):
 - a. Acuñadura.
 - b. Proyección de shotcrete con fibra.
 - c. Perforación y colocación de pernos de fortificación.
 - d. Instalación de malla y hilteo.
 - e. Proyección de shotcrete.
 - f. Evaluación topográfica en cada parada para desquinces menores.
5. Fortificación del tronco pique con pernos definitivos y periféricos (se realiza ahora con pernos helicoidales sustituyendo la fortificación de cables).

6. Colocación de cortina de seguridad.
7. Colocación de tapón de seguridad en inicio de chimenea (tapado estrella).
8. Entrega de área a obras civiles para construcción de buzón.

Para la fortificación definitiva de PMSH se utiliza, como alternativa al sistema actual (que considera perno 22 mm con pattern 1 x 1 m, malla C10006, 45 cables tipo 3 grosor 0,6 mm y largo de 8,5 m), pernos de 25 mm, malla G80 o MFI5000NR, con pattern 1,4 x 1,4 m para generar una instalación más expedita, y se optimiza la cantidad de cables definitivos con cables tipo 3, con 30 unidades de un grosor de 0,7 mm y largo de 8,5 m.

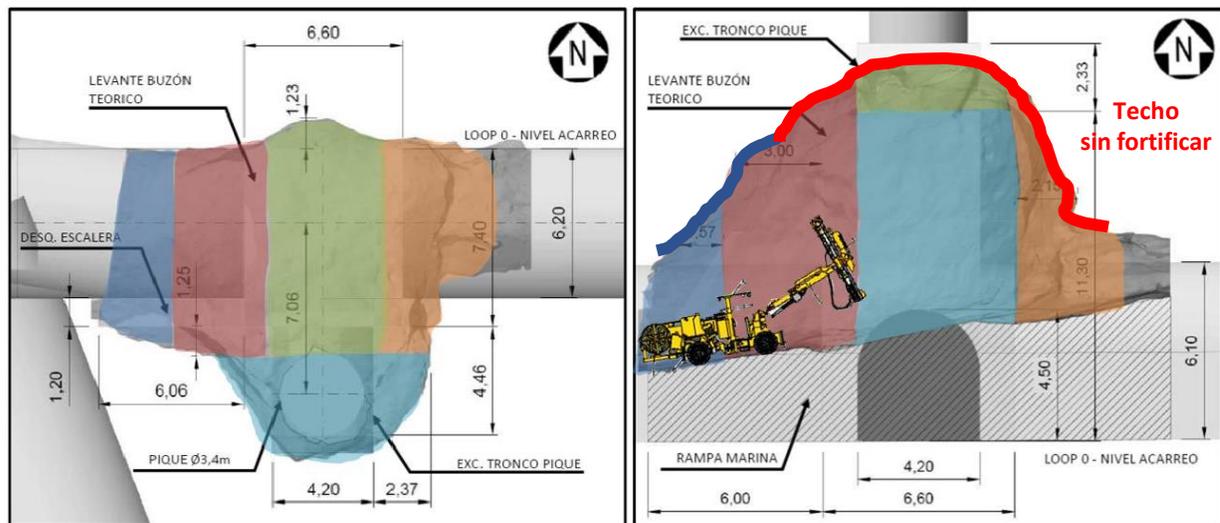


Figura 36: Fortificación levante de buzón de izquierda a derecha, cada color representa un tramo de fortificación. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, Codelco [modificado].

6.2.8.1. Nueva metodología de excavación y fortificación implementada

A lo largo de los años, en división El Teniente, se ha presentado una dificultad en cuanto a temas de seguridad se refiere, en las tradicionales excavaciones de buzón se evidenciaron algunos incidentes, en los que se vieron afectados equipos y el personal que realiza las obras de preparación minera. A partir de ello, considerando las lecciones aprendidas tras la excavación de los buzones en Reno/Dacita, se implementa una nueva metodología con el objetivo de cumplir con los requerimientos del crecimiento mina y así disminuir la exposición del recurso en el proceso. La nueva metodología implementada se describe en la sección 6.2.8, y entre sus principales cambios, se destacan los puntos descritos a continuación.

- Frontón escala: La tronadura de la caja se independiza de la excavación del levante del buzón, de modo que se realiza en conjunto con el desarrollo horizontal del Loop.
- Levante buzón: Se realiza una sola tronadura donde se aprovecha como cara libre el frontón Raise Borer y la excavación previa de la caja escala. Con ambas mejoras, es posible generar un diagrama de disparo que abarque todo el diseño

de excavación sin la necesidad de quemar en etapas. Adicionalmente, se adiciona el proceso de tronadura electrónica, de modo de controlar con mayor eficiencia la secuencia de salida del disparo y así obtener un mejor resultado de la tronadura.

- Visera de acceso: Posterior a la tronadura del levante, se quema sector visera. Esta mejora busca disminuir el riesgo y la exposición del personal, eliminando los puntos ciegos y el sector tipo cuña que se generaba en antiguos buzones causando incidentes en división El Teniente.
- Pre Cableado: Se elimina la instalación de cables previo a la tronadura de levante buzón, producto de la modificación en el diseño de excavación del diagrama de disparo (1 fase), ya no se realiza en etapas, por lo tanto no se requiere una contención de fortificación intermedia en el proceso.
- Tronco pique: Se sustituye la fortificación de cables en tronco pique, por fortificación con pernos helicoidales.
- Fortificación definitiva PMSH: Se suma una alternativa de fortificación con sistema perno 25 mm, malla G80 o MFI5000NR, con pattern 1,4 x 1,4 m, generando una instalación más expedita.
- Cables definitivos: Se optimiza la cantidad de cables definitivos tipo 3, de 45 a 30 unidades, aumentando el grosor a 0,7 mm.
- Seguimiento ITO: Se realizan controles turno a turno de tiempos efectivos de trabajo y de avance del proceso, con plataformas online, con el objetivo de mantener una información con el resto del equipo de trabajo GOBM. Se mantiene un especialista en ambos turnos, exclusiva y especialmente para el control del proceso de buzones. Análisis de datos y evaluación de cumplimientos de forma diaria, de modo de cautelar de forma instantánea cualquier tipo de desviación.
- Recurso Gardilcic: EE.CC. mantiene recursos exclusivos 24/7 para el proceso de excavación de buzones. Se generan reuniones de coordinación y planificación con el equipo GOBM, única y exclusivamente para los trabajos en buzones.

6.2.9. Construcción de Buzón NA

Una vez finalizada la excavación y fortificación del levante de buzón, se inician las tareas de construcción y montaje. La operación se realiza de manera ordenada y bien planificada, se controlan todos los riesgos operacionales y se busca reducir la contaminación ambiental. Para la construcción del buzón se dispone de la rampa de marina utilizada previamente en la fortificación, pero en esta oportunidad para realizar todos los trabajos de obras civiles y de montaje de estructuras en la parte superior del buzón (primera etapa). Luego, para continuar con los trabajos, se rebaja la marina en 2 oportunidades hasta llevar a nivel de piso (segunda etapa). La secuencia operacional, que se ejecuta una parte en serie y otra en paralelo, se describe a continuación.

Construcción de buzón primera etapa:

1. Replanteo Topografía.
2. Trazado, marcación, perforación y lechado de pernos PL y en consolas SP1, SP2 y tronco pique.
3. Escarpe y mejoramiento de rampa.
4. Moldaje en relleno tronco pique y posterior hormigonado.

5. Instalación de enfierradura, moldaje y anclaje de SP1 y SP2 Hw y Fw. En paralelo se inicia blindaje de tronco pique.
6. Hormigón hasta la altura SP1 y SP2 en tronco pique y SP1 y SP2 Norte.
7. Descimbre (retiro) moldaje SP1 y SP2.
8. Enfierradura losa tronco de pique y de panel lateral izquierdo y derecho.
9. Moldaje, hormigonado y descimbre de moldaje de muro 1,2 m tronco de pique.
10. Rebaje de rampa 1,2 a 1,5 m.
11. Moldaje, hormigonado y descimbre de moldaje de relleno bajo cota. Se espera terminar con blindaje tronco pique y con montaje de plataforma para continuar con siguiente actividad.
12. Instalación de plataforma de coigüe, armado de plataforma unispan y cuerda de vida.
13. Enfierradura tronco de pique 2da etapa.
14. Moldaje y hormigonado muro tronco de pique 2da etapa (abajo consola SP3).
15. Armado de plataforma unispan tronco pique.
16. Perforación y lechado de pernos PL junto a enfierradura en consolas SP3, SP4 y SP5 más la visera.
17. Moldaje consola SP3 más instalación de pernos de anclaje para posterior hormigonado de consola SP3 y tronco pique.
18. Instalación de moldaje y hormigonado del muro hasta visera.
19. Instalación de inserto cilindro y pasillos en SP4 y SP5 Hw y Fw.
20. Colocación de moldajes, hormigonado y descimbre de consolas SP4 y SP5 en Hw y Fw más tronco de pique.
21. Retiro de piezas de andamios, moldaje, plataforma de coigüe en tronco de pique y plataforma buzón.

Blindaje tronco pique:

1. Armado de paneles 68M2.
2. Blindaje 1era etapa adicional mk1 y mk2.
3. Blindaje 2da etapa.
4. Construcción de plataforma de coigüe.
5. Blindaje visera más refuerzo y remate de soldadura en paneles.

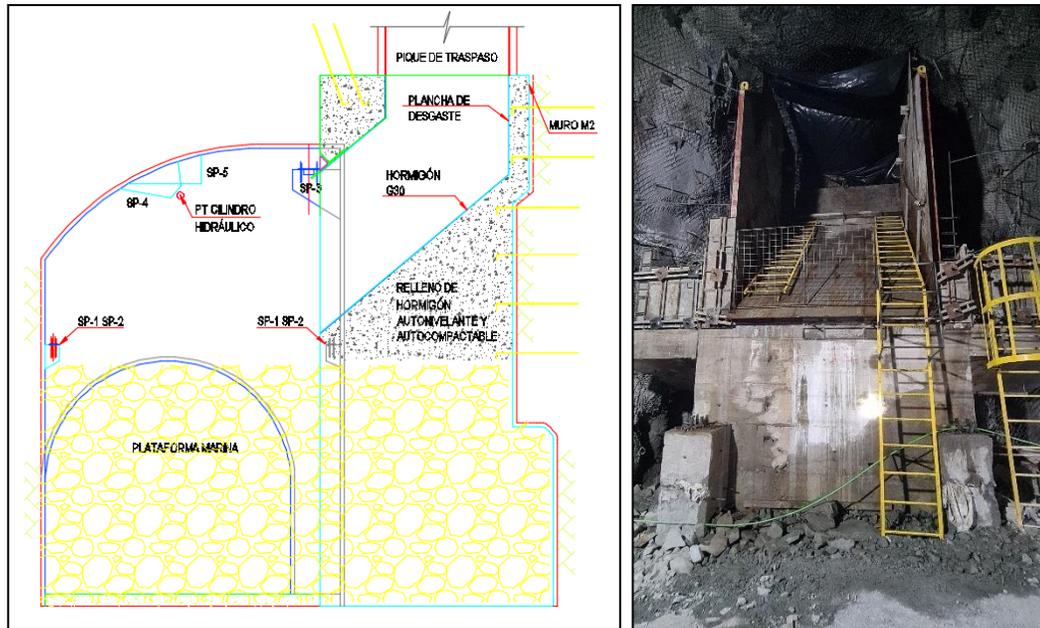


Figura 37: Obras civiles construcción de buzón primera etapa.

Construcción de buzón segunda etapa:

1. Rebaje de rampa de marina 1era etapa y mejoramiento plataforma con retro.
2. Moldaje, hormigonado y descimbre moldaje en relleno muro.
3. Rebaje de rampa de marina 2da etapa y mejoramiento plataforma con retro.
4. Moldaje, hormigonado y descimbre en relleno muro.
5. Trazado, perforación y lechado de pernos PL en muro M4.
6. Enfierradura y moldaje muro M4 2,4 m 1era etapa, más lechado de pernos. En paralelo se inicia construcción de dado escala.
7. Armado de plataforma de andamio.
8. Enfierradura y moldaje muro M4 2da etapa más sp6, más lechado de pernos.
9. Armado de plataforma 2do nivel de trabajo.
10. Enfierradura sp6 y resto del muro M4, más lechado de pernos.
11. Moldaje, hormigonado y descimbre 3er etapa, hasta sp6 y remate muro, más remate empalme muro.
12. Retiro de plataforma de andamio completa.
13. Descimbre de moldaje muro y se entrega postura para montaje de buzón.
14. Construcción dado escala:
15. Perforación y lechado de pernos PL en dado escala.
16. Instalación de enfierradura, moldaje, hormigonado y descimbre dado escala.
17. Orden y aseo.

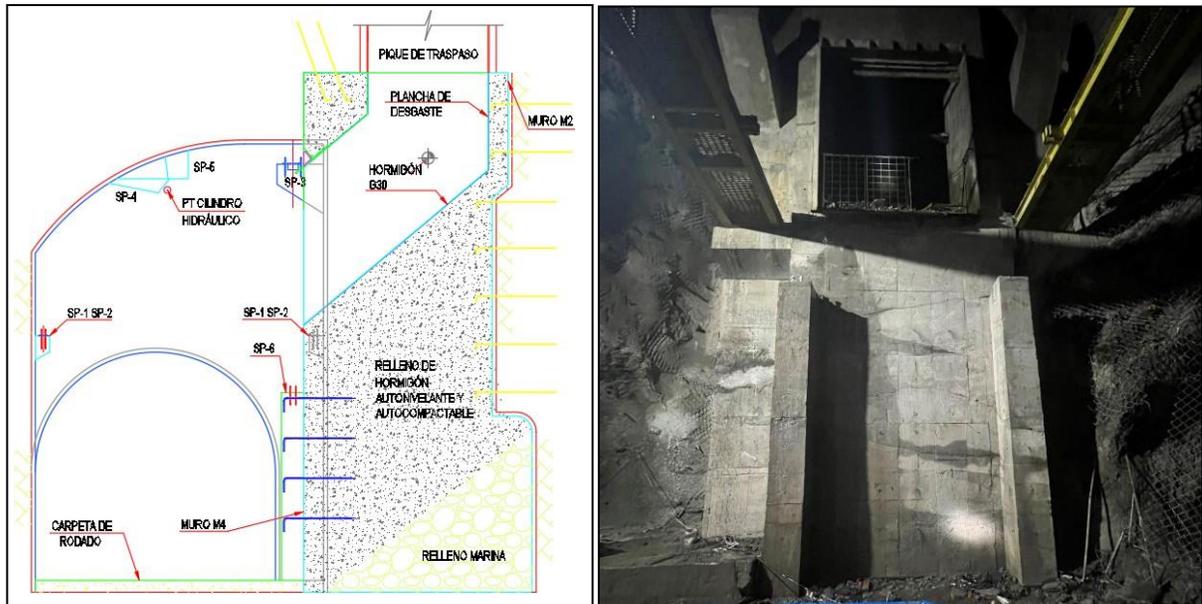


Figura 38: Obras civiles construcción de buzón segunda etapa.

6.2.10. Montaje de Buzón NA

Comprende el montaje secuencial de cada uno de los componentes estructurales del buzón. Se incluye en este proceso el montaje de plataforma de mantenimiento y operación y la estructura del buzón. La secuencia operacional, la cual se realiza en serie, es descrita a continuación.

Instalación de plataformas (posterior a blindaje de tronco de pique):

1. Marcación topografía y nivelación consolas SP1 y SP2.
2. Instalación de maniobras.
3. Montaje de módulos de plataforma PT1, PT4 y PT2.
4. Fabricación de pasamanos y colocación de pasamanos exterior.

Montaje mecánico de buzón:

5. Montaje de escala de acceso y colocación de pasamanos interior.
6. Montaje columnas C1 y C2, además del travesaño TR1 y montaje de viga V1.
7. Montaje paneles laterales derechos consolas PS1(der) - PL1(der).
8. Montaje CM-1, tejido E1, E2 y montaje yugo G1.
9. Montaje de brazos BR1(izq) y BR1(der).
10. Montaje paneles laterales izquierdos PS1(izq) - PL1(izq).
11. Montaje de viga V2.
12. Montaje de viga V4, escaleras ES1 y ES2, PT3, barandas y soporte de cilindros.
13. Elevación y nivelación de panel de fondo PF1.
14. Elevación y nivelación de posición de tolva TL1.
15. Tercera maniobra ajuste de montaje tolva TL1.

16. Subir y nivelar posición supe tolva ST1.

17. Remate de soldaduras, torque pernos, limpieza, pintura anticorrosiva y esmalte.

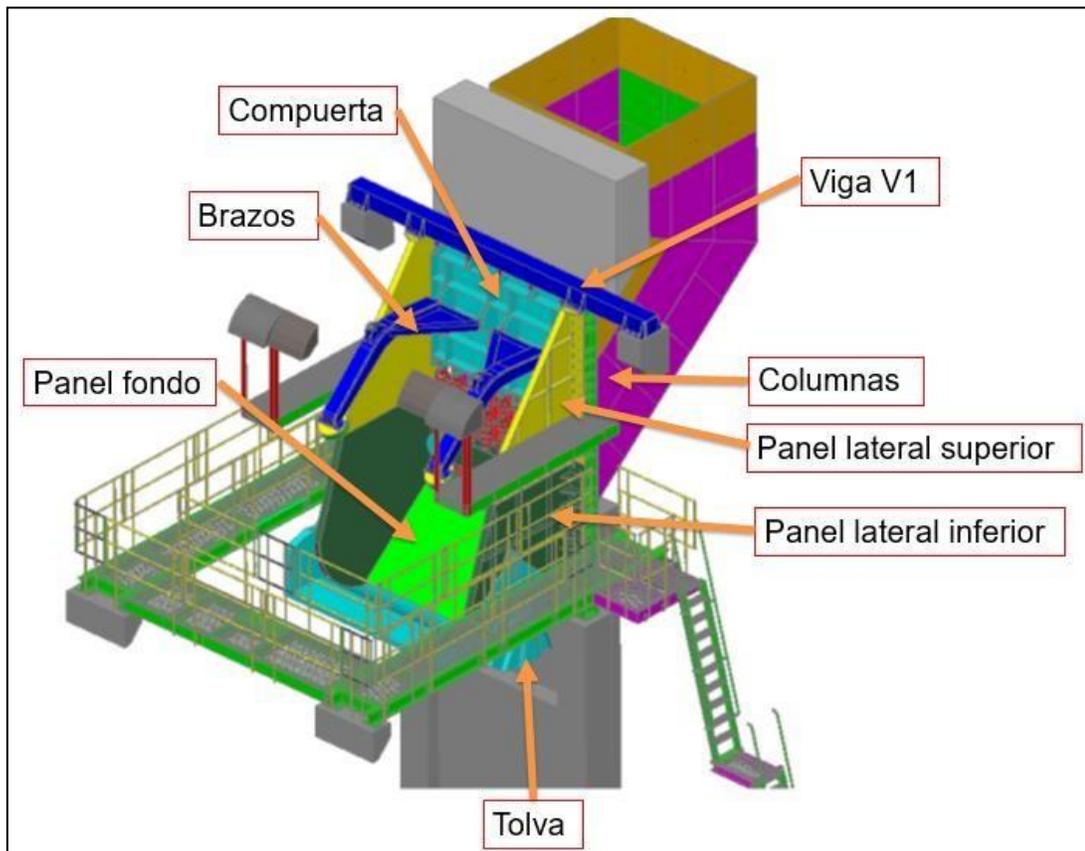


Figura 39: Componentes del montaje de buzón. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, CODELCO.

6.2.11. Habilitación de Buzón NA

Habilitación Hidráulica:

Comprende las redes troncales de la sala eléctrica hacia los sectores de carguío, cilindros hidráulicos, circuitos de mangueras, válvulas de paso, entre otros. La secuencia operacional es descrita a continuación.

1. Fabricación de piping y soportes.
2. Montaje de Unidad Hidráulica (instalación de 4 cilindros sin el conexionado).
3. Montaje de gabinete hidráulico y de piping (instalación de red troncal cañería de acero hidráulica + red troncal eléctrica).
4. Instalación pupitres hidráulicos y montaje tablero control y sensores.
5. Instalación de circuitos definitivos de mangueras, válvulas y fitting.
6. Conexión tablero de fuerza y control a consola.
Conexión tablero de fuerza y control a la consola.
7. Pruebas hidráulicas y actividad de flushing.

Habilitación Eléctrica:

Considera el conexionado de los cables de control, fuerza y fibra óptica, para el manejo remoto del buzón desde una sala de control. La secuencia operacional se describe a continuación.

1. Construcción de vías para cable de fuerza y control.
2. Instalación gabinete telecomando, tablero y equipos de alumbrado buzón.
3. Instalación de sistema de seguridad (Safety Switch).
4. Tendido vías para cables de fuerza y alumbrado.
5. Tendido y conexionado fibra óptica, cable de control, audio y video.
6. Instalación cámaras de video, accesorios e instrumentación en punto de carguío (sensores de posicionamiento, balizas, bocinas, etc.).
7. Montaje y conexionado de componentes en sala de equipos.
8. Programación unidades remota, servidores de datos y consolas de operación y mantenimiento.
9. Puesta en servicio y marcha blanca Buzón (aislación, configuración, operación, señales, movimiento en vacío, pruebas con carga).



Figura 40: Habilitación hidráulica y eléctrica de buzón.

Las actividades descritas anteriormente, se llevan a cabo por la GOBM para construir sistemas de traspaso en mina norte con los mejores tiempos de construcción, el plazo histórico de las actividades se encuentra en la Tabla 5.

Tabla 5: Tiempos históricos de actividades de construcción de buzón. Fuente: Gerencia Obras Mina, DET, CODELCO.

Actividad	Plazo (días)	HHEE/turno
Excavación (minería)	45	3.5
Construcción	90	7.1
Montaje	20	7.1
Habilitación hidráulica	23	5.1
Habilitación eléctrica	35	3.6
PEM	31	5.0

6.3. Metodología Full Potential aplicada en la construcción de Sistemas de Traspaso

Las actividades constructivas mostradas en la sección anterior requieren ser desarrolladas de manera segura, eficiente y en el menor tiempo posible para habilitar área productiva y dar continuidad a la extracción de mineral. Es por esto, que a través de la aplicación de la metodología Full Potential a las actividades constructivas de buzones de SdT se busca mejorar el desempeño del proceso y conseguir mejores tiempos de construcción.

6.3.1. Tiempos de construcción de un sistema de traspaso

Luego de identificar las actividades necesarias para construir un buzón, es fundamental establecer los tiempos que requiere cada una de estas actividades, para esto, se define junto al personal encargado de construir los Sistemas de Traspaso el detalle de los tiempos que toma realizar cada una de las tareas.

Minería

A continuación, en la Tabla 6, se detallan los tiempos de las tareas asociadas a la excavación de buzones.

Tabla 6: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de excavación de buzones. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.

Tarea	Tiempo por tarea (h)	Detalle Tarea
Marcación	4.0	2 marcajes
Perforación	29.0	66 tiros
Cargar y quemar (levante y visera)	6.0	2 (levante y visera)
Rampa	13.6	400 m3 marina
Saneamiento	10.0	2 (levante y visera)
Acuñadura	6.0	total
Pre-shotcrete	10.0	5 paradas
Perno helicoidal: perf.	23.3	186 pernos
Perno helicoidal: lechado	23.3	186 pernos
Instalación de malla	45.1	361 m2
Acondicionamiento	45.1	361 m2
Chequeo topográfico perfil	8.0	4
Perfilados (Cuadratura)	50.0	4
Perno cable: diseño	10.5	28 pernos
Perno cable: presentación	6.0	28 pernos
Perno cable: lechado	10.5	28 pernos
Perno cable: tensado	6.0	28 pernos
Perno cable: destrenzado	6.0	28 pernos
Tiempo total (h)	312.39	-

Dentro de la actividad minera de excavación de buzones existe la posibilidad de que se alarguen los tiempos de ejecución debido a un riesgo no controlable como lo es la calidad de la roca, esto puede generar una sobreexcavación dentro de la caverna afectando directamente los tiempos de cada labor debido a un aumento del área de trabajo. Al aumentar el tamaño de la caverna se tendrá que aumentar la fortificación, colocar una mayor cantidad de pernos, malla y shotcrete, lo que aumentará directamente los tiempos de ejecución.

Obras Civiles

A continuación, en la Tabla 7, se detallan los tiempos de las tareas asociadas a la construcción de buzones correspondiente a la primera fase de la primera etapa.

Tabla 7: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de construcción de buzones primera etapa primera fase. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.

Tarea	Tiempo por tarea (h)
Entrega de Minería	-
Replanteo Topografía	6.8
Trazado y marcación de PL en SP1, SP2, y tronco de pique	14.2
Perforación de PL en SP1, SP2, y tronco de pique	14.2
Lechado de PL en SP1, SP2 y tronco de pique	21.3
Escarpe y mejoramiento rampa	12.8
Moldaje en relleno tronco pique	14.2
Hormigón de relleno	13.6
Instalación de enfierradura en SP1 y SP2 Hw y Fw	21.3
Moldaje y anclaje de SP1 y SP2 Hw y Fw	28.4
Hormigón hasta altura SP1/SP2 en t. pique y SP1/SP2 Norte	13.6
Descimbre moldaje SP1 y SP2	14.2
Enfierradura losa tronco de pique	21.3
Enfierradura panel lateral izquierdo y derecho	28.4
Moldaje muro 1.2 m tronco de pique	14.2
Hormigón tronco de pique 1.2 m	13.6
Descimbre de moldaje	7.1
Rebaje de rampa 1.2 a 1.5 m	12.8
Moldaje para hormigón de relleno bajo cota	14.2
hormigón de relleno 45 m3 aprox. bajo cota	13.6
Descimbre moldaje bajo cota	7.1
Tiempo total (h)	306.9

La primera etapa de construcción de buzones se realiza con la ayuda de una rampa de marina utilizada en la actividad anterior de fortificación, el uso de la rampa permite trabajar en la parte superior evitando el uso de andamios y eliminando la exposición a caída de altura de los trabajadores. Al mismo tiempo, permite al equipo jumbo perforar el tronco pique, actividad que antes, debido a las condiciones, se realizaba de manera manual.

Como se dispone de una rampa de marina para trabajos en la parte superior del buzón, se realizan las tareas del blindaje del tronco pique, después y algunas en paralelo, con la primera fase de la primera etapa de construcción del buzón. Luego, una vez terminado el blindaje del tronco pique, se realiza el montaje de la plataforma del buzón y se continua con la segunda fase de la primera etapa de construcción de buzón.

Tabla 8: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de blindaje tronco pique. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.

Tarea	Tiempo por tarea (h)
Armado de paneles 68M2	127.8
Blindaje 1era etapa adicional mk1 y mk2	63.9 (P)
Blindaje 2da etapa	56.8
Construcción de plataforma de coigüe	28.4
Blindaje visera más refuerzo	28.4
Remate de soldadura en paneles	49.7
Tiempo total (h)	355.0

Cabe señalar que, en el blindaje del tronco pique del buzón, el blindaje de la primera etapa de mk1 y mk2 se lleva a cabo de manera paralela (P) al armado de paneles 68M2. El rendimiento del blindaje tronco pique, en comparación al rendimiento histórico, ha mejorado debido a que las planchas ya vienen armadas para ser instaladas directamente.

A continuación, en la Tabla 9, se detallan los tiempos de las tareas asociadas al montaje de la plataforma del buzón.

Tabla 9: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de montaje de plataforma de buzón. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.

Tarea	Tiempo por tarea (h)
Instalación de maniobras	6.6
Montaje de módulos de plataforma PT1	10.0
Montaje de módulos de plataforma PT4	6.6
Montaje de módulos de plataforma PT2	10.0
Fabricación de pasamanos	24.0 (P)
Colocación de pasamanos exterior	10.0
Tiempo total (h)	43.2

En el montaje de la plataforma del buzón, la fabricación de pasamanos se lleva a cabo de manera paralela (P) al montaje de los módulos.

A continuación, en la Tabla 10, se detallan los tiempos de las tareas asociadas a la construcción de buzones correspondiente a la segunda fase de la primera etapa.

Tabla 10: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de construcción de buzones primera etapa segunda fase. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.

Tarea	Tiempo por tarea (h)
Instalación de plataforma de coigüe	14.2
Armado de plataforma unispan. cuerda de vida	14.2
Enfierradura tronco de pique 2da etapa	21.3
Moldaje muro tronco de pique 2da etapa (abajo SP3)	21.3
Hormigón hasta abajo consola SP3	13.6
Armado de plataforma unispan tronco pique	7.1
Perforación de PL en SP3 y visera	14.2
Enfierradura SP3 y visera	28.4
Lechado de pernos en PL, SP3 y visera	7.1
Moldaje consola SP3 más instalación de pernos de anclaje	21.3

Hormigón de SP3 y tronco de pique	13.6
Instalación de moldaje muro más visera	28.4
Hormigón hasta visera	21.3
Perforación de PL en SP4 y SP5 Hw y Fw	21.3 (P)
Lechado de pernos PL en SP4 y SP5 Hw y Fw	14.2 (P)
Enfierradura SP4 y SP5	28.4 (P)
Instalación de inserto cilindro y pasillos en SP4 y SP5 Hw y Fw	28.4 (P)
Colocación de moldajes en SP4 y SP5 en Hw y Fw	35.5 (P)
Hormigón en SP4 y SP5 en Hw y Fw	13.6
Descimbre en consola SP3, SP4 y SP5 más tronco de pique	14.2
Retiro de piezas de andamios y moldajes	14.2
Retiro de plataforma de coigüe en t. pique y plataforma buzón	14.2
Tiempo total (h)	410.0

Cabe destacar que, en la segunda fase de la primera etapa de construcción de buzones, la construcción de las consolas SP4 y SP5 se realizan de manera paralela (P) a la construcción de la consola SP3 y visera.

A continuación, en la Tabla 11, se detallan los tiempos de las tareas asociadas a la construcción de buzones correspondiente a la segunda etapa.

*Tabla 11: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de construcción de buzones segunda etapa.
Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.*

Tarea	Tiempo por tarea (h)
Rebaje de rampa de marina 1era etapa	12.8
Mejoramiento plataforma con retro	7.1
Moldaje en relleno muro	14.2
Hormigón de relleno	13.6
Descimbre moldaje	7.1
Rebaje de rampa de marina 2da etapa	14.2
Mejoramiento plataforma con retro	6.4
Moldaje en relleno muro	14.2
Hormigón de relleno	13.6
Descimbre de moldaje	7.1
Trazado y perforación de PL en muro M4	14.2
Enfierradura muro 1era etapa	21.3
Lechado de pernos PL	7.1
Moldaje muro 2.4 m 1era etapa	21.3
Armado de plataforma de andamio	7.1
Enfierradura 2da etapa más SP6	14.2
Lechado de pernos PL	7.1
Moldaje muro M4 2da etapa	14.2
Armado de plataforma 2do nivel de trabajo	7.1
Enfierradura SP6 y muro M4	14.2 +
Lechado de pernos	7.1
Moldaje 3er etapa. SP6 y remate muro	21.3
Hormigón en muro hasta SP6	6.8
Hormigón remate empalme muro	6.8
Descimbre moldaje muro	7.1
Retiro de plataforma de andamio completa	7.1

Descimbre de moldaje muro	7.1
Perforación de PL en dado escala	7.1 (P)
Instalación de enfierradura dado escala	14.2 (P)
Lechado de PL en dado escala	7.1 (P)
Moldaje en dado escala	14.2 (P)
Hormigón en dado escala	6.8 (P)
Descimbre en dado escala	6.8 (P)
Orden y aseo	6.8 (P)
Tiempo total (h)	364.4

En la segunda etapa de construcción de buzones, la construcción del dado escala se realiza de manera paralela (P) desde que se realiza la enfierradura SP6 y muro M4.

Los tiempos de hormigonado, en comparación con los rendimientos históricos, han mejorado gracias al incremento en la disponibilidad de hormigón por parte del proveedor.

Montaje

Una vez terminada la segunda etapa de construcción de buzones, se procede a montar los componentes del buzón. A continuación, en la Tabla 12, se detallan los tiempos de las tareas asociadas al montaje de los componentes del buzón.

Tabla 12: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de montaje de buzón. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.

Tarea	Tiempo por tarea (h)
Montaje de escala de acceso	10.0
Colocación de pasamanos interior	10.0
Montaje de columnas	10.0
Montaje de Viga V1	5.0
Montaje de travesaño	3.0
Montaje de paneles superiores	5.0
Montaje de paneles inferiores	5.0
Montaje de compuerta	5.0
Montaje de brazo VR1	4.0
Instalación de compuerta de cadena y viga yugo	11.0
Montaje de panel de fondo	5.0
Montaje de tolva	5.0
Instalación del labio de la tolva	5.0
Torque de tuerca	27.0 (P)
Tiempo total (h)	110.0

Cabe resaltar que, en el montaje de los componentes del buzón, la tarea del torque de tuerca se realiza de manera paralela (P) una vez que se instala la compuerta de cadena y viga yugo.

Habilitación Hidráulica

Una vez terminada la etapa de construcción y montaje de buzón, se continua con la habitación hidráulica del buzón. En la Tabla 13 se puede observar el detalle de los tiempos de las tareas asociadas a la habitación hidráulica del buzón.

Tabla 13: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de habilitación hidráulica de buzón. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.

Tarea	Tiempo por tarea (h)
Fabricación de piping y soportes.	22.0
Montaje de Unidad Hidráulica.	3.0 (P)
Montaje de gabinete hidráulico.	6.0 (P)
Montaje de piping.	34.0 (P)
Montaje de pupitre.	6.0 (P)
Montaje tablero Control, sensores y conexionado	30.0 (P)
Flashing y movimiento Tolva	20.0
Pruebas electrohidráulicas	5.0
Pruebas con carga	5.0
Regulación de presiones	5.0
Tiempo total (h)	136.0

En el Figura 52, en la sección de anexos, se muestra la carta Gantt correspondiente al programa de construcción de buzones proporcionada por la empresa Gardilicic, donde se puede apreciar la primera y segunda etapa de construcción junto a la habilitación hidráulica del buzón. En esta última actividad, la gran parte de las tareas se llevan a cabo de manera simultánea.

Habilitación Eléctrica

Posterior a la habilitación hidráulica se realiza la habilitación eléctrica del buzón. A continuación, en la Tabla 14, se detallan los tiempos de las tareas asociadas a la habilitación eléctrica.

Tabla 14: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de habilitación eléctrica de buzón. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.

Actividad	Tarea	Tiempo por tarea (h)
Confección de vías	Sum. y mont. vías para Cables de fuerza y alumbrado	3.6
	Sum. y mont. vías para cable control	7.2
Obras Habilitación Buzones	Sum. y mont. e instalación Gabinete de Fuerza y Control Buzón	7.2
	Sum. y mont. e instalación Tablero de Alumbrado Buzón	7.2
	Sum. y mont. y conexionado de Equipos de Alumbrado en punto de carguío	7.2
	Sum. y mont. cables de control audio y video	7.2
	Sum. y mont. canalización por c.a.g.	10.8
	Sum. y mont. y conexionado Cámaras de Video IP y accesorios	3.6 (P)
	Sum. y mont. y conexionado de instrumentación en punto de carguío	7.2 (P)
	S&M de componentes en sala de equipos	2 (P)
	Mont. e instalación Desconector de Seguridad	3.6 (P)
	Tendido c. fuerza y FO	Sum. tendido y conexionado de Cable (Clase 0.6 kV)
	Sum. tendido. conexionado y cert. Fibra óptica 6 filamentos MM	7.2 (P)
	Programación unidades Remotas (PLC)	3.6

Puesta en Servicio	Programación Servidores de Datos	3.6 (P)
	Programación Consolas de Operación y Mantenimiento	3.6 (P)
	Puesta en servicio Buzón	7.2
	Marcha blanca Buzón	10.8
Tiempo total (h)		110.0

Puesta en Marcha

Una vez terminada la construcción completa del buzón, se deben realizar las pruebas funcionales, locales y remotas del buzón, ya sea en vacío y con carga de material. A continuación, en la Tabla 15, se detallan los tiempos de las tareas asociadas a la puesta en marcha de buzón, los cuales se han estandarizado para su correcta implementación.

*Tabla 15: Detalle tiempo de tareas asociadas a la actividad de puesta en marcha (PEM) de buzón.
Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.*

Actividad	Tarea	Tiempo por tarea (h)
PEM Buzón	Pruebas Funcionales	1.0
	Pruebas locales en vacío	1.0
	Pruebas locales con carga	2.0
	Gestión de fugas	40.0
PEM Telecomando Buzón	Pruebas funcionales	1.0
	Pruebas remotas en vacío	1.0
	Pruebas remotas con carga	2.0
	Marcha blanca	50.0
Tiempo total (h)		98.0

En base a los tiempos de excavación, obras civiles, montaje, habilitación hidráulica, habilitación eléctrica y puesta en marcha de buzón, se calcula el plan interno considerando las horas efectivas (HH.EE.) respectivas de cada actividad.

Tabla 16: Plazos de las actividades de construcción de buzones según plan interno.

Actividad	Tiempo actividad (h)	HHEE/turno	turnos/día	Plazo (días)
Excavación (minería)	312	4.6	2	34
Construcción (OO.CC.)	1001	7.1	2	70
Montaje	140	7.1	1	20
Habilitación hidráulica	106	5.1	1	21
Habilitación eléctrica	79	3.6	1	22
PEM	98	5.0	2	10

6.3.2. Cálculo y Programación Full Potential

Con los tiempos de cada actividad, es posible calcular y programar Full Potential para identificar habilitadores y palancas que ayuden a mejorar el rendimiento. Una vez que se identifican las brechas para mejorar el rendimiento, se propone apuntar al Full Potential y trabajar con un proceso de mejora continua para reducir el riesgo de alcanzar el objetivo. Para esto, las palancas del proceso deben ser identificadas a través del Taller de Palancas.

Se definen 5 palancas principales que buscan mejorar el rendimiento:

1. Optimización de Programación y Control hora a hora
2. Aumento de HHEE en la postura
3. Aumento de recursos del contrato
4. Disminución de retrabajos
5. Cambios de diseño y secuencia en la construcción del buzón.

Se trabaja en un set de iniciativas que sirven para abordar cada palanca, las iniciativas se describen a continuación.

- Palanca: Optimización de Programación y Control hora a hora.
 - Programar actividades con tiempos de actividad en línea con Meta Interna.
 - Asegurar previo a POD la programación de la frente y habilitadores de actividades del siguiente turno.
- Palanca: Disminución de retrabajos.
 - En excavación apuntar a tener sólo cuadraturas simples (acuñador, no con desquiches).
 - Proveer de ITO especialista para actividades de perforación y carguío, y no depender sólo de expertise del contratista.
 - Usar detonadores electrónicos de Orica.
 - Reducir cuadraturas a mejor desempeño histórico (implementar estándar QA/QC).
 - Evaluación topográfica en cada parada para evitar re-fortificación.
 - Interacción directa con el equipo de topografía cada vez que se avance en la fortificación, de modo tal, que de existir una eventual sub-excavación, se perfore y cargue inmediatamente y así no se pierda fortificación.
- Palanca: Aumento de HHEE en la postura.
 - Aumento de HHEE/día (aumento de h/turno) y cambio de cuadrillas actuales.
 - Implementar estándares EAT, Inicio de turno, Colación.
 - Hacer seguimiento durante el turno del uso de la postura, interferencias y gestiones previas de siguiente actividad (e.g. desplazamiento de equipos/cuadrillas).
 - Dejar ITO como punto fijo en la frente con habilitadores de desempeño (comunicación radial, transporte/escolta y plan del turno).
- Palanca: Aumento de recursos del contrato.
 - Inclusión de cuadrillas y personal de equipo crítico para aumentar HHEE/día.

- Gestionar ingreso de cuadrillas para maximizar horas en postura y gestionar manilla a manilla con turno adicional.
- Palanca: Cambios de diseño y secuencia en la construcción del buzón.
 - Nueva metodología de excavación del buzón.
 - El levante de buzón se quema solo en una etapa.
 - Se quema visera de acceso para mejorar condiciones de seguridad en la fortificación.
 - Nueva metodología de construcción del buzón.
 - Se utiliza la marina como rampa para realizar las labores superiores de obras civiles, blindaje y montaje de buzón.
 - Se realizan labores en paralelo en primera y segunda etapa de construcción y entre primera etapa de construcción y blindaje tronco pique.

Una vez identificada las palancas a tratar, se definen los principales habilitadores de cada actividad:

- Excavación (minería):
 - Garantizar adherencia al diagrama de levante y estudiar oportunidades de mejora basadas en experiencia de cada buzón.
- Construcción (OO.CC.):
 - Fabricación de enfierraduras en taller, sólo armado en buzón.
 - Realizar perforaciones de PL3 con jumbo, inmediatamente después de PL SP1 y SP2.
- Montaje:
 - Hacer inspección previa (a través de ITO) de componentes en bodega para asegurar calidad.
- Habilitación hidráulica:
 - Adelantar construcción de soportes para pipping.
 - Montaje de cilindro debe realizarse en montaje de buzones.
 - Montaje pupitre, acumuladores de emergencia y tablero de control requieren cuadrilla adicional para poder hacerse en paralelo.
- Habilitación eléctrica:
 - Vía debe estar despejada para que equipo de levante pueda transitar.
- PEM:
 - Se requiere coordinación previa con camiones GMIN.
 - Se requiere pique lleno (marina limpia).
 - Durante marcha blanca se requiere disponibilidad 24/7.
- Habilitadores transversales:

- Asegurar disponibilidad de equipos, cuadrillas y suministros (posicionados y equipos energizados previamente).
- Garantizar competencias de personal para evitar retrabajos y asegurar alineamiento de conductas y comportamientos.
- Protocolos de chequeo deben ser exhaustivos y validados por ITO, especialmente en PEM.
- Contar con la disponibilidad de hormigones por parte de Xtreme.

Para cumplir con las mejoras presentadas por Full Potential, se deben mitigar los riesgos que amenazan su ejecución. Entre los riesgos identificados por Full Potential, se encuentran los siguientes:

- Retrasos por COVID.
- Interferencias por aislaciones por polvorazo, PA y eventos sísmicos asociados a polígonos de control.
- Disponibilidad de piques de producción para los niveles superiores.
- Interferencias o restricciones en la ruta de marina a superficie por parte de la mina.

El cálculo y la programación de Full Potential sobre las actividades de construcción de buzón se realiza bajo los supuestos de mejoras en HH.EE./turno y cambios contractuales como la incorporación de un segundo turno (5x2AB) en montaje y cambio de turno en habilitación eléctrica (de 5x2A a 7x7A). Se resume el cálculo en la Tabla 17, presentada a continuación.

Tabla 17: Cálculo Plan Full Potential actividades construcción buzón.

Actividad	Plan Interno			Full Potential		
	Plazo (días)	HHEE/turno	turnos/día	Plazo (días)	HHEE/turno	turnos/día
Excavación (minería)	34	4.6	2	21	7.5	2
Construcción	70	7.1	2	64	7.8	2
Montaje	20	7.1	1	9	7.8	2
Habilitación hidráulica	21	5.1	1	19	5.6	1
Habilitación eléctrica	22	3.6	1	11	7.2	1
PEM	10	5.0	2	7	7.2	2

6.4. Resultados y análisis aplicación metodología Full Potential

Las labores de construcción de los sistemas de traspaso en mina RR.NN. se llevan a cabo en Zona de Transición debido a que el frente de hundimiento, que viene desde el sur, cruza las galerías (loops) en las que se están construyendo los sistemas de traspaso.

Específicamente en el loop 0 se está construyendo la línea de buzones del OP16 al OP25 en Zona de Transición, por ese motivo, se han construido 5 sistemas de traspaso en simultaneo y bajo la implementación de la metodología Full Potential para reducir los tiempos de trabajo bajo la ZT, estos buzones son desde el OP17 al OP21 (ver Figura 41).

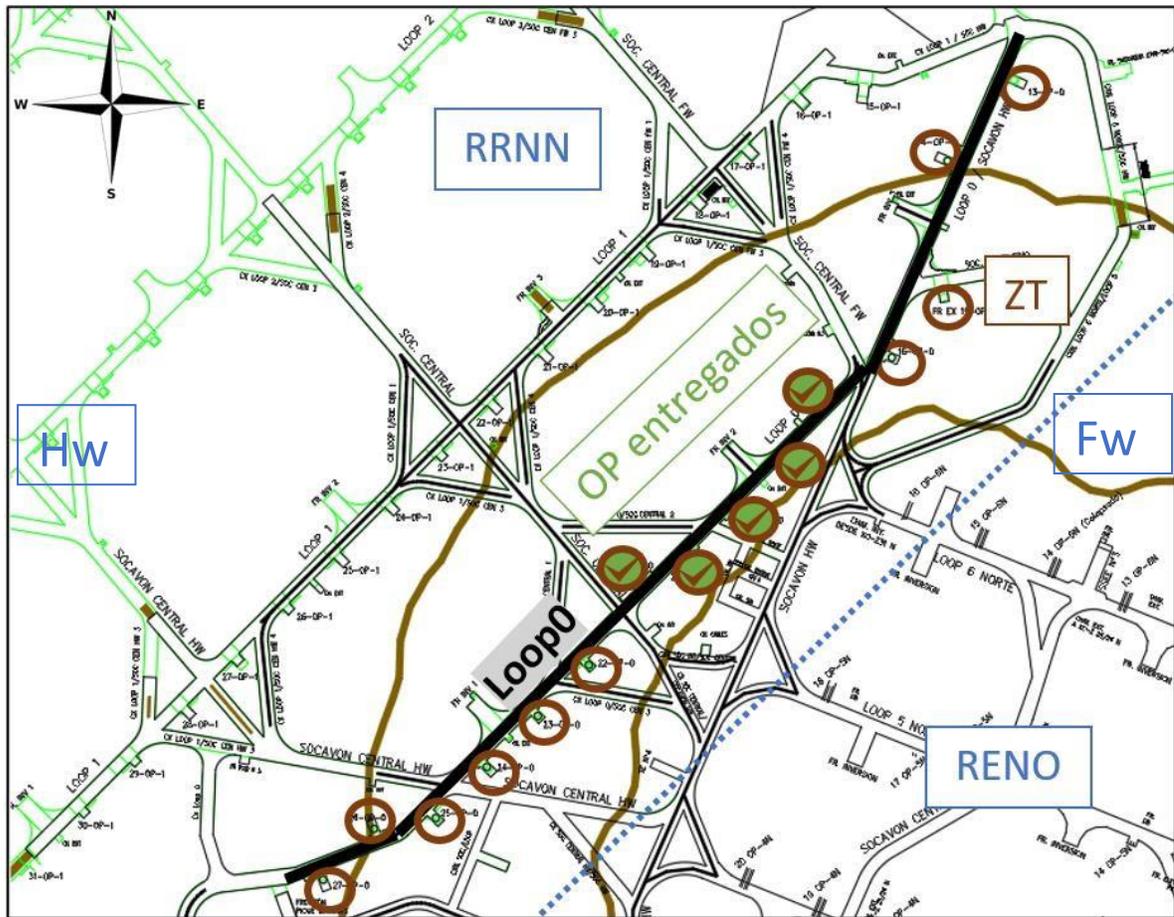
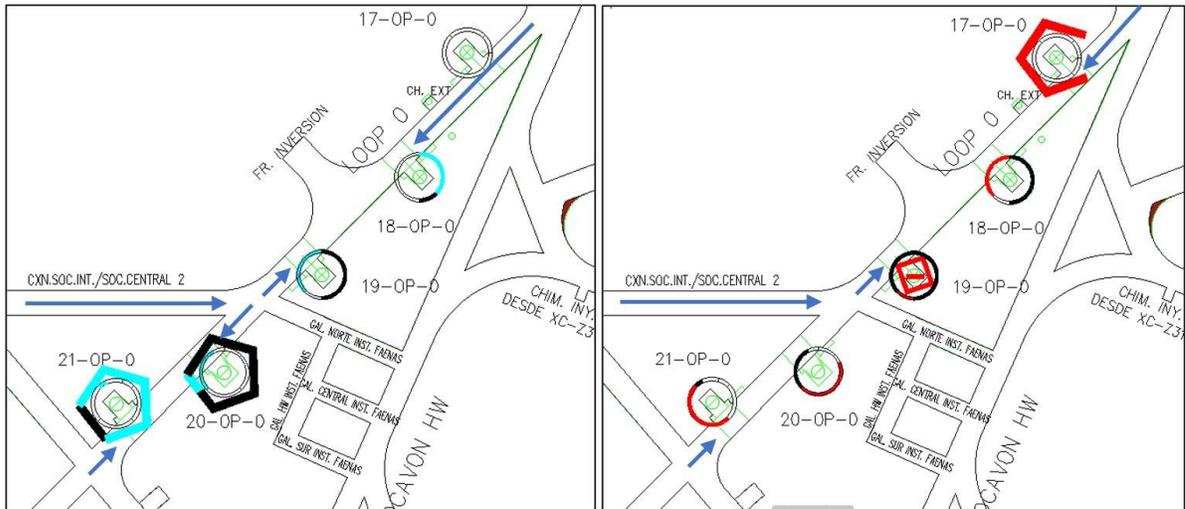


Figura 41: Buzones entregados Loop 0 Sector Recursos Norte, desde el OP13 a OP27.

La metodología Full Potential ha sido aplicada primero a la excavación de los buzones OP17 y OP21 obteniendo tiempos récord de excavación, se alcanza Plan Interno (intermedio entre tiempo histórico y Full Potential) con un tiempo de 34 días. El esfuerzo conjunto GOBM-Gardilcic ha permitido ejecutar las excavaciones acordes al plan aun teniendo el desafío de hacer la excavación de 2 buzones en paralelo. Luego, al igual que en las excavaciones, se apunta al Full Potential en el resto de las actividades para identificar brechas en el rendimiento y mejorar el proceso.

La aplicación de la metodología FP se atiene a la secuencia de construcción de los buzones, secuencia que está definida en base al acceso a cada postura de trabajo. Sobre esto, se define el programa que da el acceso a cada buzón en base a la ubicación y a las labores que se pueden realizar en cada uno, en la Figura 42 se puede observar la secuencia de acceso a los buzones, partiendo con el buzón OP19, luego el OP20 y el OP18, y finalmente, el OP21 y el OP17.

Figura 42: Secuencia de acceso para construcción de buzones desde el OP17 al OP21.



Para realizar las labores de construcción de los buzones descritos anteriormente, se deben considerar las siguientes vulnerabilidades y consideraciones:

- Interacción con otras empresas (se requiere exclusividad en loop 0).
- Impacto polvorazos (interferencias).
- Marina nivel de producción (se requiere 100% disponibilidad piques producción).
- Alternativa de acceso a frentes a través de Socavón central Hw Norte.
- Autorización de incorporación de dotación y equipos.
- Logística de movilización de personal (buses DET).
- Conexión 1 y Conexión 3 de Socavón Central como acopio de materiales de los buzones.
- Ingreso por Socavón Central Loop 0.
- Inicio de OP17 sujeto a término segunda etapa OO.CC. OP18 (se deben detener las labores de OP18).
- Continuación OP18 sujeto a término etapa de montaje OP19.
- Evitar futuros cambios de ingeniería.
- Secuencia ruta e interacción (19-18-20-21-17)

A continuación, en la Figura 43, se presenta la carta Gantt que describe la construcción de los sistemas de traspaso desde el OP17 al OP21 del Loop 0 Norte.

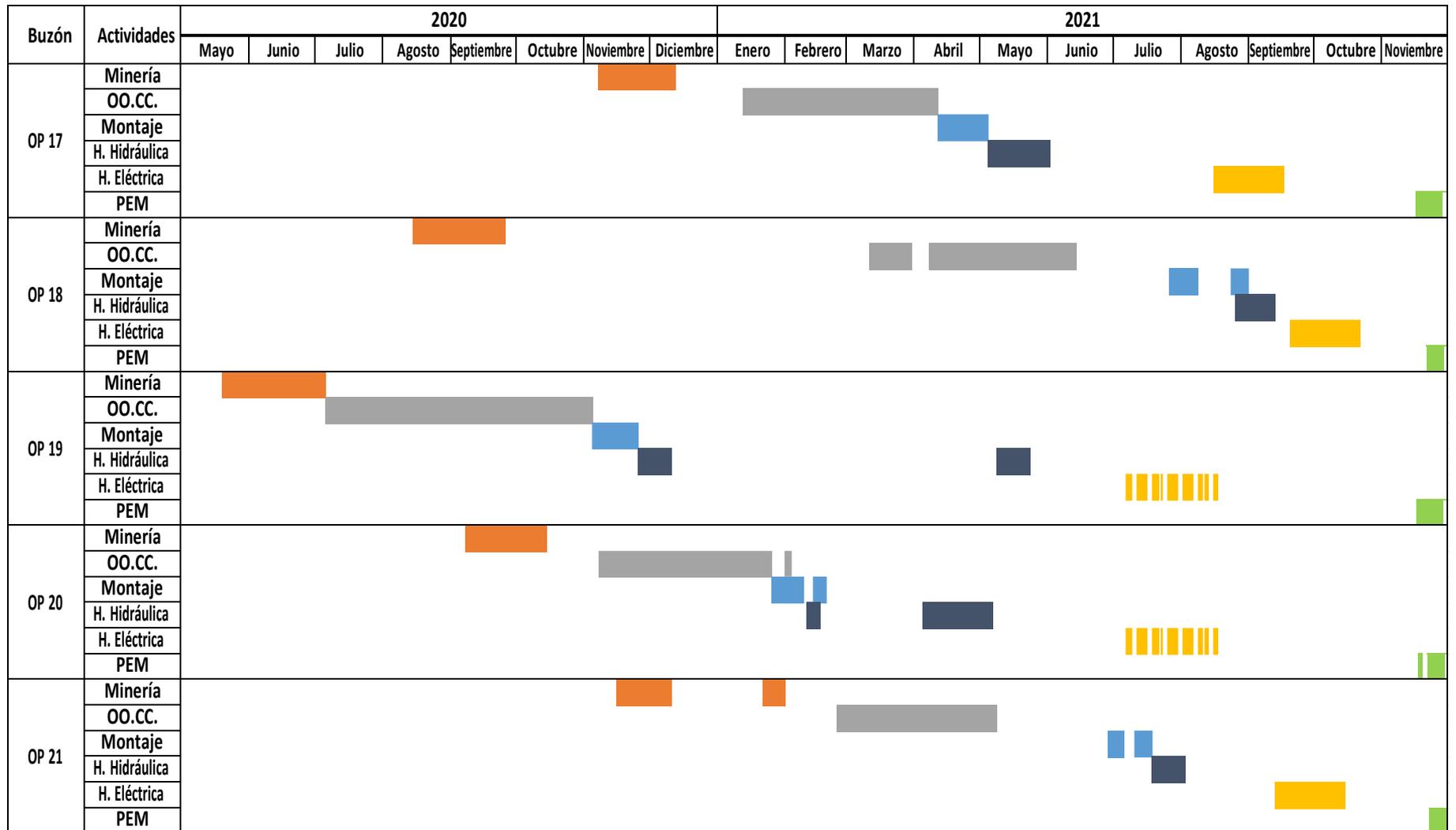


Figura 43: Carta Gantt de actividades construcción de buzones desde el OP17 al OP21.

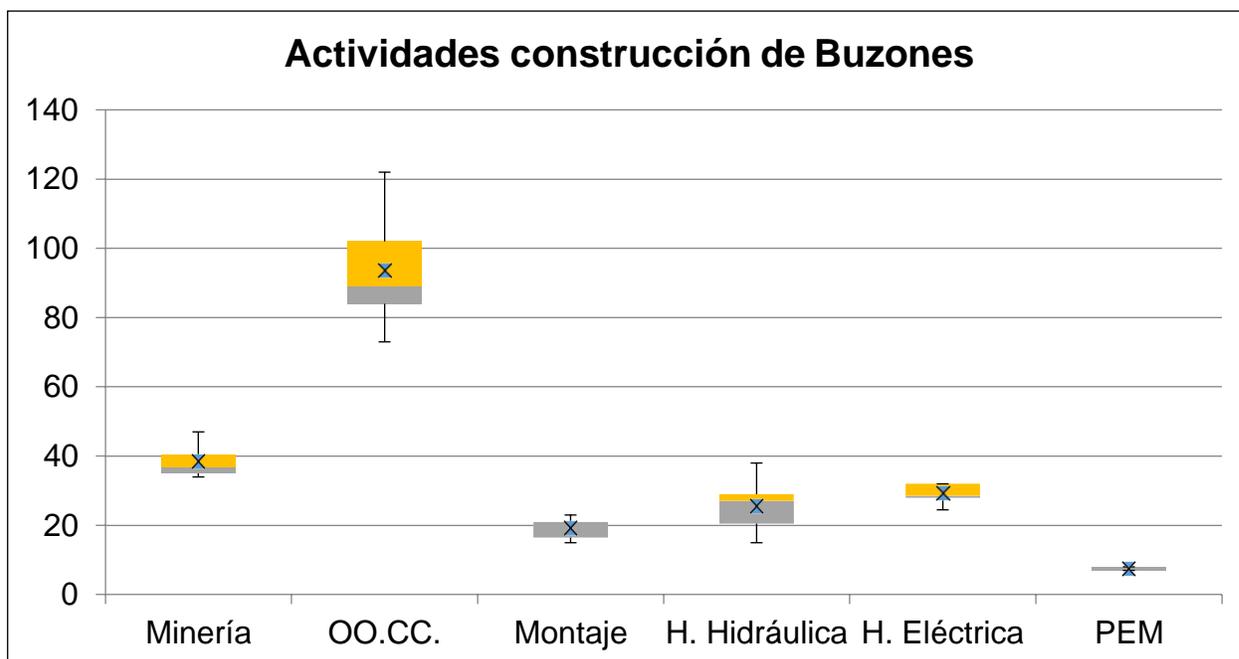
Los tiempos que conlleva realizar las actividades de construcción de los 5 buzones del loop 0 se presentan seguidamente en la Tabla 18.

Tabla 18: Tiempos reales de actividades de construcción de buzones desde el OP17 al OP21.

Buzón	Actividad					
	Minería	OO.CC.	Montaje	H. Hidráulica	H. Eléctrica	PEM
OP 17	35	89	23	28	32	8
OP 18	42	86	21	18	32	7
OP 19	47	122	21	30	28	7
OP 20	37	82	21	38	28	8
OP 21	34	73	15	15	32	8
Promedio	39	90	20	26	30	8
Mínimo	34	73	15	15	28	7

A continuación, en la Figura 44, se presenta un diagrama de los tiempos de las actividades de construcción de los buzones.

Figura 44: Diagrama actividades construcción de buzones.



Al realizar las labores de construcción de los buzones se deben habilitar al mismo tiempo los accesos a los otros buzones del loop 0, es por esto por lo que, para entender la secuencia de construcción, se debe tomar en cuenta la incorporación de los demás buzones del loop. Los tiempos que conlleva realizar las actividades de construcción de los buzones del OP 16 al OP 22 del loop 0 se puede encontrar en la sección 0 y la carta Gantt asociada a dichas actividades en la sección 0.

Cada actividad de construcción de buzones, definida en ingeniería y planificación, considera la inicialización de cada fase junto a la aprobación de la estrategia a seguir según los requerimientos de la mina, para esto, se define una estrategia inicial con la

característica de ser ajustada en etapas avanzadas para optimizar los tiempos y recursos en base a las condiciones presentadas durante el transcurso de la construcción.

Inicialmente, la planificación de construcción de los buzones del Loop 0 N considera entregar el sistema de buzones desde el OP 16 hasta el OP 21, sin embargo, el evento que ha generado daños en el sector del Loop 0 N hacia el sector patilla (Fw), ha provocado que el acceso al buzón OP 16 se vea limitado debido a las labores de saneamiento y recuperación del sector, es por esto, que el buzón OP 16 ha quedado fuera de la entrega de la ruta, dejando la habilitación hidráulica en pausa hasta solucionar las dificultades presentadas en el sector. No obstante, la construcción de los buzones del OP 17 al OP 21 continúa según lo planificado.

La planificación de asignación de recursos para la construcción de los buzones, antes del evento que detuvo las labores en el OP 16, ha sido abordada en bastante detalle por el equipo de la GOBM, logrando un completo acabado de la planificación operativa. Primero, se definen los accesos a cada buzón, ya que al encontrarse en serie dentro del mismo Loop se busca la manera de acceder a cada uno de ellos para desarrollar las actividades de construcción, cabe destacar, que la minería efectuada en el levante de cada buzón genera un bloqueo de marina que posteriormente se convierte en rampa de acceso a la parte superior del buzón, pero esta rampa solo permite el acceso desde un lado del Loop, y solo se hace retiro de aquella recién al término de la primera etapa de OO.CC. del buzón, esta condición es considerada un cuello de botella en el proceso, ya que limita y condiciona el desarrollo de las demás actividades. Considerando esta condición, la planificación de trabajo considera y aprovecha los desarrollos horizontales que se tienen disponibles para acceder a cada postura de trabajo, en este caso, se habilita el acceso al Loop 0 a través del Soc. Central, conexión 2 Soc. Central y Soc. Central Fw, permitiendo acceder a 4 posturas de trabajo al mismo tiempo (ver Figura 42). Luego, se ajusta la programación a los recursos que se tienen disponibles, principalmente a las cuadrillas de trabajo que realizan las actividades de minería, OO.CC., montaje, habilitación hidráulica y habilitación eléctrica, ya que, como se muestra en la sección de cálculo y programación de Full Potential, cuentan con un sistema de turnos y tiempos efectivos característicos de cada una, por lo que la planificación operativa debe ser controlada a través de la Planificación de Obras Diarias (POD), donde se determina turno a turno las tareas a desarrollar en cada buzón, con esto, la asignación de recursos queda sujeta a la disponibilidad de la postura de trabajo y de los recursos a utilizar. Ahora bien, si se tuviera la oportunidad de trabajar en todos los buzones al mismo tiempo y desarrollando la misma actividad, por ejemplo, con el levante de buzón, se tendría la restricción de no contar con las cuadrillas suficientes para cubrir todas las posturas, por lo que, al resolver un cuello de botella por un lado, se presentará un nuevo cuello de botella en otro aspecto, y al mismo tiempo, se tendrán recursos que no estarán siendo utilizados generando una ineficiencia en el proceso. Es por esto que, en la planificación operativa realizada por la GOBM, se busca la manera correcta de aprovechar los recursos cumpliendo al mismo tiempo con las metas productivas.

Gracias a la implementación de la metodología Full Potential y al seguimiento constante de la ejecución de las obras de construcción, se ha logrado identificar los tiempos de retraso en cada actividad, lo cual ha permitido mitigar estas problemáticas en la construcción de los próximos buzones, un claro ejemplo de esto, son los tiempos de construcción que presenta el OP 21, uno de los últimos buzones en construirse del Loop 0 bajo el seguimiento de la implementación de la metodología. Con esto, se logra

evidenciar dentro del proceso de construcción, lecciones que han sido adoptadas y aprendidas durante el transcurso de la preparación minera.

De acuerdo con lo programado en la planificación operativa, la GOBM ejecuta las tareas y actividades de construcción bajo la aspiración de los objetivos principales de la metodología Full Potential, además las modifica y las adapta a las contingencias propias de la preparación minera y a los requerimientos de la mina. La planificación es más bien iterativa que adaptativa, ya que los proyectos que se ejecutan en la preparación minera tienen cierto carácter predictivo.

La construcción de un buzón se extiende por 11 meses, ahora bien, si se considera que todas las actividades se pueden desarrollar una tras otra en cada buzón, la línea base de construcción tendría una extensión de 5.5 meses, por lo que, si se ajusta el programa considerando una mayor disponibilidad de recursos y contando con las condiciones para operar, existe una brecha de 5.5 meses que se podría disminuir o cerrar.

Por otro lado, dentro del transcurso de ejecución de las labores de construcción de los buzones del OP 16 al OP 21, se han presentado dificultades para llevar a cabo las actividades según lo planificado, dentro de las más importantes, señaladas más adelante en la sección lecciones aprendidas, se encuentra el desmontaje de componentes hidráulicos por desquiches que se debían identificar en la etapa de minería y el estallido de roca que deja fuera al OP 16, lo que obliga a cambiar de postura el frontón de instrumentación.

La GOBM realiza un control y supervisión continua de las tareas, obras, compras, contratos, coordinaciones, permisos y actividades tanto planificadas como ejecutadas, lo cual se realiza día a día y es levantado al equipo semanalmente para compararlo con la línea base del programa, de esta manera, le ha permitido implementar medidas rectificatorias cuando se han detectado desviaciones o han tenido que realizar ajustes radicales, por otro lado, cuando se han identificado oportunidades de mejoras para reducir los plazos o mitigar riesgos, el equipo de la GOBM ha buscado la mejor manera de aplicarlas, por ejemplo, realizando cambios completos de metodología como realizar las labores de OO.CC. con la ayuda de una rampa de marina en vez del uso de andamios.

La implementación de la metodología Full Potential implica realizar cambios contractuales, como el cambio de turno de 5x2A a 7x7A de los encargados de habilitar eléctricamente el buzón (empresa contratista Fleischmann), este cambio no se efectúa hasta fines de septiembre del año 2021, por lo que los resultados de una posible mejora en los plazos de la habilitación eléctrica no se evidencian en el transcurso de la ejecución de la construcción de los buzones, es más, se observa un aumento en los tiempos en comparación con el mejor plazo anterior, lo cual está relacionado a interferencias externas por el descuadre de inicio de turno entre las EE.CC.

Al cierre de la fase de construcción de los buzones, la GOBM al tener habilitado los SdT, le hace entrega a la GMIN el buzón OP 21 antes de la entrega oficial (marcha blanca) por requerimientos de la mina para repeler el material cargado en el buzón, con esto, el plazo de construcción total del buzón OP 21 es de 11 meses, siendo este el menor plazo de construcción de un buzón del sector Recursos Norte. Una vez iniciada la marcha blanca de los 5 buzones a fines de noviembre, se entrega la ruta del Loop 0 desde Soc. Central Fw hasta Soc. Central, siendo esta ruta de uso exclusivo de camiones, en ese sentido, la ruta se encuentra funcionando completamente.

6.4.1. Lecciones Aprendidas

El conocimiento adquirido a través de la experiencia en la construcción de buzones, aplicando la metodología Full Potential, debe ser reflejado de manera apropiada para ser utilizado en trabajos futuros. De esta manera, la información de los éxitos (o fracasos) ofrecen información de apoyo para tomar de decisiones en situaciones conflictivas que se pueden presentar en el futuro y de esta manera detectar oportunidades de mejora.

Las lecciones aprendidas disminuyen la incertidumbre y mejoran el tiempo de reacción ante situaciones similares a las que se tenga que enfrentar el equipo de trabajo. Para esto, se recopilan las lecciones aprendidas en la etapa de planificación y en cada proceso de construcción de buzones para mejorar los trabajos futuros y aplicar Full Potential bajo un proceso de mejora continua.

6.4.1.1. Lecciones Aprendidas Etapa de Planificación

En esta etapa es primordial definir la accesibilidad a cada buzón, ya que al tener rampas de marina se dificulta el acceso a las diferentes posturas, por lo que se deben considerar en los trabajos a realizar los desfases de cada etapa constructiva, por ejemplo, una vez iniciadas las labores de construcción de un buzón (OO.CC.) se debe esperar entre 10 a 15 días para realizar el primer rebaje de rampa de marina y así poder iniciar las mismas labores en el próximo buzón continuo en el loop. Como solución, se propone realizar el desquinche de la segunda visera del buzón, con esto se puede modificar la rampa para habilitar el paso hacia el otro extremo del loop y acceder a la siguiente postura.

Para la planificación de construcción de buzones también es necesario definir la ubicación de los puntos de conexión de cable fuerza, fibra, radiocomunicaciones (frontón radiocomunicaciones) y de la sala eléctrica que alimentará de energía a los buzones. Se puede avanzar con soportación una vez que se realiza el primer rebaje de rampa de marina, pero se debe comenzar a construir la sala eléctrica al menos un año antes para contar con este suministro.

A medida que se va construyendo el loop, se debe considerar el escaneo de la sección libre debido a posibles desquinces que se deban realizar, idealmente esto debe quedar subsanado en la construcción del loop y no en etapas posteriores, ya que, de lo contrario, se dañará infraestructura como los cables que se van pasando y carpetas que se van construyendo a medida que se avanza con el loop. Al mismo tiempo, es importante definir la secuencia de construcción de carpetas y el uso de frontones de inversión, ya que se puede flexibilizar la entrega parcial de buzones al tener realizados estos trabajos.

Por otro parte, los Sistemas de Ventilación deben ser entregados tanto en Nivel de Producción como en el Nivel de Acarreo antes de iniciar con la PEM, aunque lo ideal sería al momento de excavar el loop, ya que al avanzar con el proyecto se tienen problemas de visibilidad asociados a la ventilación, por ejemplo, en los equipos de perforación o de carguío se presenta la condición de que los vidrios se empañan y por ende disminuye la visibilidad hacia el exterior aumentando la potencialidad de ocurrencia de accidentes.

En la etapa de planificación, también es importante la adquisición de vestidura del loop (señaléticas, espejos, semáforos, barreras, supresores de polvo, red contra incendios) ya que deben formar parte de la licitación y se debe tramitar antes de su construcción.

Como resultado de la planificación se debe tener un producto que permita controlar y darle seguimiento a lo planificado, para esto se puede hacer uso de herramientas como Project o Primavera, donde se puede definir la secuencia de construcción y permite considerar recursos del contrato y definir rutas críticas del proceso, como también definir actividades que se pueden paralelizar.

6.4.1.2. Lecciones aprendidas minería

Se debe controlar a través de la disciplina operacional la adherencia a la ejecución del diseño de Perforación y Tronadura, para esto se debe medir el largo de tiros y se debe marcar la disposición del diagrama de tiros con equipo de topografía. También se debe medir la desviación de tiros para volver a perforar o tomar la decisión de no cargar. Todo esto para evitar retrabajos por sub y sobre-excavaciones.

Dentro de la adherencia a la Tronadura se debe definir el tipo de explosivo (contorno con famecorte o softron, auxiliares, entre otros) como emulsión, bombeable o ANFO. Dentro de los explosivos más utilizados se tiene de tipo ANFO pirotécnico y electrónico, mientras que bombeable solo electrónico, cuando se trata de ANFO se debe verificar que quede bien confinado con presión mayor a 7.5 bares para que de esta manera no se sople. Dentro de las opciones señaladas anteriormente, la mejor es electrónico (bombeable), pero al tratarse de una excavación vertical el costo aumenta, por lo que al tener una relación del precio con el costo/beneficio la mejor opción es electrónico (ANFO).

La adherencia a PyT de la quemada de visera es primordial para no tener retrabajos, se debe realizar una correcta medición y un buen diseño. La falta de adherencia al PyT ha provocado secciones de viseras más pequeñas teniendo que quemar 1 y hasta 2 veces más.

En la etapa de fortificación se debe asegurar la calidad de PMSH, como el adosamiento de la malla al cerro (evitar nidos), el traslape de la malla, el pattern de los pernos, y el espesor y abanico de shotcrete, también se debe asegurar una correcta instalación de los pernos cable, para ahorrar tiempo se pueden preparar antes de iniciar la perforación y luego se debe asegurar un correcto anclaje a la roca y un correcto lechado. Se debe verificar que al momento de instalar los pernos cable no se corte parte de la malla, lo cual se ha convertido en una mala práctica al no tener una buena calidad de PMSH. El equipo de inspección debe realizar un correcto control de calidad de la fortificación PMSH para evitar nidos, pernos largos y falta de traslape, de lo contrario, se dificulta perforar y lechar cuando las estructuras ya están montadas.

La nueva metodología de construcción de buzón de Gardilic (construir y montar con rampa) requiere dejar rampa de marina, lo cual genera el problema de fortificar el lado que está hacia el pique, que se subsana una vez que se extrae la rampa.

El traspaso desde minería a OO.CC. se debe realizar con un buen levantamiento topográfico para evitar problemas futuros y sobreexcavaciones mayores. El área de ingeniería debe preparar una solución antes de pasar a OO.CC., ya que los actuales planos especifican una tolerancia máxima de hasta 0.5 a 0.8 m, pero ante sobreexcavaciones mayores se requerirá, por ejemplo, realizar consolas más grandes.

En el caso de invertir la secuencia de realizar el desarrollo vertical y luego la excavación del buzón, si se realiza primero la excavación y luego el desarrollo vertical, se debe tener el cuidado de dejar una subexcavación del orden de un metro a la cota del anillo madre de blindaje (anillo inferior) para facilitar el blindaje y posteriormente regularizar.

6.4.1.3. Lecciones aprendidas OO.CC.

Se debe revisar en bodega (con inspección) el kit del buzón para que estén todas las piezas, en cantidad y calidad, como por ejemplo las planchas del tronco pique, estructuras correspondientes a las PT (desde la 1 a la 5), parrillas, cierres perimetrales, entre otros. Adicionalmente, es recomendable contar con un stock de pernería por parte de la empresa constructora, para que se realice una oportuna reposición de pernos y tuercas.

Estructuras de hormigón armado deben ir en la línea de la caja de la labor del loop, por ejemplo, en el buzón OP19 las columnas SP6 (pilares P1) tuvieron que ser convertidas en consolas debido a problemas de dimensionamiento.

Se presentan problemas constructivos por hormigones sobredimensionados y secciones que se tienen que picar, ya que se ha dado el caso que algunos componentes de las planchas de blindaje, como el panel de fondo, no entran en la sección, también se ha dado el caso que el hormigón se expande y luego se debe picar, esto ocurre por problemas de adherencia al plano de diseño y a las especificaciones que se entregan por parte de ingeniería.

Se debe tener robustez en el control por parte del personal de inspección (ITO) en punto de parada y espera de las obras, mediante la expertiz y control continuo (24/7) de los trabajos.

La construcción del buzón debe estar centrada y orientada al eje del pique excavado y blindado, ya que se ha dado el caso que los pilares (columnas sp6) han quedado fuera de la línea de la caja quedando expuestos a impactos de los camiones, por lo que las estructuras de hormigón armado deben ir en línea con la caja de la labor.

Correcto manejo de las no conformidades por el área de calidad, a través del punto de parada y espera para construir en base a buenas prácticas constructivas, es decir, evidenciar la calidad de la construcción en las diferentes etapas constructivas con control documental.

Mejorar robustez de la estructura de PT3, ya que por choques por parte de GMIN se ha salido la estructura y se ha tenido que reparar. El plano no especifica como fijar la PT3 a la caja del cerro, por lo que las empresas constructoras lo han realizado bajo su propio criterio.

Contar con una disponibilidad adecuada de pala para rebajar la rampa y no afectar así los tiempos de construcción, ya que si no se rebaja la rampa no se puede continuar con las actividades de OCCC.

Cuando se tiene sobreexcavación se debe pedir un plano nuevo de diseño que incluya todas las mejoras constructivas, lo cual genera un retraso en el proceso debido a que los tiempos de espera del nuevo plano pueden depender del nivel de estudio que se requiera para realizar cierta mejora.

6.4.1.4. Lecciones aprendidas montaje

Se realizan modificaciones del kit de montaje en terreno, por ejemplo, al montar la tolva se genera un leve desplazamiento no uniforme, lo cual se soluciona con la incorporación de seguros tipo C, esto para evitar juego en pasador tolva.

Se debe controlar el orden y la secuencia del montaje de piezas, ya que se ha tenido que desmontar componentes por este motivo.

Al montar plataformas se debe asegurar la instalación de barandas y el correcto cierre perimetral para evitar exposición del personal a caída de distinto nivel.

El plano minero de la excavación y construcción del buzón no considera el espacio para la maniobrabilidad al momento de montar componentes, por ejemplo, para la viga V1 se han tenido que realizar desquinches para su instalación.

La empresa constructora no puede intervenir, bajo ningún punto de vista, estructuras que son entregadas por parte de la División, por ejemplo, para izar la tolva han realizado perforaciones con equipo oxicorte para instalar un tecele, lo cual está prohibido por parte de la División.

Para realizar el montaje de la unidad hidráulica se debe contar con las dimensiones adecuadas en el frontón escala, de lo contrario se tendrá que entrar a desquinchar en una etapa avanzada de la construcción donde ya se han instalado la mayoría de los componentes del buzón.

También se tienen problemas de montaje asociados a revisión de torque (deben ir de acuerdo con especificación técnica), aleación de pernos, marcación de pernos, soldadura, cuadratura, entre otros. Esto ha ocurrido por problemas que decantan de OO.CC. y que exigen una modificación de la estructura.

6.4.1.5. Lecciones aprendidas habilitación hidráulica

Antes de iniciar la etapa de habilitación hidráulica se debe asegurar tener los componentes, estos deben ser a prueba de polvo y humedad, deben contar con la protección necesaria para ser operativos bajo las condiciones mineras presentadas en el sector.

Dimensionamiento previo de pipping para ganar tiempo de construcción, es decir, se puede dimensionar paralelamente todos los componentes del pipping, para que una vez que esté habilitado el buzón se puedan instalar.

Es recomendable el uso de una unidad de respaldo para hacer pruebas en vacío, de esta manera se facilita la solución de problemas al llegar a la PEM.

Para la soldadura de cañerías de alta presión se debe disponer de soldadores calificados, esto para asegurar que el flashing quede listo en el primer intento.

Se debe disponer de un kit de repuestos de filtros, ya que por la humedad se pueden saturar y deben ser reemplazados a la brevedad para no tener daños en el sistema. Adicionalmente, se debe asegurar el uso de filtros tejidos de malla, ya que por la humedad los filtros de papel tienen una menor vida útil, para esto se recomienda realizar un punto de parada y espera para asegurar el uso correcto de filtros.

Modificación en el diseño para reemplazo de cañerías por flexibles, lo cual permite el cambio de estos componentes de manera más rápida frente a una falla (solo se deben atornillar). Por último, la certificación y revisión de motores rebobinados por parte de un organismo competente para evitar su falla.

6.4.1.6. Lecciones aprendidas habilitación eléctrica

Si la alimentación se realiza desde un nivel inferior, se debe disponer con tendido pasa cable al inicio de esta etapa, de lo contrario se retrasan las labores de esta etapa.

Antes de iniciar la etapa de habilitación eléctrica se debe asegurar tener todos los componentes, ya sea fibra óptica, radiocomunicaciones, cable fuerza, tableros, semáforos, cámaras, entre otros.

Se debe asegurar una correcta entrega de parte de la empresa constructora, principalmente del tablero de fuerza control, esto para no tener problemas de comunicación remota una vez iniciadas las pruebas.

Se recomienda contar con 2 cuadrillas eléctricas, una que desarrolle el tendido cable fuerza, fibra óptica, y terminación de soportes, mientras que la otra se encarga del frontón gabinete y periféricos del buzón, de esta manera se paralelizan actividades, de lo contrario, se tendrían que desarrollar estas actividades de manera secuencial.

Revisión en terreno del trazado de tendidos (fibra óptica y comunicaciones), para evitar que pase por sectores susceptibles a quemadas futuras que puedan dañar los cables.

Ubicación y dimensión del frontón gabinete debe establecerse estratégicamente, ya que una reubicación puede atrasar todo el proceso de habilitación.

Ante humedad excesiva y goteo de agua se deben proteger componentes claves mediante techos u otro medio de control. Se tiene el caso que, durante la habilitación eléctrica, principalmente de los buzones OP 19 y OP 20, se destaca la condición de exceso de escurrimiento de agua, la cual afecta directamente los componentes de los paneles eléctricos, para protegerlos, se construyen techos que no vienen incorporados por diseño lo que genera trabajo adicional y retrasos en la habilitación. Por otro lado, se deben cambiar los filtros de los buzones (habilitación hidráulica) al ser dañados por la misma condición de exceso de escurrimiento de agua.

El posicionamiento periférico se debe coordinar con cliente de manera previa, ya que, si se instalan según diseño, puede que no queden necesariamente operativos según las necesidades actuales del cliente. La señalización del sector a entregar (Loop 0 N) se instala según los requerimientos definidos por diseño, pero por requerimientos de la GMIN se debe modificar para el correcto funcionamiento de la ruta de camiones, sin embargo, estas modificaciones no son parte de la planificación de las labores de construcción, adoptarlas significa invertir recursos y cambios en la planificación de las tareas críticas de construcción.

Se recomienda realizar tendido mediante vías y no con cáncamos, ya que estos últimos son susceptibles a ceder con el paso del tiempo, debido al óxido y condición excesiva de agua que puede estar presente en el sector.

6.4.1.7. Lecciones aprendidas puesta en marcha

Previamente al inicio de esta etapa, se debe asegurar la vestidura del loop en acuerdo con el cliente (señaléticas, espejos, barreras, detalles de iluminación, tiros de drenaje, entre otros).

Asegurar señal radial para las pruebas con carga, en caso de no disponer, esto debe ser considerado en la etapa de habilitación eléctrica.

Cautelar días, horarios y recursos (camiones y mantenedores mecánicos/eléctricos) para pruebas locales y remotas.

Se plantea realizar caminatas de manera previa a la puesta en marcha para evidenciar problemas operacionales con antelación y ser resueltos en la etapa que corresponde, ya que se han hecho mejoras durante la marcha blanca que no corresponden a esta etapa. Por otra parte, se debe cerrar el proceso una vez cumplido el período de prueba, y una vez recepcionado, pasar a mejoramiento, que corresponde a otra etapa.

Por un tema de lógica operacional se decide realizar la PEM en los 5 buzones del Loop 0 en el mismo período para que los equipos puedan operar en la ruta sin complicaciones, de lo contrario, el tiempo se multiplica por la cantidad de sistemas de traspaso a entregar y se debe habilitar una ruta alternativa.

Cuando se llega a la PEM, el equipo encargado se encuentra con: documentaciones no actualizadas, la calidad la está haciendo personal no capacitado, o bien, se generan documentos que llegan al área de inspección y luego se distribuyen a control documental y área de calidad, pero cuando se debe entregar un sistema, no se encuentran estos documentos o no han sido validados correctamente.

La marcha blanca del martillo y del buzón no se debe hacer por separado, se debe hacer al sistema de traspaso completo, ya que de lo contrario se pierde tiempo y recursos al realizar la marcha blanca solo del buzón, la cual se tendrá que volver a realizar una vez habilitado el sistema completo.

6.4.1.8. Lecciones aprendidas transversales

Para habilitar el acceso al sector del Loop 0 N se cambia el tipo de hormigón de las carpetas de un HN70 a un X1, el primero tiene un tiempo de fragüe aproximadamente de 2 semanas mientras que el segundo presenta un tiempo de fragüe de 2 días, es más, dentro de 24 horas ya es posible transitar sobre la carpeta, con esto se evita bloquear el acceso de equipos al sector.

6.5. Estudio de eficiencia de la metodología Full Potential desde el punto de vista técnico y económico

La aplicación de la metodología Full Potential ha generado cambios en la manera de construir los buzones en la mina El Teniente con el objetivo de disminuir los tiempos de construcción y habilitación de los SdT. La factibilidad de realizar estos cambios depende de diversos factores que pueden ser unos más complejos de gestionar que otros.

Para optimizar la programación y control hora a hora de las actividades, se estandariza, con la ayuda del equipo C+, el inicio y término de turno buscando al mismo tiempo habilitar las actividades del siguiente turno, por ejemplo, cargar los equipos con combustible al término de cada turno. Por otro lado, la programación de actividades desde la POD busca cumplir con la meta interna de cada programa de trabajo, priorizando actividades de construcción de buzones y destinando recursos adicionales en los casos críticos, como lo es el caso del levante y fortificación del buzón, con la cual se habilita una quinta cuadrilla exclusiva para la minería de buzones. Además, el equipo de la GOBM en conjunto con las empresas contratistas, se encargan de asegurar la disponibilidad de equipos, cuadrillas y suministros, con el posicionado y disponibilidad previa de energía.

Por otra parte, buscar la disminución de retrabajos ha tenido buenos y malos resultados, por un lado, se logra una excavación de buzones con cuadraturas simples y algunos desquiches menores, con evaluación topográfica en cada parada de fortificación para evitar retrabajos, pero por el otro lado, se han tenido que desmontar componentes en un momento avanzado de la construcción para realizar desquiches considerables, aunque estos no son atribuibles a la metodología de excavación ni a problemas con el control de la minería, sino que están asociados a problemas de diseño del buzón como tal. Es primordial garantizar las competencias del personal encargado de construir los buzones para evitar retrabajos y así asegurar un correcto alineamiento entre las actividades.

Dentro de los factores más influyentes en obtener mejores resultados en los tiempos de construcción de buzones se encuentra el aumento de HH.EE. en la postura y cambios de turnos de las cuadrillas actuales. Para el aumento de HH.EE. se han implementado estándares EAT, inicio y término de turno, colación y seguimiento durante el turno del uso de la postura con la ayuda de ITOs de punto fijo encargados de medir el desempeño de cada turno. Otro de los puntos claves que han ayudado a aumentar el tiempo efectivo en cada postura es el control de las interferencias, debido a que se tiene coexistencia de más de una empresa contratista trabajando en la misma área, se ha logrado coordinar gran parte de las interferencias con un apropiado manejo y mitigación de las causas (a excepción de las interferencias por descuadre en el inicio de turno con cambio contractual de Fleischmann a 7x7A), por ejemplo, habilitando diferentes accesos al loop 0, así la empresa constructora de labores mineras hace uso de una única ruta de acceso, mientras que la otra empresa encargada de habilitar eléctricamente el buzón lo realiza desde otro sector sin impedir el traslado normal de ambas empresas. Por otro lado, las interferencias externas, como cortes de suministros o aislación por polvorazos han tenido un menor impacto, aun así, se debe trabajar en su control y mitigación para mejorar los tiempos de construcción de los siguientes buzones.

El aumento de recursos con cambios contractuales en las empresas contratistas ha tenido diferentes resultados, siendo la empresa Gardilic, encargada de realizar las labores de minería, OO.CC, montaje y habilitación hidráulica, la que ha logrado tener un mayor éxito con el aumento de HHEE/día al incluir cuadrilla de avanzada turno 7x7 y personal de equipo crítico y gestionando ingreso de cuadrilla de avanzada de tal manera que maximice horas de frente y gestionando manilla a manilla con turno 10x5 original, mientras que, al mismo tiempo, se trabaja en RdP para conseguir el objetivo de HH.EE. deseadas. Por el contrario, la empresa Fleischmann, no realiza los cambios contractuales a tiempo siendo esta una de las mejoras que ha sido implementada en el transcurso final de construcción de los buzones, dejando su aplicación sin resultados comparables.

A su vez, los cambios de metodología en la construcción de buzones han logrado disminuir los tiempos de construcción, mejorar la seguridad y disminuir el uso de recursos, como la eliminación de pernos cables al eliminar el segundo levante, o bien, eliminar el uso de andamios al utilizar rampa de marina, entre otros. A pesar de obtener buenos resultados con los cambios de metodología, se han tenido que realizar grandes esfuerzos para lograr el objetivo y el rendimiento deseado, es aquí donde cumplen un rol esencial los principales habilitadores de las actividades de construcción, en los que se pueden destacar el garantizar adherencia al diagrama de levante, la fabricación de enfierraduras en taller, adelantar construcción de soportes para pipping, montar algunos componentes hidráulicos durante las OO.CC. y realizar una correcta coordinación con el equipo PEM.

En consecuencia, las mejoras implementadas para reducir los tiempos de construcción de buzones han requerido intensificar la gestión de los recursos, lo cual se ve reflejado en el costo total de construcción de un sistema de traspaso. Esto último, según las tarifas utilizadas y los precios correspondientes a la Rev. A 2022 con un monto en moneda base del mismo año (TC: \$739/USD), el costo total de un sistema de traspaso en el sector Recursos Norte es del orden de 2.4 MUSD, mientras que un sistema de traspaso en el sector Reservas Norte cuesta del orden de 2.1 MUSD (buzón de menores proporciones), este costo es asumido por el Costo Neto a Cátodos (C3). El detalle de costos de cada ítem se presenta a continuación en la Tabla 19.

Tabla 19: Costos de construcción de un Sistema de Traspaso en el sector Recursos Norte. Fuente: Gerencia de Obras Mina, DET, Codelco.

Actividad	Costo [USD]
Habilitación Martillo	76,492
Fortificación Búnker Punto de Vaciado	203,693
Excavación y Fortificación Zona Punto de Vaciado	56,103
Construcción Base de Martillo	19,069
Rotura de Chiflón	5,638
Excavación y Fortificación Construcción de Brocal PV	185,348
Blindaje Pique Mecanizado	201,346
Desarrollo Vertical 3.4 m	243,400
Tronco Pique	61,168
Excavación y Fortificación Zona de Buzón	148,761
Montaje de Buzón	82,900
Habilitación Hidráulica	189,486
Construcción de Buzón (OO.CC)	196,388
Habilitación y Puesta en Marcha de Buzón	66,272
Adquisiciones e Instrumentación	707,383
Costo Total	2,443,447

Por otro lado, se tiene como antecedente que la proyección inicial del tiempo de construcción de un buzón, desde el inicio de la minería hasta el término de la marcha blanca, considera un plazo total de 16 meses, pero gracias a la implementación de la

metodología Full Potential el plazo total ha disminuido a 11 meses permitiendo comenzar con la operación de traspaso de mineral en el sector Recursos Norte antes de lo estimado.

Durante los primeros 5 meses que se tiene habilitado el buzón, se envía material a la planta de procesamiento que no estaba contemplado, esto se traduce en un aumento de la producción generando mayores excedentes para la división en los meses en cuestión.

A continuación, en la Tabla 20, se presenta el mineral extra enviado a planta de procesamiento correspondiente a los 5 meses posteriores a la entrega de cada buzón.

Tabla 20: Mineral pasante por los SdT del caso en estudio.

Buzón/Mes	Dic-2021	Ene-2022	Feb-2022	Mar-2022	Abr-2022
[unidad]	[ton]	[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
OP-17	5,684	8,352	14,558	15,660	35,264
OP-18	2,900	4,408	1,624	11,020	24,186
OP-19	9,454	4,582	232	7,192	63,046
OP-20	9,976	18,444	12,992	11,426	19,894
OP-21	23,026	27,608	12,238	11,774	17,516
Total	51,040	63,394	41,644	57,072	159,906

Para estimar los excedentes generados por el aumento de mineral extraído en los meses en cuestión, se considera el precio de los metales (cobre como producto principal), la recuperación metalúrgica en el tratamiento del mineral en División El Teniente (cobre refinado a fuego (RAF), ánodos y cátodos de cobre como productos), la ley media de cobre del sector Recursos Norte en DET y finalmente el costo operacional (C1) declarado por Codelco en el año 2021, este último contempla costos de extracción, costos de tratamiento, flete, fundición y refinación (TC/RC), gastos de administración y subproductos. Los parámetros mencionados anteriormente son presentados en la Tabla 21.

Tabla 21: Parámetros económicos de CODELCO, Memoria Anual 2021.

Parámetro	Unidad	Valor
Costo operacional (C1) 2021	[USD/lb]	1.33
Precio de Cu promedio 2021	[USD/lb]	4.23
Recuperación metalúrgica DET	[%]	84.35
Ley media 2021 (RR.NN.)	[%]	0.89

El cálculo se realiza a través de la siguiente ecuación y son presentados a continuación.

$$\text{Excedentes} = 2.204,6 * (P_{Cu} - C_1) * R_{met} * ley_{media} * tonelaje$$

Ecuación 2: Excedentes estimados en base a parámetros operacionales Codelco 2021.

Tabla 22: Excedentes por SdT en base al mineral pasante en el caso de estudio.

Parámetro/Buzón	Mineral pasante [ton]	Excedentes [USD]
OP-17	79,518	3,816,527
OP-18	44,138	2,118,437
OP-19	84,506	4,055,930
OP-20	72,732	3,490,828
OP-21	92,162	4,423,385
Total	373,056	17,905,107

En resumen, los excedentes adicionales que se obtiene tras habilitar los 5 sistemas de traspaso con un plazo de 5 meses de antelación es de alrededor de 17.9 MUSD, lo que equivale a 716.2 KUSD al mes por buzón, o bien, a 23.9 KUSD al día por buzón, con un promedio de 500 toneladas de mineral al día por buzón que son enviadas al proceso de la planta concentradora aguas abajo.

Si bien los costos de construcción de un buzón son asumidos por el Costo Neto a Cátodos (C3) debido a que la preparación minera se lleva a cabo con contratos interanuales que pueden ser amortizados, el aumento que se genera en los costos al incorporar mejoras en su construcción podría ser apaciguado por los excedentes que se obtienen al adelantar su entrega, ya que dentro de los primeros 4 meses estaría cubierto por completo el costo de los buzones. Por lo tanto, la metodología Full Potential aplicada a la construcción de los Sistemas de Traspaso en el sector Recursos Norte, presenta un gran potencial económico que se ve reflejado en el adelanto de la habilitación de los sistemas de traspaso y ha permitido generar mayores excedentes para la División.

6.6. Estandarización Aplicación Metodología Full Potential Preparación Minera

La metodología Full Potential para ser aplicada a la preparación minera debe centrar su objetivo tanto en el desempeño de las actividades como en los procesos productivos mismos, un mejor desempeño permite satisfacer la necesidad de incorporación de área en el tiempo y calidad que la producción lo requiere. Para esto, y junto a las herramientas descritas en la sección 4.2.1, se define la metodología Full Potential para preparación minera en 6 etapas, las cuales permiten identificar las iniciativas claves que servirán para alcanzar la meta productiva.

En la Figura 45 se presenta un diagrama con la secuencia de las 6 etapas esenciales para aplicar la metodología Full Potential a la preparación minera y a continuación se describe la aplicación de cada una de estas etapas.

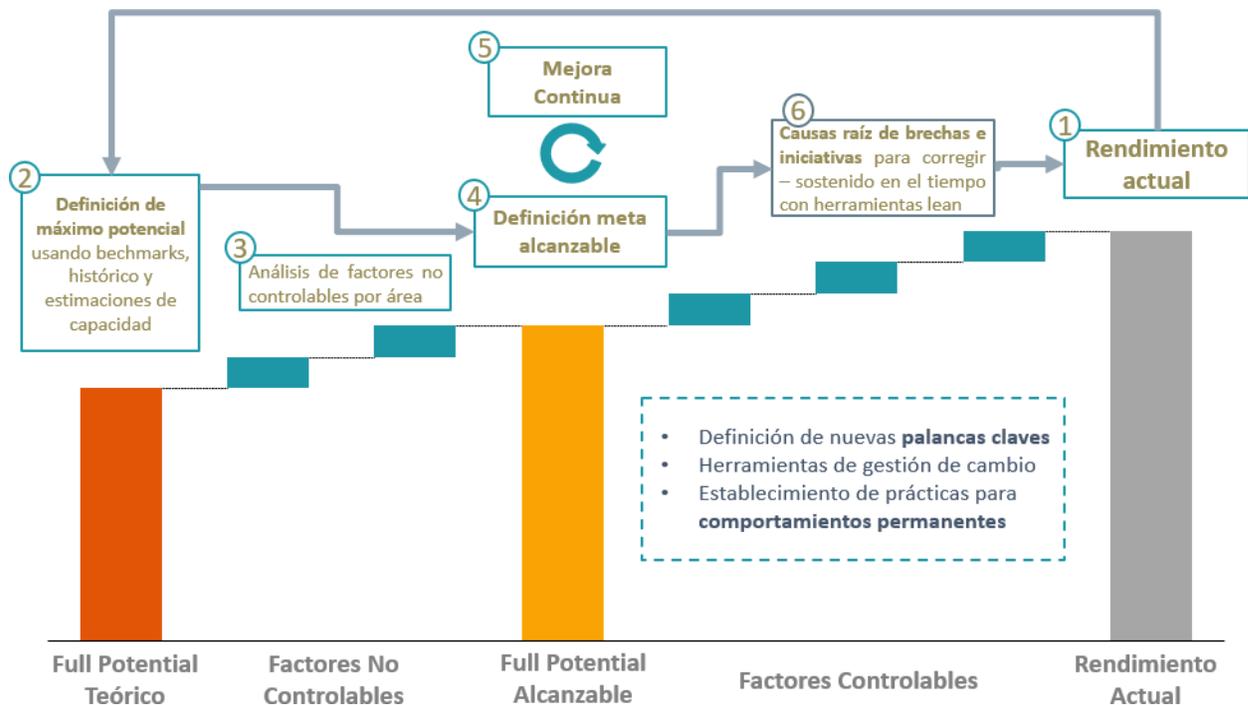


Figura 45: Diagrama secuencia de aplicación metodología Full Potential a la preparación minera.

1. Primera etapa: Rendimiento actual.

En esta etapa se debe medir la cantidad de tareas/actividades que el proceso es capaz de realizar en un período determinado. El rendimiento del proceso se relaciona directamente con el tiempo de ciclo, es decir, el tiempo que demora en completarse un proceso.

De esta manera, se va a poder comprender como interaccionan los procesos de la fase en estudio (diagrama de proceso) y se va a poder identificar los indicadores accionables para la mejora del proceso (árbol de valor) a través de palancas operacionales.

2. Segunda etapa: Definición de máximo potencial.

En esta etapa se debe definir la máxima productividad que puede tener el proceso estableciendo su potencial de forma sostenible según sus condiciones operacionales (límite técnico). Primero, se debe hacer uso de bechmarks, datos históricos y estimaciones de máximo potencial previos, para luego suponer una ejecución perfecta de todas las actividades de planificación, operación y continuidad de trabajo.

La estimación de plazos o períodos de trabajo se debe realizar con la correcta disponibilidad de recursos y los máximos rendimientos posibles que, con la complejidad de la faena, se puedan ejecutar. Al mismo tiempo, se debe analizar las secuencias de actividades, los requisitos de recursos y las restricciones que se tienen de los mismos.

3. Tercera etapa: Análisis de factores no controlables por área.

En esta etapa se deben estudiar las variables que no se pueden controlar durante la operación normal del proceso, por ejemplo, en la minería se tienen las características geomecánicas de la roca, la sobre o sub-excavación que se puede generar por motivo

de estas, o bien, eventos sísmicos en el sector de las labores, otra variable que se puede presentar es el exceso de escurrimiento de agua que aflora desde el mismo cerro por paso del frente (aumenta la impermeabilidad), lo cual puede humedecer componentes y dañarlos parcial o completamente.

Una vez identificados los factores no controlables en cada área, es necesario medir el impacto que generan en el proceso con relación a la probabilidad de ocurrencia, de esta manera, se deben incorporar los posibles retrasos al proceso y realizar una nueva medición de la productividad.

4. Cuarta etapa: Definición meta alcanzable.

Una vez identificados y analizados los factores no controlables se debe definir la meta bajo estas condiciones, es importante que la meta esté bien definida, sea clara, y el enfoque esté centrado en ella, como también, es fundamental que sea medible, de lo contrario, no se podrá realizar un correcto seguimiento del cumplimiento de las actividades.

El equipo de trabajo debe establecer metas que sean capaces de lograr, deben ser lo más realista posible, pero no confundir con establecer metas que sean fáciles de alcanzar. Además, como se trata de preparación minera, es vital identificar el menor tiempo posible en el que se puede realizar la tarea/actividad para lograr la meta y se debe identificar y documentar las relaciones existentes entre las diferentes actividades, aparte de relacionarlas y priorizarlas con respecto a la Ruta Crítica del proceso.

Por otro lado, se debe estimar el tipo y la cantidad de recursos que requiere la ejecución de las actividades, como materiales, recursos humanos, equipos o suministros.

5. Quinta etapa: Mejora Continua.

Hay que analizar constantemente los diferentes elementos que intervienen en el proceso para cumplir con el objetivo de aumentar su rendimiento, productividad, eficiencia, eficacia y calidad. La estrategia principal debe ser optimizar y perfeccionar los procedimientos, básicamente con pequeños ajustes, pero continuos que busquen la eliminación de dinámicas improductivas y minimizar los errores de forma permanente en el proceso.

Para su implementación, se debe buscar la motivación y el compromiso de quienes realizan las labores de preparación minera, principalmente con el involucramiento en las posturas de trabajo por medio de la implantación de procesos de mejora continua, por ejemplo, mediante la aplicación de herramientas como las “cinco eses” (5S) para lograr posturas de trabajo más organizadas, ordenadas y limpias, que permitan alcanzar una mayor productividad, un mejor entorno laboral y utilización de los espacios, lo que se traducirá en la emancipación de tiempos perdidos. Por otro lado, es conveniente aferrarse a los ideales del Kaizen y a la utilización de prácticas como las “siete mudas” (los 7 desperdicios en Lean), que ayudarán a la disminución de desperdicios en el resultado final, a un mejor uso de los recursos y al mejoramiento de los aspectos gestionables de la organización.

6. Sexta etapa: Causas raíz de brechas e iniciativas.

En esta etapa es necesaria la identificación de las variables que afectan la operación normal del proceso y que son posibles de gestionar, para esto, se debe analizar la Causa Raíz de cada uno de los problemas y evitar su recurrencia o generar su completa resolución para lograr el cierre de brechas.

La identificación de las principales causas raíz ayuda a desarrollar estrategias más eficaces para el cierre de brechas y llevar a cabo iniciativas que logren corregir estas desviaciones. En base a las lecciones aprendidas de la aplicación de la metodología Full Potential en la construcción de buzones en mina Norte, se logran identificar causas raíz que pueden tener un potencial impacto negativo en el desarrollo normal de la preparación minera.

Es fundamental determinar y desarrollar palancas para cerrar o disminuir las brechas asociadas a, ya sea a causas físicas, las cuales pueden deberse a problemas con alguno de los componentes físicos de los diferentes sistemas (ventiladores, buzones, portones, entre otros), como también fallas en los hardwares y softwares o, el mal funcionamiento de los equipos (jumbos, roboshots, equipos de levante, sistema de telecomando, entre otros); a causas que pueden ocurrir debido a un error humano causado por la falta de habilidades y/o conocimientos para realizar una tarea/actividad; o bien, a causas organizacionales, que pueden ocurrir cuando una organización usa sistemas o procesos deficientes o inadecuados, como dar instrucciones incompletas, tomar decisiones incorrectas, manejar erróneamente al personal o asignar mal los recursos en cada postura.

6.6.1. Propuesta de mejoras

Se recomienda que al implementar la metodología Full Potential estandarizada a la preparación minera, se realicen las siguientes actividades:

- Al realizar la primera etapa de medición del rendimiento actual, llevar a cabo un servicio de “Time on Tools”, un proceso completo de análisis estadístico y medición de la productividad de los recursos que intervienen en cada actividad, y mediante este análisis, obtener herramientas para atacar las siguientes etapas, por ejemplo, causas o factores de tiempos improductivos y fuentes de desperdicio.
- Realizar mediciones en terreno de los tiempos que toma realizar cada una de las tareas asociadas a las actividades involucradas en el proceso de construcción, luego considerar el promedio de los mejores tiempos de diferentes posturas de trabajo para definir la máxima productividad del proceso.
- En la etapa de mejora continua buscar oportunidades de mejora al capturar y levantar mejores prácticas, para esto, se deben reducir los desperdicios y los tiempos incidentales para maximizar el valor añadido. Para esto, se deben considerar las mediciones realizadas en terreno para contrastar con el estándar definido por el equipo encargado de construir y/o gestionar las diferentes actividades.

- Analizar la factibilidad de realizar actividades y/o tareas en simultáneo o en paralelo, por ejemplo, realizar actividades de construcción con mas de una cuadrilla, una que esté trabajando en un lado de la postura, mientras que la otra cuadrilla realice trabajos en el lado contrario, o bien, en paralelo al realizar actividades en contra turno, por ejemplo, en turno A cuadrilla actividad 1 y en turno B cuadrilla actividad 2.

7. Conclusión y recomendaciones

Del trabajo realizado en el presente estudio es posible concluir que los tiempos de construcción de los sistemas de traspaso pueden mejorar si se aplican herramientas que busquen mejorar sus procesos, en este caso, identificando brechas y levantando palancas que apunten al cierre de estas.

La aplicación de la metodología Full Potential ha permitido disminuir los plazos de construcción de los buzones de 16 a 11 meses, mejorando los procesos de construcción al optimizar la programación y controlar hora a hora las actividades, aumentando las horas efectivas en las posturas, los recursos del contrato y disminuyendo los retrabajos.

Al mismo tiempo, los cambios de diseño en la construcción del buzón han permitido mejorar los rendimientos y disminuir la exposición del personal. El levante de buzón en una sola etapa realizando la tronadura del levante completo con el tronco pique y visera de acceso y utilizando el pique realizado previamente como cara libre, ha permitido mejorar los resultados y tener una disposición más favorable para controlar la tronadura. La incorporación de la visera en el diseño ha permitido eliminar los puntos ciegos del personal de fortificación, ya que se realiza siempre bajo techo fortificado y al mismo tiempo, cada vez que se avanza en la fortificación, se han podido eliminar reprocesos con la interacción directa del equipo de topografía para atacar eventuales sub-excavaciones, de esta manera no se pierde fortificación como en el método tradicional.

Por otro lado, realizar los trabajos de obras civiles y blindaje tronco pique con la ayuda de una rampa de marina, se ha logrado mejorar los rendimientos de construcción considerablemente, siendo esta la actividad que demanda mayor tiempo. Disminuir los tiempos de ejecución ha generado un gran impacto en el rendimiento global, ya que solo en las OO.CC. se tiene una mejora en el rendimiento de 17 días.

Se logra capturar los aprendizajes obtenidos de la implementación de la metodología con lecciones que han sido aprendidas, adoptadas y consideradas por el personal encargado de construir los buzones, lo cual se ve reflejado luego de la construcción de los siguientes buzones, como ejemplo se tiene uno de los últimos buzones en construir, el OP 21, que presenta los menores tiempos de construcción en casi todas sus actividades.

Dentro de las razones que interfirieron en obtener mejores resultados en el desarrollo de las actividades de construcción, se tienen principalmente retrasos por interferencias debido a la postergación del acceso a las posturas, a polvorazos que han generado aislación del sector, a problemas de suministro de servicios, a componentes que no caben por diseño, a exceso de hormigón o sobredimensionamiento de consolas por sobreexcavación del levante o caja escala, a exceso de escurrimiento de agua, a eventos sísmicos que han provocado daños en el cerro, entre otros.

Técnicamente, las mejoras que más impactaron en el aumento del rendimiento, dejando de lado los cambios metodológicos de construcción, han sido el aumento de las HH.EE. en la postura y los cambios contractuales de las cuadrillas, seguido de la optimización en la programación y control hora a hora de las actividades. Con esto, las mejoras en la productividad de la preparación minera han permitido incorporar área de manera temprana a la parte operativa de la mina, adelantando el traspaso y acarreo de mineral, junto a la disminución de las distancias recorridas por las palas en el nivel de producción.

El impacto en la productividad provocado por una buena preparación minera que permite disponer de sistemas de traspaso por adelantado se ve reflejado en los 17.9 MUSD de excedentes adicionales que se obtienen tras habilitar 5 sistemas de traspaso en un plazo de 5 meses de antelación. Con esto, la metodología Full Potential aplicada a la construcción de los Sistemas de Traspaso en el sector Recursos Norte, presenta un gran potencial económico que logra incluso cubrir los gastos de construcción incluyendo todas las mejoras implementadas.

Por otro lado, si bien se está extrayendo mineral antes de lo previsto, esto no significa que se está generando mineral extra, sino que se adelanta el plan de producción en 5 meses, ahora bien, como la estrategia de Codelco y de la División El Teniente es mantener una producción constante y duradera en los años, una vez alcanzada la vida útil de mina Recursos Norte, se tendrá que disponer de un nuevo proyecto o extensiones para continuar con los niveles de extracción.

La metodología Full Potential estandarizada a la preparación minera puede ser utilizada en cualquier proceso o actividad que requiera mejorar su productividad en base a la reducción de plazos o tiempos de construcción, considerando el proceso completo hasta que el producto final sea operativo.

Se logra traer una metodología que fue diseñada por Codelco para procesos productivos, ya sea producción, molienda, chancado, acarreo o fundición, a labores de preparación minera para ser abordada por el área operativa de construcción, de manera fácil y eficiente, presentando un caso base de la implementación de la metodología con un ejemplo de éxito real y concreto.

7.1. Recomendaciones

Para consolidar el análisis de la implementación de la metodología Full Potential a los sistemas de traspaso en mina norte, se sugiere que en futuras investigaciones se aborden los siguientes aspectos no resueltos en la realización de este trabajo:

- Aplicar la metodología Full Potential a la construcción de punto de vaciado y excavación con blindaje de pique mecanizados, de esta manera se podrá tener un exhaustivo análisis de la implementación de la metodología a los sistemas de traspaso completos.
- Implementar la metodología Full Potential ya estandarizada para preparación minera, con el objetivo de validar y analizar su aplicación en los demás sectores, como habilitación de sistemas de ventilación, desarrollos horizontales y verticales, construcción de puntos de carguíos, entre otros.
- Realizar mediciones en terreno de los tiempos claves de ejecución de las tareas, con el objetivo de tener un resultado más acabado y mas cercano a las condiciones que presenta cada sector de la mina, ya que dentro de la mina existen sectores que, por ejemplo, se construyen buzones de menores dimensiones y esto afectará directamente los tiempos y recursos para su construcción.

8. Bibliografía

- A. Karzulovic. (2001). *Propiedades geomecánicas de las estructuras en roca primaria, Mina El Teniente*. Superintendencia Planificación Minco. CODELCO, El Teniente.
- Aguila, R., González, L., Galdamez, J., & Ramos, Y. (2016). *PERFORACIÓN SUBTERRÁNEA "Raise boring y Blind Hole"*. Ingeniería en Minas, Santiago, Chile.
- America, I. L. (8 de Abril de 2010). *Fracturación hidráulica en acción*. Obtenido de Minería Chilena: <https://www.mch.cl/reportajes/fracturacion-hidraulica-en-accion/>
- Burgos. (2002). *Petrografía y geoquímica de la diabasa y diques basálticos que constituyen las "andesitas de la mina" en el yacimiento El Teniente. VI Región, Chile*. . Concepción.
- Camhi, J. (2012). *Optimización de los Procesos de Desarrollo y Construcción en Minería de Block Caving Caso Estudio Mina El Teniente Codelco Chile*. Santiago de Chile.
- Castro, R. (2016). *Apuntes Fundamentos de Tecnología MInera. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile*. Santiago, Chile.
- CODELCO. (20 de Julio de 2006). *Sewell ya es Patrimonio de la Humanidad*. Recuperado el 17 de Enero de 2022, de https://www.codelco.com/sewell-ya-es-patrimonio-de-la-humanidad/prontus_codelco/2011-02-22/121743.html
- CODELCO. (2011). *Manual de Uso y Estructura del Sistema de Inversión de Capital (SIC)*.
- CODELCO. (30 de Mayo de 2017). *Récord de visitantes en Sewell en el Día del Patrimonio Nacional*. Recuperado el 17 de Enero de 2022, de https://www.codelco.com/record-de-visitantes-en-sewell-en-el-dia-del-patrimonio-nacional/prontus_codelco/2017-05-30/154732.html
- CODELCO. (08 de Agosto de 2017). *Servicio de mttto. pavimentos asfálticos carretera el cobre y otros sectores productivos e industriales DET*. Requerimiento de Información. Recuperado el 13 de Enero de 2022, de https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20170808/asocfile/20170808171202/rfi__17_920.pdf
- Codelco. (2020). *Academia C+: Proceso Full Potential*. Privado, Dirección de Excelencia Operacional Corporativa.
- CODELCO. (31 de Diciembre de 2020). *Nosotros*. Recuperado el 9 de Enero de 2022, de https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/edic/base/port/nosotros.html
- CODELCO. (31 de Diciembre de 2020). *Operaciones Codelco*. Recuperado el 11 de Enero de 2022, de https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/edic/base/port/operaciones.html

- CODELCO. (2021). *División El Teniente*. (Codelco) Recuperado el 14 de Enero de 2022, de https://www.codelco.com/division-el-teniente/prontus_codelco/2016-02-25/155825.html
- CODELCO. (29 de Octubre de 2021). *Entrega de Resultados tercer trimestre 2021, Codelco*. Recuperado el 11 de Enero de 2022, de https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20210226/asocfile/20210226113344/2021_10_29_entrega_resultados_3t_2021.pdf
- Cuadra, P. (1986). *Geocronología K-Ar del yacimiento El Teniente y áreas adyacentes*. Santiago: Revista Geológica de Chile.
- Cuadra, P. (2010). *Geocronología K-Ar del yacimiento El Teniente y áreas adyacentes*. Chile: Andean Geology.
- Giraldo Paredez, E. M. (2010). *Las maquinas tuneleras tipo "TBM" como alternativa al sistema de perforación y voladura para la excavación de tuneles caso: desarrollo de tuneles en Yuncan*. Tesis. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/793>
- Gómez Korn, G. A. (2018). *Análisis de modelo de gestión de proyecto óxidos encuentro Antofagasta Minerals S.A*. Santiago.
- Hernández, J., & Vizán, M. (2013). *Lean manufacturing. Concepto , técnicas e implantación*. Madrid, España: EOI ESCUELA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL.
- Huamani, J. (2019). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS ESCUELA PRCONTROL DE CALIDAD Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SISTEMA DE PERFORACIÓN DE LA SBM 700*. Tesis, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN, FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS, Arequipa, Perú.
- Karzulovic, A. (2006). *Modelo conceptual del campo de esfuerzos en mina El Teniente* . Santiago: CODELCO, División El Teniente.
- KOGLER, P. (2008). Blind boring system. *Third International Platinum Conference 'Platinum in Transformation'* (pág. 277). The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.
- Laubscher, D. (2000). *A PRACTICAL MANUAL ON BLOCK CAVING*. ICS Sponsors.
- López, I. A. (2016). *Diseño y Evaluación de un Sistema de Manejo de Marinas Alternativo en División El Teniente, Codelco Chile*. Santiago: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.
- Minería Chilena. (2017). Proceso mina-planta: Hacia su optimización. *Minería Chilena*, 24-25.
- R. Trueman, M. P. (2002). *Quantifying stresses and support requirements in the undercut and panel caving mines*. Pergamon.

- Salinas, C. (1998). *Construcción de túneles, piques y chimeneas*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Ingeniería de Minas, Santiago.
- SME. (2001). *Underground Mining Methods*. Chile: Editado por Hustrulid W. y Bullock R.
- Stewart, P., Ramezanzadeh, A., & Knights, P. (2006). Benchmark Drill and Blast and Mechanical Excavation Advance Rates for Underground Hard-Rock Mine Development., (pág. 45). Brisbane, Australia.
- Vergne, J. d. (2014). *Hard Rock Miner's Handbook*. Stantec Consulting Ltd.

Anexos

Actividades/etapas Full Potential

Anexo A: Diagrama de Procesos

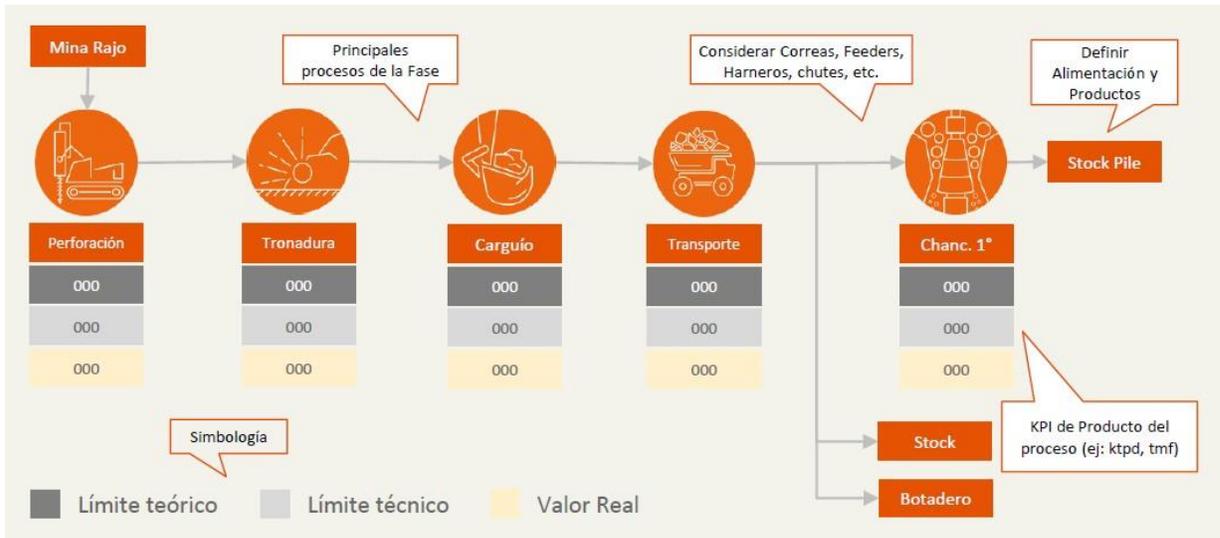


Figura 46: Ejemplo ilustrativo de un Diagrama de Procesos, correspondiente a las operaciones unitarias de una mina rajo (Codelco, 2020).

Anexo B: Árbol de Valor

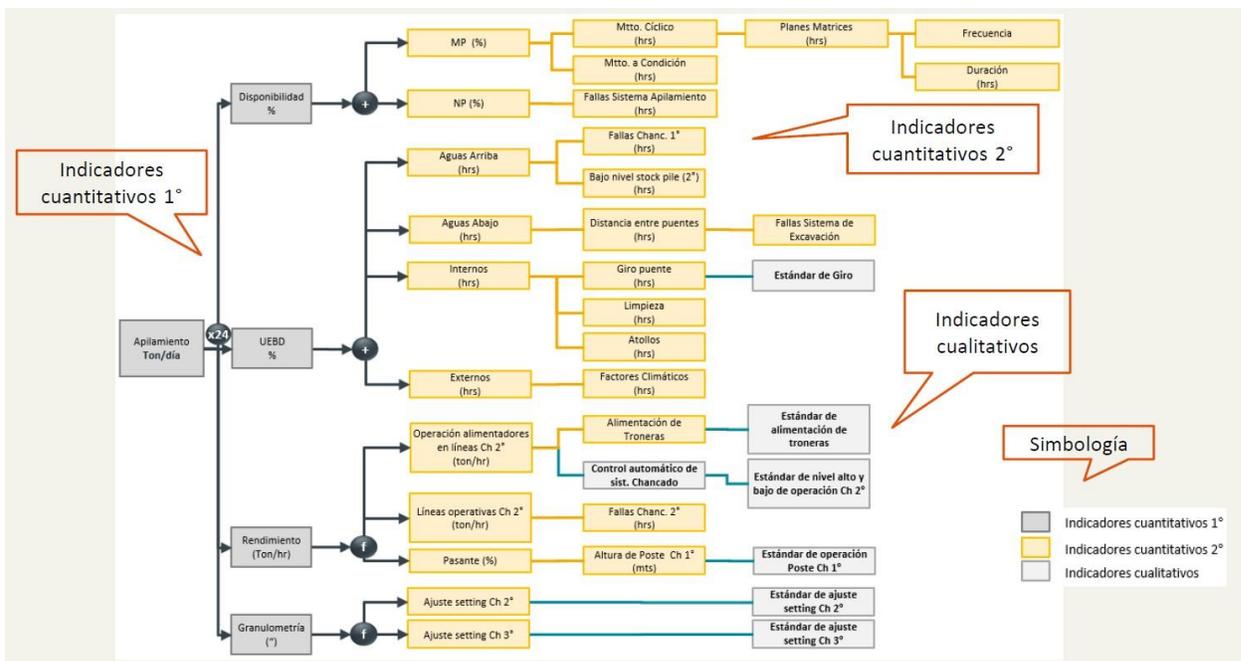


Figura 47: Ejemplo ilustrativo de un Árbol de Valor, correspondiente al proceso de apilamiento de material (Codelco, 2020).

Anexo C: Cuello de Botella

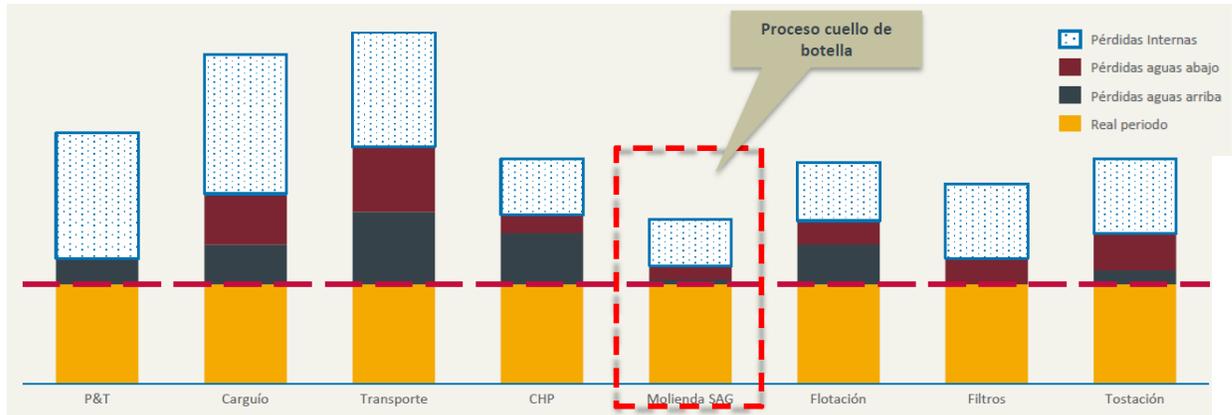


Figura 48: Ejemplo ilustrativo de la identificación de un Cuello de Botella entre las operaciones unitarias mineras (Codelco, 2020).

Anexo D: Identificación de Brechas OEE

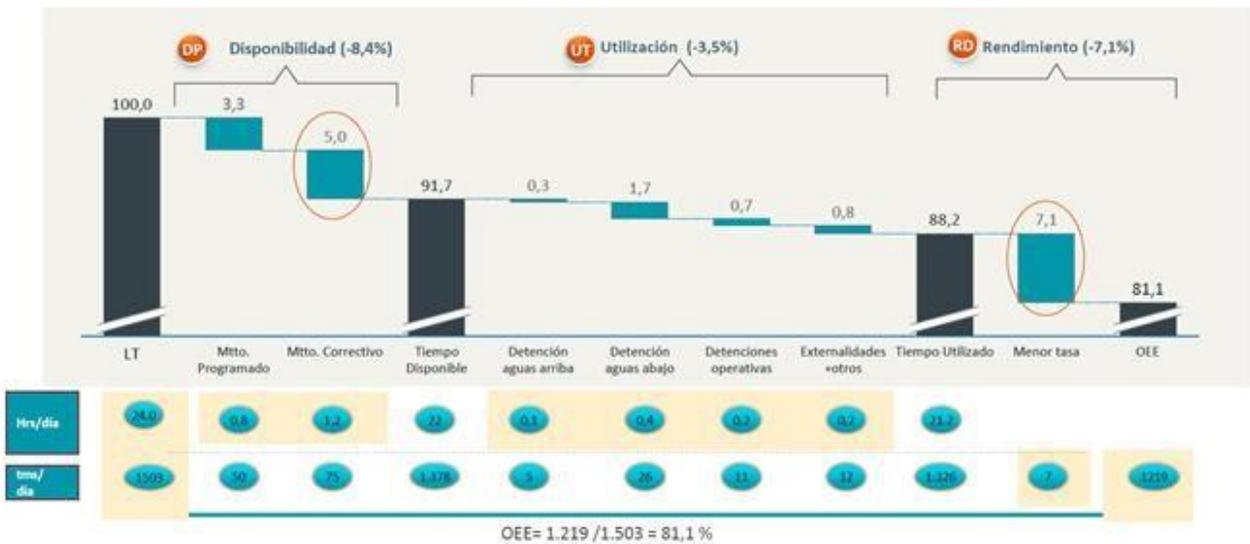


Figura 49: Ejemplo ilustrativo de la Identificación de Brechas OEE (Codelco, 2020).

Anexo E: PIT/Palanca

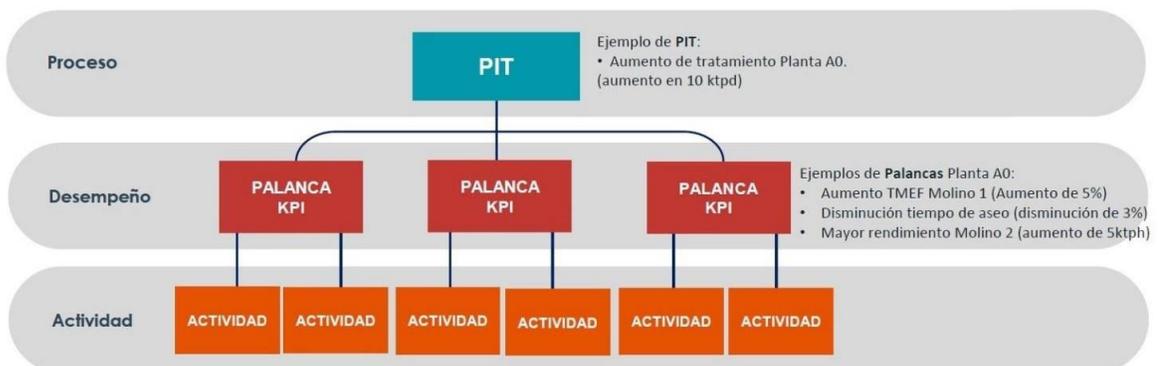


Figura 50: Ejemplo ilustrativo de PIT/Palancas del tratamiento de una planta (Codelco, 2020).

Anexo F: Aspiración

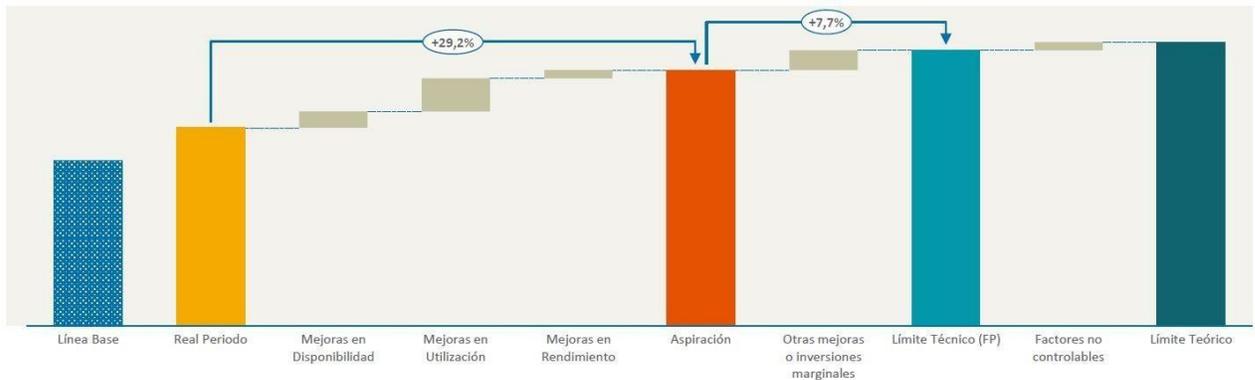


Figura 51: Ejemplo ilustrativo de de la elaboración de la aspiración de un proceso (Codelco, 2020).

Anexo G: Metodología para valorizar palancas de tratamiento

La metodología que ha utilizado Codelco para valorizar palancas de tratamiento se describe a continuación:

1. Estimar la mejora en el indicador de la Palanca que impacta en el mayor tratamiento, por ejemplo:

Palanca: Mayor disponibilidad de Apilamiento de material → Aumento en un 3%

2. Calcular mineral procesado adicional (ktpd) en base a la captura de palanca:

Mayor tratamiento por mejora en el KPI → 1,72 ktpd

3. Estimar el cobre adicional producido (tmf):

$$\begin{matrix} \text{Mineral} \\ \text{procesado} \\ \text{adicional (ktpd)} \end{matrix} * \begin{matrix} \text{Ley } \phi \\ \text{mineral (\%)} \end{matrix} * \begin{matrix} \text{Recuperación} \\ \text{(\%)} \end{matrix} * \begin{matrix} \text{Días } \phi \\ \text{operación} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{Cobre adicional} \\ \text{producido por} \\ \text{tratamiento (tmf)} \end{matrix}$$

Ecuación 3: Estimación de cobre adicional producido.

4. Estimar el aumento en beneficio por Tratamiento (MUSD):

$$\begin{matrix} \text{Cobre adicional} \\ \text{producido por} \\ \text{tratamiento (tmf)} \end{matrix} * \begin{matrix} \text{Margen Unitario} \\ \text{Marginal (USD/tmf)} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{Aumento en} \\ \text{beneficio por} \\ \text{tratamiento (USD)} \end{matrix}$$

Ecuación 4: Estimación del aumento en beneficio por Tratamiento.

5. Estimar la captura de la Palanca (MUSD):

Tabla 23: Estimación de captura de la Palanca de Tratamiento (Codelco, 2020).

Palanca Mayor Disp.	Unidad	2020	Origen
Aumento Mineral procesado	[ktpd]	1,72	Valor calculado
Ley	[%]	0,44	Valores PND 2019
Recuperación	[%]	68,9	Valores PND 2019
Días	[N°]	365	Valores PND 2019
Cobre adicional producido	[tmf]	1.676,1	Valor calculado
Margen del Producto	[USD/tmf]	4.722,9	Valores PND 2019
Aumento en beneficio	[MUSD]	7,9	Valor calculado

A modo de observación, para valorizar el cobre adicional se debe definir el destino de este, por ejemplo, Venta Internacional, cobre adicional a Fundición y Refinería, entre otros. Si la palanca necesita de inversión entonces se debe incorporar en la valorización.

Anexo J: Tiempos reales de actividades de construcción de buzones desde el OP16 al OP22

Tabla 24: Tiempos reales de actividades de construcción de buzones desde el OP16 al OP22.

Buzón	Actividad					
	Minería	OO.CC.	Montaje	H. Hidráulica	H. Eléctrica	PEM
OP 16	35	101	16	27	29	8
OP 17	35	89	23	28	32	8
OP 18	42	86	21	18	32	7
OP 19	47	122	21	30	28	7
OP 20	37	82	21	38	28	8
OP 21	34	73	15	15	32	8
OP 22	39	103	17	23	25	7
Promedio	38	94	19	26	29	8
Mínimo	34	73	15	15	25	7