



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS PRODUCTIVAS EN CONTRATOS DE PREPARACIÓN MINERA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE
EMPRESAS

PABLO ANDRÉS VERA GIGLIO

PROFESOR GUÍA:
IVÁN BRAGA CALDERÓN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ANDRÉS ALEJANDRO MUSIC GARRIDO
GERARDO DÍAZ RODENAS

SANTIAGO DE CHILE
2019

**RESUMEN TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTIÓN Y
DIRECCIÓN DE EMPRESAS
POR: PABLO VERA GIGLIO
FECHA: 09-08-2019
PROFESOR GUÍA: IVÁN BRAGA CALDERÓN**

IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS PRODUCTIVAS EN CONTRATOS DE PREPARACIÓN MINERA

En contexto de industria minera nacional con indicadores de productividad decrecientes, crecimiento mundial deprimido por guerra comercial entre Estados Unidos y China, las expectativas de menor crecimiento han mantenido el precio del cobre cercano a los costos de producción, se instala la necesidad de buscar la eficiencia en los procesos mineros. El proceso de la preparación de minas consta de desarrollar y construir la infraestructura necesaria que permite la extracción de reservas disponibles a fin de ser llevadas a proceso otorgando flexibilidad en manejo de un manto de extracción mayor que permitiría gestionar producción y ley de cabeza.

El presente estudio consideró la implementación de un plan piloto concebido mediante la metodología *Lean Construction* aplicada en escala industrial en dos contratos de obras mineras de la División el Teniente administrados por distintas gerencias y ejecutados por distintas empresas. La metodología utilizada define las etapas de diagnóstico, diseño e implementación para llevar a cabo el estudio.

Se realizó una etapa de diagnóstico en la que se levantó línea base para conocer estado actual de los contratos de preparación de minas a estudiar. El diseño del modelo operativo se orientó a los focos levantados en el diagnóstico y utilizando iniciativas de *Lean Construction* que buscan mejorar la gestión de activos a través de la óptima planificación y estandarización de actividades se obtienen mejores rendimientos de trabajo y mayor tiempo efectivo de utilización de activos.

Los resultados de la implementación llevada a cabo en contrato de Mina Esmeralda presentó desarrollos horizontales con una mejora sostenida, llegando a valores promedios sobre los 130 m/semana, lo que se traduce en incremento mayor al 70% con respecto a línea base levantada en el diagnóstico y una productividad de 62 disparos/set de equipo/mes, lo que significó una mejora mayor al 50% en este indicador.

El resultado de la implementación llevada a cabo en contrato de proyecto Recursos Norte presentó mayor avance en desarrollos horizontales alcanzando valores promedio sobre 160 m/semana con avance por disparo de 3,4 m lo que se traduce en incremento de 31% de metros de avance sobre los rendimientos del caso base y una productividad de 76 disparos/set de equipo/mes, lo que significó una mejora al indicador del caso base mayor al 50%.

El beneficio económico proyectado asciende a 25 MUSD/año, lo que equivale al 14% del presupuesto de preparación anual de minas y sienta bases para ahorro futuro que genera un potencial mayor en la modificación de los contratos apostando a la productividad.

Los resultados de las prácticas implementadas a través del sistema operativo propuesto en los contratos de Esmeralda Sur y Recursos Norte impactan rápidamente en los resultados de las actividades críticas de la preparación minera consiguiendo en el corto plazo cumplimientos superiores en plazo de la ejecución de obras de infraestructura necesaria para la explotación minera subterránea. Con el sistema operativo propuesto se puede capturar el ahorro proyectado modificando la forma de licitar contratos de preparación de minas con foco en la productividad.

II Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Productividad en la División El Teniente.....	2
1.3. Productividad en contratos de desarrollo y construcción minera.....	4
1.4. Benchmark de la industria	5
1.5. Objetivos	9
2. PREPARACIÓN MINERA EN LA DIVISIÓN EL TENIENTE	10
2.1. Antecedentes generales	10
2.2. Preparación minera en División el Teniente.....	11
2.3. Financiamiento de obras de preparación minera	12
2.4. Modelo de negocio para las obras de preparación minera.....	13
2.5. Planificación en la preparación minera	14
2.6. Métodos constructivos de infraestructura para la preparación de minas	17
3. MARCO TEÓRICO	24
3.1. Principios Lean	24
3.2. <i>Lean Construction</i>	25
3.3. <i>Last Planner</i> (último planificador).....	26
3.4. Aplicabilidad en la industria minera.....	30
4. METODOLOGÍA	31
4.1. El caso de estudio	31

4.2.	Proyecto Recursos Norte.....	32
4.3.	Proyecto Esmeralda Sur.....	37
4.4.	Descripción de la metodología.....	42
4.5.	Estudio de simulación para el límite técnico.....	55
5.	RESULTADOS	59
5.1.	Caso de estudio - Proyecto Esmeralda.....	59
5.2.	Caso de estudio - Recursos Norte	63
5.3.	Impacto económico de los resultados obtenidos.....	66
6.	CONCLUSION	68
7.	GLOSARIO	69
8.	BIBLIOGRAFÍA	70

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1-1 Metros de desarrollo horizontal DET desde 2005 a 2017	2
Ilustración 1-2 Productividad sectorial vs EEUU	3
Ilustración 1-3 Productividad minera Chile vs Australia.....	3
Ilustración 1-4 Metros de desarrollo horizontal de EECC en la industria minera	8
Ilustración 2-1 Áreas operativas División El Teniente.....	10
Ilustración 2-2 Sistema de manejo de materiales División El Teniente.....	11
Ilustración 2-3 Reservas Plan de Negocio Divisional 2019	12
Ilustración 2-4 Cumplimiento de programa vs gasto de preparación de minas.....	14
Ilustración 2-5 Esquema de planificación anual Revisión A de preparación de minas DET.....	16
Ilustración 2-6 Ciclo minero.....	17
Ilustración 2-7 Jumbo de avance en obras de minería	19
Ilustración 2-8 Equipo Blind Hole para desarrollo vertical	20
Ilustración 2-9 Trabajo al interior de piques	21
Ilustración 2-10 Obra civil puntos de extracción.....	22
Ilustración 2-11 Muros de confinamiento.....	23
Ilustración 3-1 Principios de la filosofía Lean	25
Ilustración 3-2 Estructura general metodología del último planificador	27
Ilustración 3-3 Evolución de productividad bajo implementación de Last Planner en proyectos	27
Ilustración 3-4 Comparativa entre industria minera y automotriz.....	30
Ilustración 4-1 Matriz de selección de metodologías de investigación.....	31
Ilustración 4-2 Fuentes de información	32
Ilustración 4-3 Clasificación geomecánica sector Recursos Norte	34
Ilustración 4-4 Malla de extracción Recursos Norte	34
Ilustración 4-5 Esquema General de manejo de material del mina Recursos Norte	35
Ilustración 4-6 Layout general de producción mina Recursos Norte.....	36
Ilustración 4-7 Volumen de obras Proyecto Recursos Norte	37

Ilustración 4-8 Clasificación geomecánica sector Esmeralda Sur.....	38
Ilustración 4-9 Malla de extracción Esmeralda	39
Ilustración 4-10 Modificación de malla de extracción Esmeralda 15x24	39
Ilustración 4-11 Disposición de Desarrollos Horizontales Nivel de Producción.....	41
Ilustración 4-12 Habilitadores de aumento de productividad en desarrollos horizontales	42
Ilustración 4-13 Programa de desarrollo e implementación de mejoras	43
Ilustración 4-14 KPI fase diagnóstico	44
Ilustración 4-15 Principales resultados fase diagnóstico	45
Ilustración 4-16 Largas esperas detectadas en actividades de inicio de turno	46
Ilustración 4-17 Línea base horas efectivas - Esmeralda Sur y Recursos Norte	46
Ilustración 4-18 Medición de tiempos de ciclo minero de desarrollo horizontal - Esmeralda y Recursos Norte.....	47
Ilustración 4-19 Pareto de causas de interferencias operativas	48
Ilustración 4-20 Análisis de pérdidas operacionales.....	48
Ilustración 4-21 Pérdidas de disponibilidad en jumbos.....	49
Ilustración 4-22 Análisis de eficiencia de disparos	49
Ilustración 4-23 Resumen diagnóstico planificación.....	51
Ilustración 4-24 Aspiración a septiembre 2018 - Esmeralda.....	53
Ilustración 4-25 Aspiración a diciembre 2018 - Recursos Norte	54
Ilustración 4-26 Rendimientos máximos de preparación de minas 2011-2017	56
Ilustración 4-27 Jornadas de trabajo y estado de frentes UDESS.....	57
Ilustración 4-28 Tiempo de ciclo minero nominal para cálculo de límite técnico	57
Ilustración 4-29 Resultados de simulación de desarrollos horizontales	58
Ilustración 5-1 Resultados a septiembre 2018 - Esmeralda	59
Ilustración 5-2 Impacto de aplicación de quick wins inicio de turno - Esmeralda.....	60
Ilustración 5-3 Ejemplos de estándares implementados inicio y fin de turno - Esmeralda	60
Ilustración 5-4 Aumento tiempo efectivo a septiembre 2018 - Esmeralda	61

Ilustración 5-5 Evolución de disponibilidad jumbos avance a septiembre 2018- Esmeralda.....	62
Ilustración 5-6 Evolución Productividad – Proyecto Esmeralda Sur	62
Ilustración 5-7 Evolución avance horizontal - Recursos Norte.....	63
Ilustración 5-7 Mejoras a sala de control y reunión POD - Recursos Norte	63
Ilustración 5-8 Pérdidas por planificación a enero 2019 - Recursos Norte	64
Ilustración 5-9 Pérdidas por gestión de interferencias a enero 2019 - Recursos Norte	64
Ilustración 5-10 Eficiencia de disparo ANFO vs emulsión - Recursos Norte.....	65
Ilustración 5-11 Evolución de la Productividad [disparos/mes/set de equipo] - Recursos Norte	65
Ilustración 5-12 Productividad [m avance/set de equipo] alcanzada en los contratos.....	66

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

La minería, y en particular la del cobre es la actividad económica más relevante para Chile. De manera directa, la minería del cobre representa más del 15% del PIB directo, aproximadamente el 50% de las exportaciones, es el principal receptor de inversión extranjera directa representando uno de cada tres dólares que entran al país. El sector creció fuertemente en los últimos 60 años. Se triplicó entre 1960 y 1990, y se volvió a triplicar entre 1990- 2016, alcanzando 5.5 millones de toneladas en 2016, lo que hace de Chile el principal productor mundial, con un 30% del total de la producción. El país también mantiene un tercio de las reservas conocidas de cobre, la mayor a nivel global. El cobre nos abre una ventana de oportunidad para profundizar nuestro desarrollo y lograr el progreso económico y social para los chilenos. Dado el fuerte incremento en precios durante los años 2004-2014, no solo aumentó la producción, sino también el costo de producción. Las exportaciones crecieron de un promedio en torno a US\$1.400 millones entre 1960 y 1990 a US\$5.500 millones entre 1990 y 2003, y a US\$34.000 millones durante el llamado “súper ciclo” (2004-2014). Como referencia el valor exportado en 2016 fue de US\$ 28.000 millones. Entre 1994 y 2003 la minería aportó en torno al 6% de los ingresos fiscales, contribución que se triplicó entre 2004 y 2014 alcanzando un promedio anual de 20%. Incluyendo las empresas del Estado (CODELCO y ENAMI), el cobre aportó al fisco US\$96.000 millones en el periodo 2004-2014, un monto diez veces mayor al de la década previa (US\$9.000 millones). Esto permitió la acumulación de más de US\$20.000 millones en los fondos soberanos. A partir de 2015 el aporte retornó a niveles previos al súper ciclo correspondiente al 6% de los ingresos fiscales.

Chile tiene una clara ventaja comparativa en el sector minero en general, y en la minería de cobre en particular, y no puede desaprovechar el potencial que la naturaleza le ha brindado: un tercio de las reservas mundiales de cobre están en Chile. De hecho, ningún país que tenga su actividad económica asociada mayoritariamente a recursos naturales que ha alcanzado el desarrollo lo ha hecho en desmedro de su ventaja comparativa, y Chile no será una excepción. No se trata de centrar nuestro desarrollo exclusivamente en la minería, sino de aprovechar la ventana de oportunidad que ella nos brinda para desarrollar y diversificar nuestra economía. El beneficio para Chile y el atractivo para la inversión minera dependen de la diferencia entre el precio del cobre y sus costos de producción. Chile no controla el precio del cobre ni la ley de su mineral, pero sí puede controlar su productividad y así sus costos. Revertir el deterioro en la productividad de la minería del cobre es fundamental para que esta siga realizando su importante aporte al desarrollo nacional. Parte de la propuesta que hizo la Comisión Nacional de Productividad es generar una estrategia que permita al país recuperar su liderazgo internacional, no sólo en términos de reservas y producción, sino en productividad (Informe Comisión Nacional de Productividad, 2016).

El proceso de preparación minera implica la gestión de todas las actividades de desarrollo y construcción de infraestructura minera, mecánica, eléctrica e instrumentación, utilizada para incorporar un área que permita dar continuidad al proceso de explotación subterránea. Su financiamiento se realiza a través de un presupuesto operacional que se

difiere en una cuota de amortización anual y que representa aproximadamente un 30% del gasto anual del presupuesto de operaciones.

En la actualidad las actividades de preparación minera son ejecutadas en su mayoría por empresas contratistas, las cuales son asignadas mediante procesos de licitación con foco en cumplimiento de plazos y presupuesto.

Las condiciones favorables de costos y flexibilidad laboral experimentadas desde hace un par de décadas permitieron la externalización de muchas actividades, sin embargo, estos últimos años las condiciones han ido decayendo gradualmente debido a la baja productividad de los contratos, costos mayores y relaciones laborales de difícil manejo generando cuestionamiento en los modelos de gestión vigentes en los contratos de preparación minera. Estos hechos, sumado a la variación de precios de los metales y la creciente complejidad de la operación minera asociada a la profundización de los yacimientos, hacen necesario alinear a todos los actores involucrados en la preparación minera con los valores de la organización alineados con la productividad.

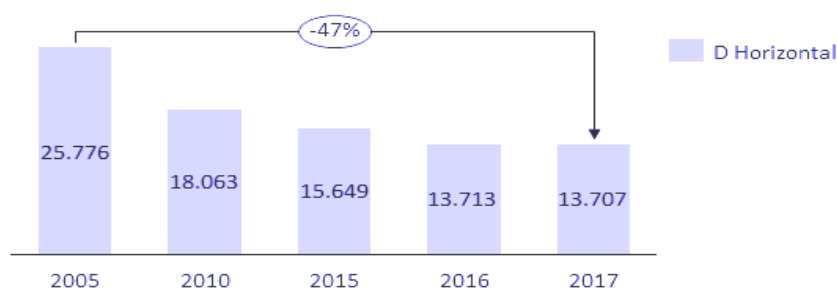


Ilustración 1-1 Metros de desarrollo horizontal DET desde 2005 a 2017

Fuente: GOBM División el Teniente

1.2. Productividad en la División El Teniente

Uno de los principales desafíos que enfrentan los países en vías de desarrollo es la necesidad de aumentar la productividad. Esto debido a que la productividad laboral es el factor que mejor explica las diferencias en el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita entre los países, como indica la Ilustración 1-2 (Comisión Nacional de Productividad, 2016)

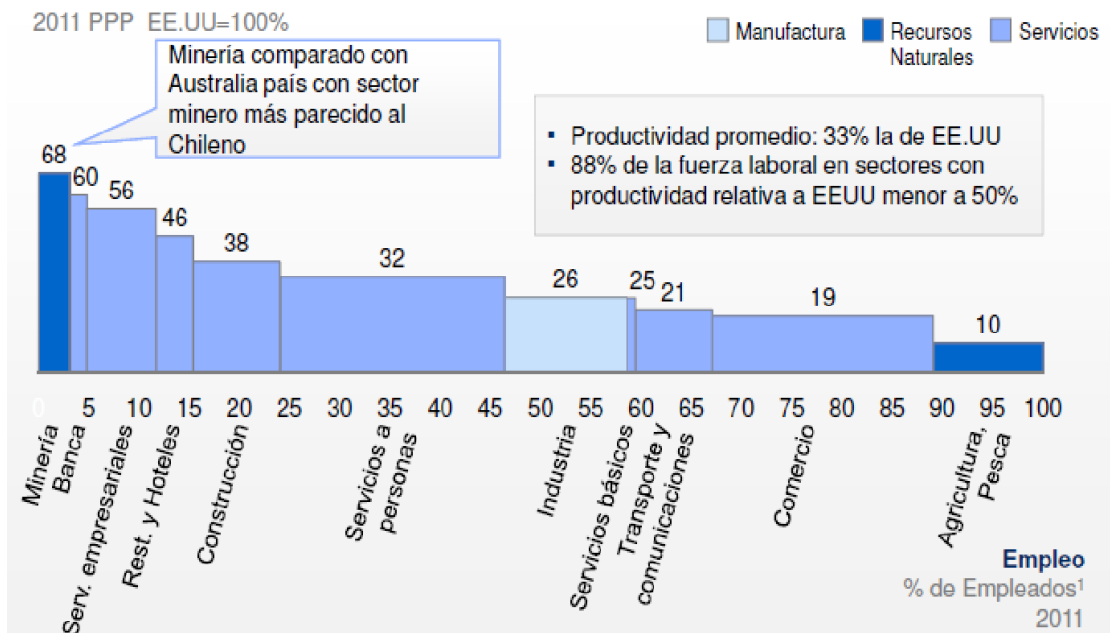


Ilustración 1-2 Productividad sectorial vs EEUU

Fuente: Comisión Nacional de Productividad (2016)

De hecho, la productividad laboral es el mayor elemento diferenciador entre el PIB per cápita de Chile y el de Estados Unidos.

Chile tiene, en promedio, el 33% de la productividad laboral de Estados Unidos (Ilustración 1-2). Además, el 88% de la fuerza laboral de Chile se encuentra en sectores con productividad relativa a Estados Unidos menor al 50% (McKinsey and Company, 2013).

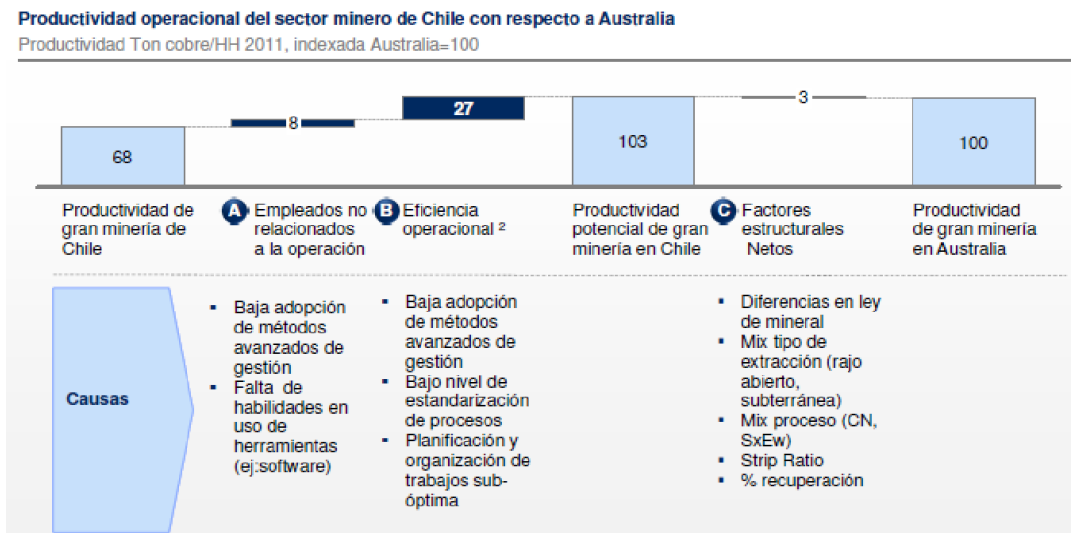


Ilustración 1-3 Productividad minera Chile vs Australia

Fuente: McKinsey (2013)

Es necesario destacar que en la Ilustración 1-3, la industria de la minería se compara con Australia, ya que este país tiene condiciones similares a las chilenas. Se evidencia que en Chile la minería representa el sector con mayor creación de valor respecto a economías desarrolladas.

1.3. Productividad en contratos de desarrollo y construcción minera

El año 2017, la Corporación de Desarrollo Tecnológico, por encargo de la Cámara Chilena de la Construcción y el Consejo Minero, llevó a cabo un estudio a seis empresas contratistas de obras mineras a fin de determinar el estado actual de los proyectos de desarrollo minero. Según señala la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción (2017), algunas características del diagnóstico de los proyectos mineros son:

- El tiempo efectivo de trabajo (porcentaje de la jornada laboral en la que el que el trabajador se encuentra en el frente de trabajo) corresponde al 49% del total de la jornada laboral. Otro estudio realizado en Chile entre los años 2012 y 2013 indica tiempos efectivos de 40% de la jornada laboral (Green, 2013).
- El tiempo perdido equivale al 32% de la jornada laboral y su principal causa es la mala planificación, llegando a alcanzar el 75% del total, es decir, un 24% de la jornada total.
- Las detenciones programadas corresponden al 19% de la jornada laboral y corresponden principalmente a tiempos de traslados y reflexiones de seguridad.
- Existe una alta variabilidad en la duración de traslados y charlas de seguridad, presentando un coeficiente de variabilidad de 65% y 68%, respectivamente.
- Solamente el 37% de la jornada se está agregando valor, es decir, se están llevando a cabo trabajos relacionadas a la ejecución de una actividad, preparación de materiales o movimiento de materiales en el puesto de trabajo.
- Existe una alta variabilidad en los tiempos de acreditación de los trabajadores.
- Algunos sistemas de turnos utilizados traen consigo una mayor pérdida de recursos.

Debido a la baja proporción de tiempo efectivo de trabajo, el que llega a valores de 40% de la jornada, la Cámara Chilena de la Construcción y el Consejo Minero (Cámara Chilena de la Construcción y Consejo Minero, 2017) proponen un desafío al año 2020, a fin de aumentar a un 60% el tiempo efectivo de trabajo, lo que permitiría ahorros de más de 10 millones de HH y más de 300 millones de dólares, considerando la cantidad de trabajo en este tipo de obras en el año 2015 (Cámara Chilena de la Construcción y Consejo Minero, 2017). Cabe señalar que este análisis de impactos considera exclusivamente el aumento de la jornada efectiva de trabajo y no considera el efecto de ninguna mejora en el rendimiento del trabajador, ni en otros procesos.

La caída en productividad desde el año 2000 se dio en todas las faenas mineras, tanto las de mayor como las de menor productividad. En efecto, el boom de precios indujo a todas las empresas a privilegiar la producción, aún a expensas de la productividad, con tal de aprovechar los inusitados márgenes asociados a los altos precios del metal.

Resulta evidente, dadas las importantes brechas en los niveles de productividad registrados, que existe amplio espacio de mejora al interior de las empresas. Existen diferencias de productividad entre yacimientos, incluso luego de corregir por factores geológicos y geográficos. Por ejemplo, a partir de la muestra de grandes empresas utilizada en el estudio de productividad de la Comisión Nacional de Productividad se observa que en el año 2000 las operaciones de menor productividad requerían 82 horas-hombre para mover mil toneladas de material llegando a 162 horas-hombre en 2014; el grupo de productividad media pasó de 26 (2000) a 63 (2014) horas-hombre por kilo tonelada movida; y el grupo de productividad alta pasó de 19 (2000) a 22 (2014) horas-hombre por kilo tonelada movida. Las brechas en niveles entre estos tres grupos y la tendencia a empeorar el desempeño productivo se verifican con este indicador de productividad laboral y también con medidas de productividad total. Se detalla en el mismo informe que la productividad total de factores cayó entre 0.7% y 1.6% anual entre 2000 y 2014 (Comisión Nacional de Productividad, Productividad en la Gran Minería del Cobre, 2017)

1.4. Benchmark de la industria

Del estudio, llamado “Análisis y Mejoramiento de los Indicadores de Perforación y Tronadura en Labores de Desarrollo” (Díaz, 2004), cuyo objetivo fue de investigar los cambios sean necesarios para lograr el máximo avance con la mínima sobre-excavación, efectuando un análisis detallado de cada variable, y su incidencia en el resultado final. Dentro de las conclusiones y recomendaciones más importantes que arrojó un estudio de benchmark realizado por la Superintendencia de Ingeniería de Minas, se puede destacar los siguientes resultados de la actividad minera de desarrollo de minas

- El potencial de mejorar el avance y disminuir la sobre-excavación fue comprobado con este proyecto, por cuanto el avance por tronadura aumentó de 71,8% (2,37 metros) a 84,3% (3,01 metros) con respecto al tiro de alivio, tan solo mejorando los estándares de operación, y aumentó a 94,7% (3,14 metros) al optimizar los diagramas de disparo. La sobre-excavación pasó de 26,2% en el caso base a un 6,6% al final de la segunda etapa; sin embargo, también se observó que en la tercera etapa se estaba volviendo a las prácticas anteriores, debido a que se no se efectuó el seguimiento personalizado que tuvo la etapa con mejoras implementadas.
- La manera de lograr consistencia en los resultados en el tiempo es mediante la redacción y aplicación de estándares, en forma similar a las normas y al chequeo permanente de su aplicación. Mientras no se mejoren los estándares operacionales, y exista consistencia en los resultados en el tiempo, el beneficio de aplicar nuevas técnicas, diagramas, explosivos u otros, solo será marginal.
- Se requiere un seguimiento y re-entrenamiento personalizado con el cual cada operador sepa claramente sus virtudes y sus falencias, potenciando las primeras y reduciendo las segundas.

- Es de vital importancia hacer chequeos independientes, con frecuencia definida de tiempo, de la calidad del trabajo. Este chequeo debe involucrar el reentrenamiento cada vez que sean introducidos cambios, tanto en la perforación como en el carguío de explosivos y en donde se evalúen permanentemente los procedimientos operacionales.
- Algunos de los resultados obtenidos en la tercera etapa, tales como longitud de perforación y cuadratura de la frente, son parecidos al del caso inicial, sugiriendo que, al disminuir el control de lo que se está haciendo, los operadores vuelvan rápidamente a sus hábitos normales de trabajo. Por lo tanto, para lograr mejoras sustanciales, es necesario realizar un control permanente en el tiempo de las prácticas operacionales, de tal forma de descubrir en cada caso las deficiencias y corregirlas.
- Los turnos deberían trabajar en forma más coordinada debido a que, en general, cada turno intenta efectuar el ciclo completo de perforación y tronadura obligando a las cuadrillas a trabajar contra el tiempo y de este modo se cometen errores como por ejemplo, perforar menos tiros, perforar desviado, cargar con presión inadecuada, no conectar algunos tiros, usar un detonador fuera de secuencia, entre otros.
- Se recomienda que se genere un diagrama estándar por tipo de roca, se difunda adecuadamente, se marque en forma correcta, se chequee la desviación de los tiros, solo se cuadre la frente cuando sea estrictamente necesario y bajo la supervisión del jefe de turno, se perfore el largo completo de la barra, se cargue con la presión adecuada, se coloquen los detonadores de acuerdo al diseño y sean conectados todos los tiros a la línea de salida por una sola persona de modo de llevar la cuenta.

Entre los resultados es importante destacar lo siguiente:

- El marcado de los tiros es dejado al criterio y experiencia de la persona que lo marca, en general el perforista, no existiendo un criterio unificado.
- El empate de los tiros, a pesar de ser usualmente efectuado por la misma persona que lo marcó, muestra diferencias de hasta 50 centímetros entre la posición marcada y la posición perforada.
- Las longitudes de perforación son de variada índole, con una media de 3,30 metros para el tiro de alivio y una media de 3,46 metros para el resto de los tiros, considerando una barra de 4,0 metros. Usualmente esto se debe a que el jumbero efectúa la llamada “cuadratura de la frente” en todos los disparos.
- La desviación de los tiros de la rainura era de 6,7%, en que el área en la frente tenía un promedio de 1,27 m² y la posterior de 1,73 m². Lo cual claramente indica que la tendencia es a abrir los tiros debido al temor de que estos corten el tiro de alivio.
- La desviación de los tiros de contorno alcanzó a 15,0% siendo que la inclinación aceptable es menos de un 2%.

- El avance por tronadura pasó de 2,37 metros a 3,01 metros, es decir 0,64 metros de mayor avance con 0,13 metros más de perforación, solo mejorando los estándares de operación.
- La sobre-excavación, para el caso de Andesita en mina Esmeralda, alcanza a 26,2%; la cual es básicamente causada por la desviación de los tiros, tanto del contorno como de los auxiliares del contorno. En la segunda etapa, la sobre-excavación fue disminuyendo progresivamente, disparo a disparo, hasta llegar a 6,6%.
- Con respecto al carguío de los tiros, se observó que en algunas ocasiones los detonadores se encuentran fuera de secuencia, en particular cuando se han perforado tiros fuera de lugar.
- La presión de carguío del Anfo ha llegado a mínimos de 44 psi, lo cual afecta fuertemente en confinamiento del Anfo y por ende la eficiencia de ese disparo.
- La conexión del disparo, al ser efectuada contra el tiempo, es realizada por más de una persona, y en algunas ocasiones se han quedado tiros sin conectar o conectado erróneamente.

El benchmarking realizado en el mismo estudio fue realizado en las minas Andina, El Salvador y El Soldado. Hay algunos resultados interesantes, entre los que se pueden mencionar:

- El marcado de los tiros es dejado al perforista y en general se hace de la misma manera, es decir, con un coligue, una huincha y pintura. La única diferencia es el uso de esmalte en vez de látex.
- El diagrama de disparo utilizado proviene de un diseño al cual no se le deben efectuar modificaciones. En algunos casos estos diagramas están adaptados a los diferentes tipos de roca.
- El tamaño de las galerías es bastante similar, así como lo son los diagramas de disparo.
- En ninguna otra operación se utiliza el jumbo de avance para acuñar la frente. El acuñado es efectuado manualmente. Los avances por acuñadora en las otras operaciones son despreciables.
- En cuanto a la perforación de los tiros, estos son bastante parecidos ya que son de 45 mm, con un tiro hueco de 3".
- El orden de perforación es similar, siempre comenzando por las zapateras
- Las longitudes perforadas son similares, es decir, del orden de los 4 metros teóricos, con la diferencia que las otras minas no efectúan la cuadratura en todos los tiros tal como se hace en El Teniente.
- Las inclinaciones aceptables para los tiros son del rango del 2 al 3%; sin embargo, estas tienen un mínimo de 5% en el Soldado a un rango de 10 a 12% en el resto de las minas.
- El paralelismo automático de los jumbos es utilizado solo en una de las minas y solo por algunos de los contratistas.
- El consumo de explosivos es similar en todas las faenas
- No se utilizan tacos en los tiros
- La presión de carguío del ANFO no es medida, aun cuando algunos equipos tienen manómetros, pero en general se encuentran en mal estado

El avance topográfico es similar en todas las operaciones, incluyendo El Teniente, por cuanto todas ellas tienen avances entre 90 y 94%. La diferencia es que en las otras operaciones el avance por la tronadura es básicamente el mismo y en el caso de El Teniente solo alcanza a 71,8%.

En resumen, el benchmarking muestra que las operaciones son similares en todas las minas visitadas, con problemas operativos similares. Las diferencias principales son el avance por tronadura, la sobre-excavación, la cuadratura de la frente, el uso del paralelismo automático del jumbo, el acuñado utilizando el jumbo de avance y el explosivo utilizado para el contorno. La revisión de datos disponibles respecto a rendimientos de avance por contrato se realizó a empresas que en la actualidad prestan el servicio de preparación de minas en minería subterránea, las diferencias son atribuibles a 3 variables:

1. Número de frentes
2. Número de set de equipos
3. Profundidad de la excavación

En la Ilustración 1-4 evidencia diferencias entre contratos de desarrollos horizontales. En el proyecto Chuquicamata Subterráneo de la División Chuquicamata de CODELCO se evidencian rendimientos mensuales sobre 1700 m, con 6 equipos de avance trabajando cada uno de ellos en varias frentes sin mayores interferencias con otras operaciones, pues aún no se inicia la PEM del proyecto. Por su parte en la operación de desarrollo horizontal del Nuevo Nivel Mina se evaluó el desarrollo de un único túnel (frente única) con un set de equipos de desarrollo a gran profundidad y que está mermado en su ciclo minero por tener que operar con ventanas de trabajo por generar interferencias productivas.

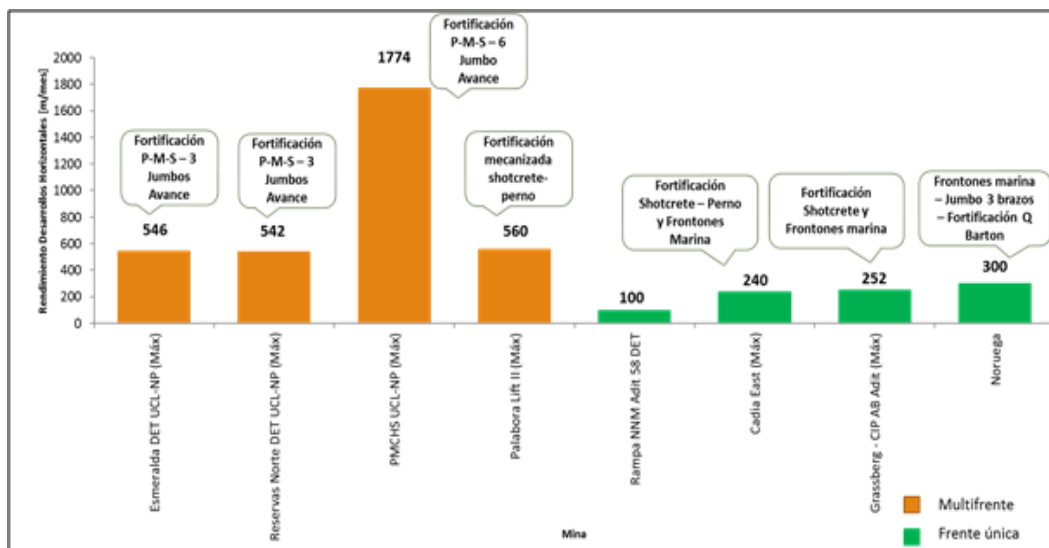


Ilustración 1-4 Metros de desarrollo horizontal de EECC en la industria minera

Fuente: Análisis y Mejoramiento de los Indicadores de Perforación y Tronadura en Labores de Desarrollo (Díaz, 2014)

1.5. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo general diseñar, implementar y evaluar un sistema operativo industrial para dos contratos de preparación de minas, con foco en productividad de factores productivos de trabajo y capital proponiendo una modificación al modelo y a las prácticas vigentes a fin de adelantar el inicio de la explotación de mineral en una mina subterránea.

Objetivos específicos

- Diseñar modelo operacional y de gestión para la preparación de minas que mejore la administración de recursos disponibles para las actividades de un plan de obras
- Implementar mejores estándares de operación a fin de aumentar tiempos efectivos de trabajo en nuevos contratos de preparación de minas
- Implementar metodología de planificación que haga eficiente la asignación de recursos minimizando las interferencias con operación aledaña
- Identificar variables que inciden en rendimientos actuales del ciclo minero, realizar un análisis de cada etapa del ciclo y efectuar recomendaciones
- Lograr mejor eficiencia de avance con menor sobrecavación modificando y controlando los procedimientos de operación y seleccionando los mejores diagramas de disparo
- Controlar y medir impacto de iniciativas implementadas

2. PREPARACIÓN MINERA EN LA DIVISIÓN EL TENIENTE

2.1. Antecedentes generales

La División El Teniente es un complejo productivo que considera entre sus instalaciones una mina subterránea, una mina a Rajo Abierto, las plantas de beneficio de mineral de Sewell y Colón, la Fundición de Caletones y las instalaciones de infraestructura propias de una explotación minera a gran escala: Sistema de suministros de agua, energía eléctrica, logística de entrada y salida de productos, manejo de residuos y desechos industriales, entre otros. La siguiente figura ilustra las principales áreas operacionales del complejo El Teniente.

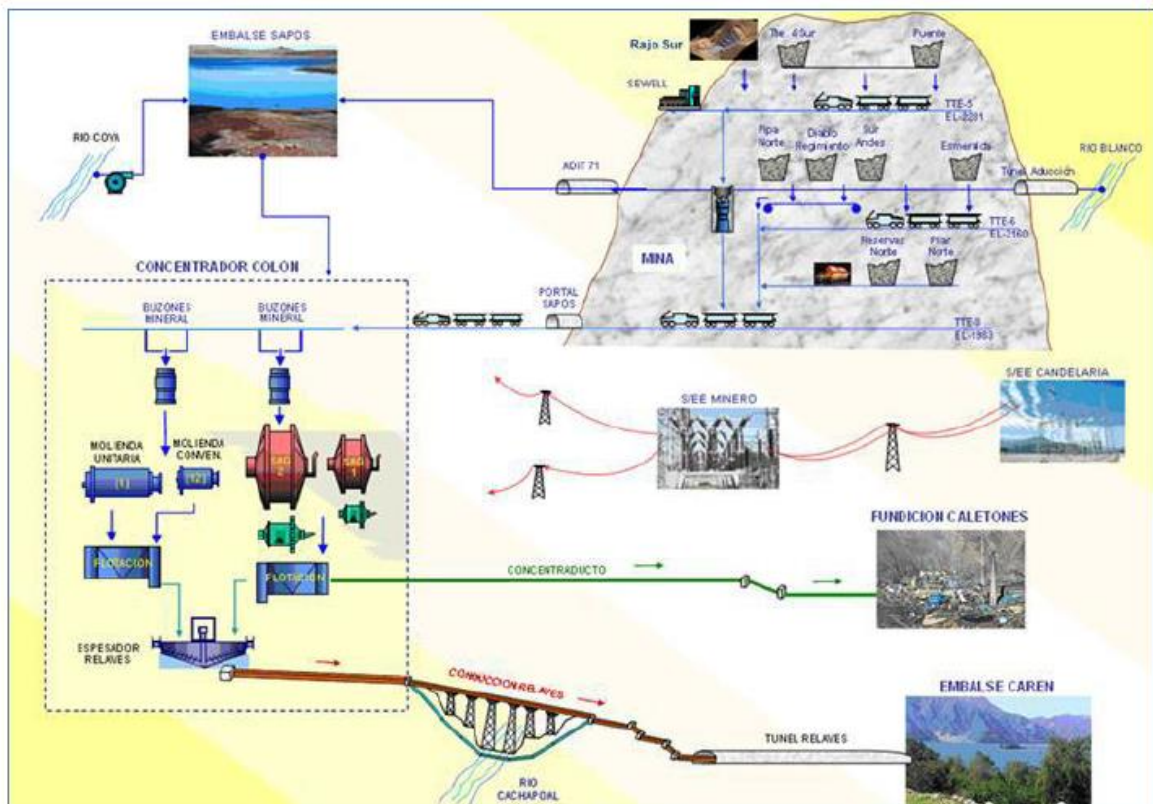


Ilustración 2-1 Áreas operativas División El Teniente

Fuente: Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo DET

La actual explotación subterránea está integrada por ocho minas que utilizan métodos de hundimiento diferentes, operaciones mecanizadas con LHDs, que conducen el mineral a piques que conectan a transporte intermedio. Éste puede ser vía LHD, camiones, correas o ferrocarriles que conducen el mineral a piques de traspaso de mineral u *ore passes* (OP) que conectan con el transporte principal de FFCC Teniente 8, el cual traslada el mineral a las plantas de chancado-molienda-flotación de Colón. El mineral del rajo abierto alimenta vía camiones y OP al Ferrocarril Tte.5 Norte a la planta de chancado-molienda de Sewell.



Ilustración 2-2 Sistema de manejo de materiales División El Teniente

Fuente: Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo DET

2.2. Preparación minera en División el Teniente

La preparación minera es una disciplina que tiene la función de gestionar las actividades relacionadas con el desarrollo y construcción de infraestructura de mina subterránea, a través del cumplimiento de un programa de preparación que debe sustentar a las áreas productivas para incorporar unidades de producción necesarias para cumplir con el plan minero de producción, con una visión sistémica que considere tanto las diferentes fases de ejecución de un proyecto (ingeniería de detalle, adquisiciones, construcción y puesta en marcha), como el alcance, plazo, costo y satisfacción del cliente, permitiendo asegurar los resultados proyectados, optimizando los recursos puestos a disposición del proyecto y alcanzar los objetivos establecidos, contribuyendo a maximizar en el largo plazo el valor económico de la división y de la corporación (Camhi, 2012)

Para entregar un contexto de lo que significa el negocio de la preparación minera se entregan antecedentes de las reservas a extraer que sustentan las estrategias del negocio minero a largo plazo. A continuación, se presentan las reservas requeridas en el Plan de Negocio Divisional 2019 (PND) (Ilustración 2-3), las que se obtienen a partir de una cantidad de obra mayor desarrollada y construida por la preparación de minas

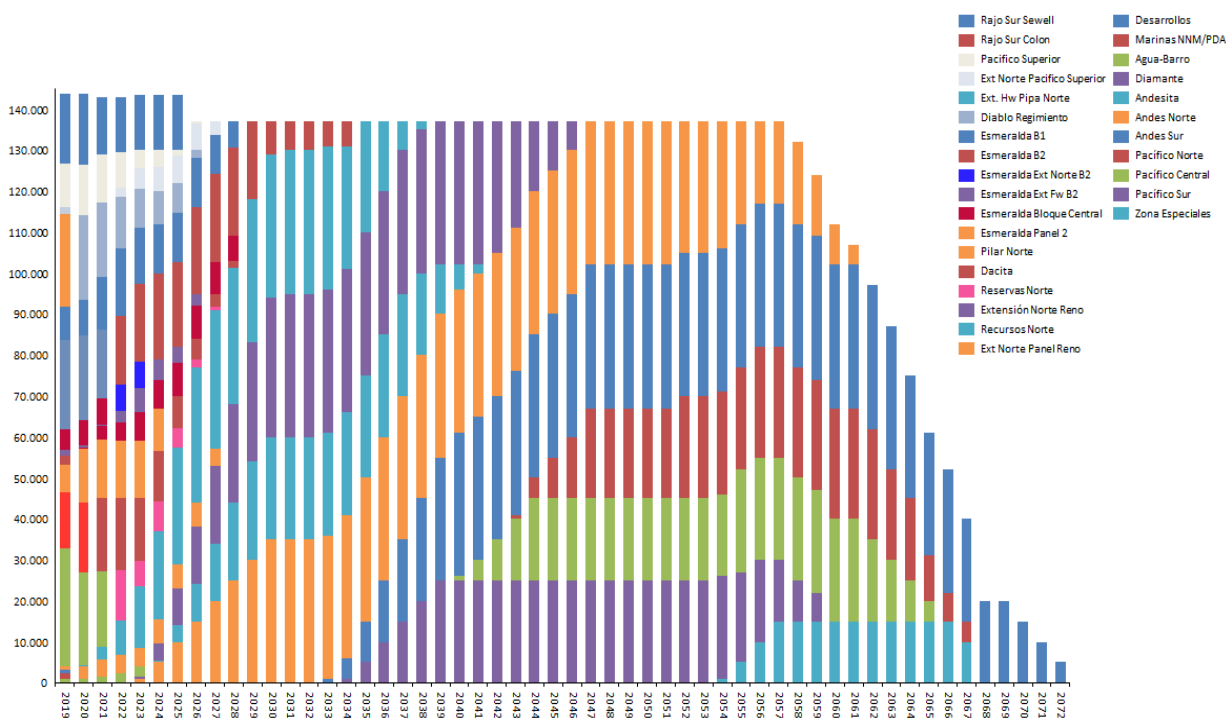


Ilustración 2-3 Reservas Plan de Negocio Divisional 2019

Fuente: Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo DET

A lo largo del tiempo la preparación minera en la División El Teniente se ha enfrentado a diferentes desafíos debido a que el método de explotación requiere la permanente expansión de la mina con el objeto de incrementar el área preparada para incorporar a producción, asegurando mantener ritmos de producción nominales. En este contexto la preparación de obras mineras en forma oportuna, con bajos costos y mejores estándares de calidad, buscando el cumplimiento de los planes productivos Divisionales resulta necesaria para mejorar resultados, lo que resulta particularmente necesario en escenarios de orientaciones comerciales desfavorables.

2.3. Financiamiento de obras de preparación minera

En CODELCO existen dos formas distintas de financiamiento de proyectos de desarrollo minero:

- Mediante AGD correspondiente a un presupuesto operacional que se difiere en una cuota de amortización anual y que representa el alrededor de un 30% del presupuesto de operaciones. Este presupuesto requiere la aprobación del Directorio de la Corporación.
- Mediante API correspondiente a los montos aprobados para la generación de todo tipo de proyectos de la corporación, destinados tanto a mantener la producción como al incremento de ésta. Estos montos son aprobados por el ministerio de hacienda y fiscalizados por COCHILCO y se gestionan en la Corporación a través

de cada unidad de negocio o de una entidad denominada Vicepresidencia de Proyectos (VP) para los proyectos de mayor envergadura.

El presupuesto operacional, corresponde a la valorización de todos los recursos necesarios para sustentar un plan de operaciones traducido en un programa de cobre fino (tmf) presupuestadas para un año determinado el que incluye la cuota diferible de gastos en obras de preparación minera de sectores en producción.

2.4. Modelo de negocio para las obras de preparación minera

Durante los últimos veinte años la preparación minera de la División el Teniente ha pasado por diferentes administraciones al interior de la estatal, esto sumado a mayores exigencias en estándares constructivos y dificultades geológicas asociadas a aumento de cargas litostáticas o profundidad del yacimiento, el incremento de la complejidad constructiva obliga a sumar actividades al ciclo de desarrollo y construcción asociado a la preparación minera, afectado su ejecución, rendimientos y cumplimiento de los planes establecidos.

Los años previos al 2004 en la División el Teniente de CODELCO las actividades de preparación estaban a cargo de la Gerencia de Minas. Debido a que el objetivo principal de ésta es el cumplimiento de los planes de producción, en desmedro de la ejecución de las actividades de preparación de minas, pasaron a ser un objetivo secundario para la organización. Durante este período, la ineficiencia y los retrasos en la entrega de las obras obligaron a la administración a modificar la estructura organizacional dando un vuelco a los cumplimientos que sostenían un cumplimiento de los programas de trabajo en torno al 70%.

Producto de lo anterior, se crea la Dirección de Preparación Minera (hoy Gerencia de Obras Mina), grupo especializado e independiente de la Gerencia de Minas, con responsabilidad total sobre la administración y ejecución de las obras. Este cambio organizacional derivó en un cambio la estrategia de ejecución de las obras, pasando a un modelo de negocio altamente externalizado, donde las obras son ejecutadas por empresas contratistas a través de contratos de mediano-largo plazo, con el objetivo de otorgar a las empresas participantes mayores oportunidades de crecimiento e inversión, perfeccionamiento de su personal e incorporación de nuevas tecnologías.

Posterior a estas modificaciones organizacionales, se observa una clara mejora en el cumplimiento del programa de obras, el cual se mantiene de forma sostenida en valores sobre el 90% durante los últimos cinco años (Ilustración 2-4).

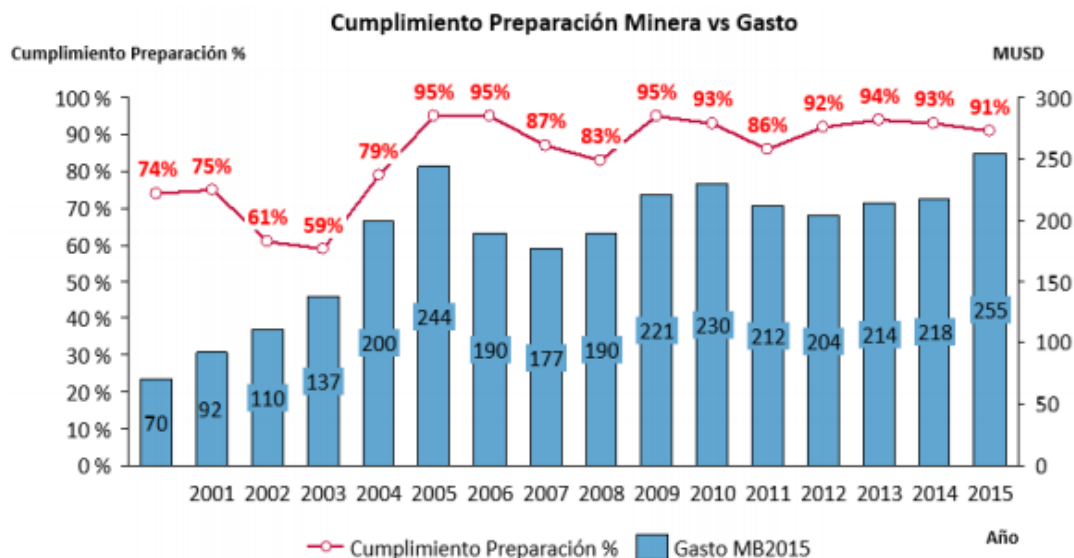


Ilustración 2-4 Cumplimiento de programa vs gasto de preparación de minas

Fuente: Metodología para el Cálculo y Seguimiento de Productividad en la Preparación Minera para Minería Subterránea de Block/Panel Caving en División El Teniente (Navarro, 2017)

2.5. Planificación en la preparación minera

La planificación de minas de la División El Teniente es desarrollada en sus distintas instancias por la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo (GRMD), específicamente por la Superintendencia de Largo Plazo y por la Superintendencia de Gestión Producción, complementado por la Unidad de Planificación de la Gerencia de Proyectos, en el caso de los proyectos liderados por la Gerencia de Proyectos de la DET.

La programación de la preparación de minas se realiza en tres etapas, cada una de las cuales requiere distinto tipo de información de entrada y grado de detalle en su elaboración. Fundamentalmente, los programas de preparación se realizan en tres horizontes de planificación:

Largo plazo (Mayor a 5 años)

Para su elaboración se utiliza una base anual o quinquenal en base a factores tecnológicos, los cuales representan niveles de actividad en base a la incorporación de área anual. Para la construcción de la programación de largo plazo se requiere de la siguiente información de entrada:

- Área a socavar/incorporar por período, la cual se obtiene de los Planes de Negocio Divisional (inmerso en plan de preparación minera de programas exploratorios).
- Planos de disposición general, diseño civil, perforación y tronadura para estimar los factores tecnológicos.

El principal producto que entrega esta programación son volúmenes globales de preparación, construcciones y perforación radial.

Quinquenal

Los programas quinquenales se realizan con períodos de planificación de 1 a 5 años en una base de cálculo anual y son confeccionados por la Superintendencia de Largo Plazo de la GRMD durante el mes de septiembre. Para su generación se utilizan planos de ingeniería conceptual o básica, requiriendo mayor nivel de detalle que los planes de largo plazo. Para la elaboración de esta programación requiere de la siguiente información de entrada:

- Área a socavar e incorporar por período.
- Planos de disposición general de diseño minero, civil y perforación y tronadura.
- Facilidades, tales como energía eléctrica, ventilación, accesos, vaciaderos de marina, etc.
- Rendimientos mensuales o anuales.

Los productos que genera esta programación corresponden a volúmenes anuales de preparación, tanto de desarrollos horizontales y verticales, obras civiles y perforación y tronadura asociados a cada sector productivo o proyecto que entrará en operaciones durante el quinquenio.

Además, se entregan planos con la programación de las actividades principales (desarrollos, construcciones, perforación y tronadura) para cada nivel de los sectores productivos involucrados.

Anual

La programación anual de la preparación minera se realiza en dos etapas:

Programa Anual Revisión A

Esta programación la realiza la Superintendencia de Largo Plazo quienes, sobre una base de cálculo anual, presentan durante el mes de agosto de cada año un programa que requiere la siguiente información:

- Avance de Programa Preparación Minera Revisión B en curso.
- Planos de Ingeniería de Detalle de cada sector en Preparación.
- Programa Producción Revisión 0, con requerimiento de área a incorporar.
- Facilidades (energía eléctrica, ventilación, accesos, vaciaderos de marina, etc.).
- Fichas geomecánicas desarrolladas por la Dirección de Geomecánica de Estudios del PND vigente.

Los productos de esta programación corresponden a los volúmenes de obras considerados en el Presupuesto de Preparación y que son la base de las Autorizaciones de Gastos Diferidos (los AGD).

Programa anual Revisión B

Este programa es elaborado por la Superintendencia de Gestión Producción y se realiza en una base mensual, además la fecha de emisión corresponde al mes de enero de cada año.

Para la realización de este programa se analiza la siguiente información:

- Programa Preparación Minera Revisión A emitido el año anterior
- Planos de Ingeniería de Detalle de sectores en preparación
- Programa Producción Revisión 2 (con nuevos requerimientos del área a incorporar).
- Facilidades (energía eléctrica, ventilación, accesos, vaciaderos de marina, etc.).
- Rendimientos mensuales históricos.
- Estado de contrato de obras y calendario de licitaciones.

Los productos generados en esta programación corresponden a la planificación mensual detallada de las obras requeridas, para cada sector productivo, para lograr sustentar el programa de producción Revisión 2.

Al ser un programa mensualizado, permite una visualización más directa por parte de operaciones mina y así evaluar las obras contempladas de cada sector. Además, el Programa Revisión B es utilizado para conocer los compromisos mensuales de avances e indicar el cumplimiento a la fecha.

En la Ilustración 2-5 se presenta un esquema de planificación anual en la División El Teniente

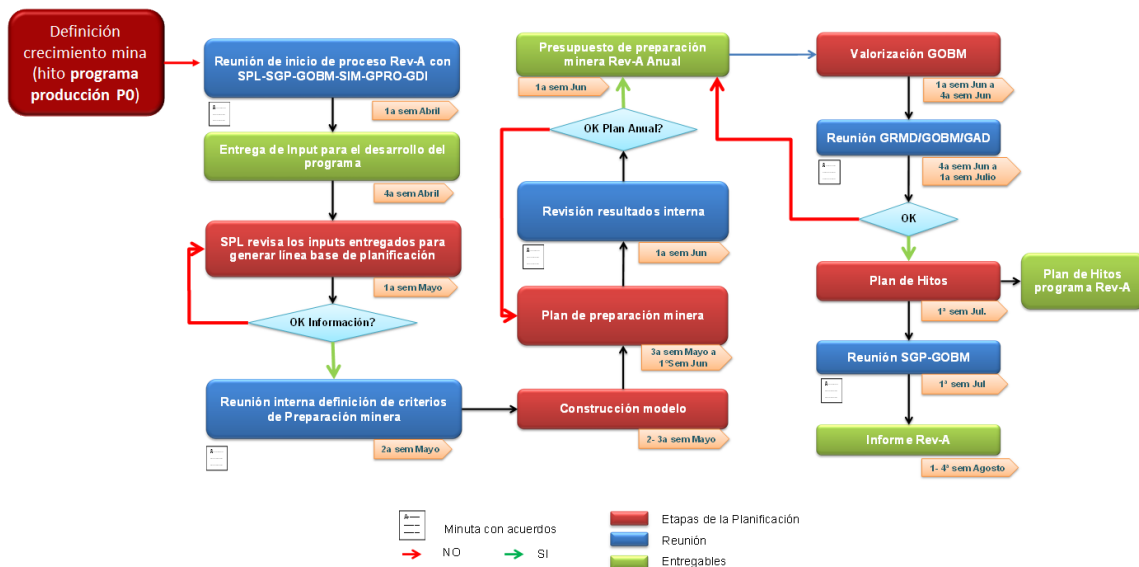


Ilustración 2-5 Esquema de planificación anual Revisión A de preparación de minas DET

Fuente: Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo DET

2.6. Métodos constructivos de infraestructura para la preparación de minas

Por lo general, los proyectos de preparación de minas siguen un esquema de construcción de infraestructura que define una serie de obras principales. Para la construcción de esta infraestructura se deben habilitar instalaciones provisorias como por ejemplo oficinas, bodegas y talleres que permitan la correcta supervisión, operación y mantención de los trabajos involucrados.

La preparación minera contempla desarrollo de obras mineras, construcción e obras civiles y de montaje y habilitación de suministros requeridos para operar. Del estudio realizado a los programas de obras se identificó que cada etapa del ciclo de desarrollo y construcción tiene criticidad en la medida que ingresa a la ruta crítica del proyecto, es por ello que para hacer más productivo el ciclo de la preparación se debe enfocar los esfuerzos en gestionar las actividades que requieren más recursos, esto corresponde al ciclo minero del desarrollo horizontal. El ciclo minero corresponde a una serie de actividades que se deben ejecutar en serie para lograr el desarrollo de un tramo de roca a perforar, las etapas se detallan en la Ilustración 2-6.

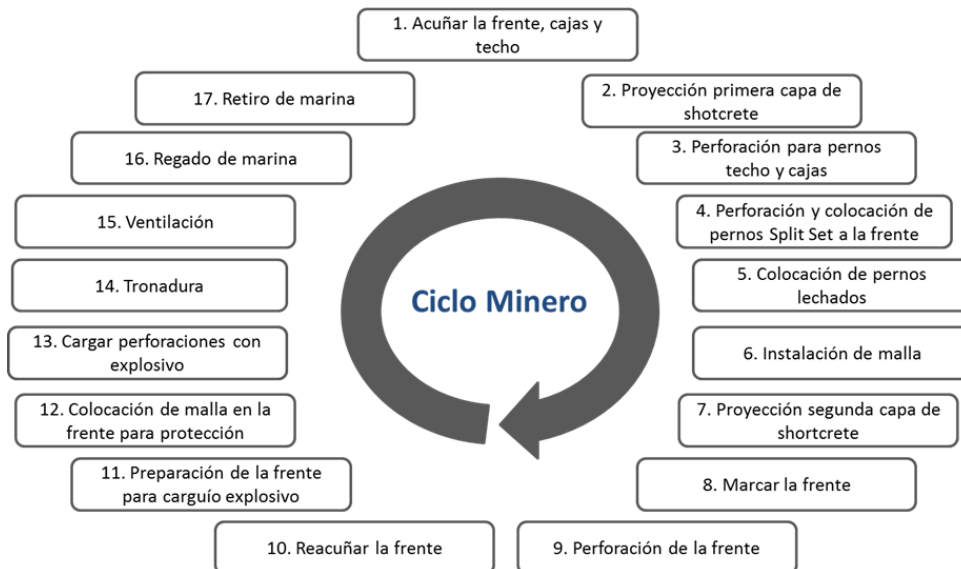


Ilustración 2-6 Ciclo minero

Fuente: Elaboración propia

La resultante de cada ciclo de desarrollo horizontal es una labor fortificada de dimensiones definidas. La gestión del ciclo minero mejorará la productividad toda vez que con el mismo recurso se logre disminuir los tiempos de las actividades del ciclo o se consiga aumentar la eficiencia del disparo (% largo de disparo real/largo de diseño) mediante el control de calidad de la perforación.

2.6.1 Desarrollos horizontales

Los desarrollos horizontales corresponden a excavaciones en roca, la tecnología más usada en la industria minera es la **perforación y tronadura**. Para la perforación de las frentes de desarrollos en los niveles principales se utilizan equipos jumbos de 2 brazos, los cuales están equipados con un brazo telescópico para la perforación de los pernos.

El carguío de explosivo en la frente de desarrollo se realiza con cargadores de ANFO de 50 Kg de capacidad y para el accionamiento de los cargadores se utilizan compresores con capacidad suficiente para confinar el ANFO en los tiros perforados. La modalidad tecnológica de carga de explosivo en la frente corresponde al uso de emulsión con camiones que bombean directamente el explosivo a través de un pistón hacia el interior de los tiros perforados.

Para la **extracción de marina** se utiliza cargador o pala LHD, tipo Scoop, el que dependiendo de las dimensiones de las galerías puede tener diferentes capacidades y tamaño

La **acuñadura** o actividad de retiro de diaclasas o materiales sueltos en la frente recién abierta, esta etapa se efectúa forma mecanizada y manual, desde una grúa con elevador hidráulico la que debe contar con una jaula protectora como una medida de seguridad. Hoy se exige que los desarrollos se lleven con **fortificación** completa a la frente para ello se requiere de perforación de los pernos definitivos para lo cual se utilizan los mismos jumbos utilizados en la perforación de la frente con su brazo telescópico, además se perfora hacia la frente para la instalación de pernos tipo split o pernos de seguridad de la frente, fortificación provisoria que permanece hasta el siguiente disparo de avance. La instalación de pernos se realiza desde un elevador hidráulico, el cual cuenta con una jaula protectora. La inyección de la lechada se realiza con máquina de accionamiento eléctrico. Para la instalación de la malla de fortificación, se utiliza la misma plataforma, acuñando previamente la zona donde se instalará la malla. Esta malla se coloca separada de las cajas y techo por medio de separadores. Se fija a la galería por medio de los pernos y tacos de sujeción del tipo hilti. Una vez terminada la colocación de la malla, se procede a la proyección de doble capa de shotcrete, el que debe ser proyectado o lanzado con equipo robotizado con compresor a bordo.



Ilustración 2-7 Jumbo de avance en obras de minería

Fuente: Elaboración propia

Para la **fortificación** con cables, utilizada principalmente en intersecciones de calles y zanjas, se utilizan jumbos radiales de un brazo, equipados con una mordaza hidráulica de grandes capacidades a objeto de hacer perforaciones de largos variables para asegurar estabilidad en sectores de mayor área abierta de cavidades mediante la instalación de cables lechados y posteriormente tensados.

2.6.2 Desarrollos verticales

Según las ubicaciones de los desarrollos verticales y los diámetros de perforación, en la mina El Teniente se utiliza un sistema principal de desarrollo vertical que es el Sistema **Blind Hole**. El método de construcción de chimeneas *Blind Hole*, consiste en la utilización de una máquina electrohidráulica para la excavación de chimeneas en forma ascendente (Autio, 1996).

En esta metodología el equipo se instala en el nivel inferior y la operación consiste en perforar el tiro guía 60 centímetros adelantados al escariador, que va excavando a sección completa, posteriormente, en forma solidaria. El material excavado cae por gravedad al nivel de la máquina y será guiado por un colector para prevenir riesgos.



Ilustración 2-8 Equipo Blind Hole para desarrollo vertical

Fuente: Elaboración propia

El empuje se obtiene de los sistemas hidráulicos de bombas de alta presión y la rotación de un motor eléctrico de capacidades cercanas a los 250 hp. Para alcanzar la altura de excavación se adicionan en el cuerpo de la máquina barras especiales, que permiten ir avanzando en altura con el desarrollo de la chimenea. La autonomía del método, en este tipo de equipos, es de hasta 100 metros de altura. Los equipos disponibles en Chile son para diámetros de entre 0,7m y 1,5m.

Fortificación de piques de vaciado

Esta actividad, corresponde a una obra complementaria a la perforación o construcción de piques, para esta actividad se utiliza la misma infraestructura utilizada para el desquinche del pique. Se realiza limpieza alrededor del pique con el objetivo de evitar caídas de materiales al interior del pique. Se debe realizar un tapado sobre el punto de vaciado que debe ser movable con el fin de sacarlo cada vez que ingrese anillos metálicos, pero una vez colocado éste tapado debe quedar hermético para evitar caídas de materiales al interior del pique, solo tendrá la escotilla de acceso por escalera la cual debe sobresalir mínimo 0.80 m. Para introducir los anillos al interior del pique se enganchará la piola del huiñche a estrobos además, se amarrará con dos cables o cordeles resistentes (polipropileno) para mantener cilindro al centro del brocal, se afirmará con un tecele para evitar que cuando lo levante el huiñche no se desplace bruscamente al centro del brocal. Por medio de maniobras del huiñche, tecele y cuerdas

se baja cilindro hasta dejarlo posicionado en las guías de cañería para deslizarlo hasta interior del pique y postura deseada.



Ilustración 2-9 Trabajo al interior de piques

Fuente: Elaboración propia

Una vez que el cilindro se encuentre en interior del pique y en la posición deseada, deben bajar operarios a darle la ubicación definitiva al anillo. El anillo se apoyará en las patas mineras que se colocan antes de bajar el anillo y son las que sostienen el anillo en su cota respectiva. El personal que se encuentra en interior del pique debe dar la posición definitiva de acuerdo a ejes topográficos por intermedio del huinche, tecles y gatas. Posicionado el anillo correctamente se procede a fijarlo. Luego comienza la faena de hormigonado que se efectúa una vez que se hayan montado 2 líneas de anillos completos en cada etapa de 2 m para el hormigonado del pique se utilizan tuberías de tal forma de evitar la disgregación del hormigón.

2.5.3 Obras civiles

Las obras civiles están dadas básicamente por la ejecución de trabajos de hormigón, sea este armado o simple, las principales obras de civiles corresponden a puntos de extracción, muros de confinamiento y carpetas de rodado.

Puntos de extracción

La primera etapa de la construcción de un punto de extracción es la fortificación de la visera, por lo que se procede a la instalación de los cables con los cuales se fortifica la zona. Para que se pueda realizar en forma completa esta actividad, se deberá contar con la zanja conectada. Esta actividad considera la utilización de un jumbo de 1 brazo, el cual está equipado con una mordaza hidráulica, la cual sujeta las barras al momento de cambio de barras. Para la instalación de los cables de la visera, se debe contar con un equipo manipulador telescópico equipado con una plataforma, además de una máquina mezcladora de cemento hidráulico con agua a una dosis que determinada llamada

roboshot. Los cables deben ser tensados posteriormente con equipo tensor hidráulico de acuerdo a los requerimientos de diseño. Una vez concluida la fortificación con cable se iniciará la instalación de los pernos de anclaje de la armadura.

Para la instalación de la armadura se utiliza un carro de moldaje de construcción de muros. Para obtener el rendimiento requerido se debe contar con cuantos carros como sectores o posturas a ejecutar se requieran. Para la construcción del punto de extracción, esta se inicia con el montaje de la armadura, luego se procede a la colocación del moldaje para finalmente hormigonar los puntos de extracción (ver figura X) evitando que queden cavidades producto de un mal hormigonado. Para impulsar el hormigón se utiliza una bomba de pistones.



Ilustración 2-10 Obra civil puntos de extracción.

Fuente: Elaboración propia

Carpetas de rodado

Para la construcción de las carpetas de rodado, se realiza el levantamiento topográfico correspondiente, escarpe y limpieza de piso logrando llegar a roca viva soplada y lavada, para proceder con la colocación del hormigón de relleno (emplantillado) a cota a -1,00 m de la gradiente.

Conseguido el relleno se procede a la colocación de la carpeta respetando las pendientes de proyecto. El hormigón a emplear es de 700 kgf/cm² (tipo H-70 Mpa), colocándose en tramos de 3 metros alternados aplicando compactación de este hormigón con vibradores de inmersión, una vez pasado las 24 horas de fraguado se realizará corte longitudinal (junta de contracción) para evitar las fisuras en las carpetas.

Muros de confinamiento

Los muros de confinamiento corresponden a los elementos de la fortificación definitiva en galerías de niveles de producción. Estos elementos estructurales, cumplen una función de resistencia importante y a su vez de ordenamiento de las cajas logrando una geometría estricta que facilita la operación por parte del conductor de un equipo de extracción. La primera actividad que se realiza en la zona donde se instalará muros de confinamiento es un levantamiento topográfico con la finalidad de determinar si se requieren desquinches. Realizado el levantamiento y ejecutado los desquinches necesarios, se continúa con la perforación de cables y pernos de anclajes de soporte de armaduras. Para esta actividad se utiliza el mismo jumbo utilizado para la fortificación de las viseras de los puntos de extracción. Luego se procede con la instalación de cables y de los pernos de anclaje de soporte de armadura, para posteriormente instalar la armadura misma y el moldaje necesario en toda la extensión del muro.



Ilustración 2-11 Muros de confinamiento

Fuente: Elaboración propia

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Principios Lean

El término *lean* (en español “magro” o “sin grasa”), fue referenciado por primera vez en 1988 por los investigadores del MIT Daniel T. Jones y James P. Womack en su libro “The machine that changed the world: the story of Lean Production”, que describe la industria automotriz mundial y muestra cómo a partir de los años 70, la industria norteamericana, líder por muchos años en la producción de automóviles, comienza a perder terreno frente a la industria japonesa de forma sostenida. A través de una encuesta aplicada a diversas plantas de automóviles en múltiples países, se determinó que la industria japonesa, en particular Toyota, presentaban resultados significativamente mejores que aquellas en que se utiliza un sistema de producción tradicional, partiendo por una productividad promedio del doble del resto de las empresas del sector. Estos resultados dejaban en evidencia los beneficios de la aplicación del sistema de producción implementado a partir de los años 50 por Taiichi Ohno y Eiji Toyoda, basado en la eliminación sistemática de pérdidas, a través de la utilización de distintas herramientas y metodologías a partir de ciclos de mejoramiento continuo.

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se han desplegado múltiples esfuerzos por conceptualizar esta filosofía de producción. De forma generalizada, diversos autores describen el propósito de lean simplemente como “la eliminación del desperdicio” (Petersen, 2008). Bashin (2015) plantea que en compañías verdaderamente *lean*, el concepto va más allá de la aplicación de un compilado de herramientas, siendo más bien una filosofía focalizada en la reducción de tres categorías de desperdicio. Desde una perspectiva más global, Radzwill (2013) sugiere que lean es un sistema, una secuencia de pasos con un objetivo claramente definidos.

En su libro *Lean Thinking*, Womack y Jones (1996), resumen la filosofía *lean* e introducen sus cinco principios fundamentales, que buscan la eliminación sistemática de pérdidas, con el objetivo de entregar mayor valor al cliente.

- a) Identificar la cadena de valor de cada producto: evaluar, desde la perspectiva del cliente, si una actividad efectivamente crea valor, entendiendo por “valor” cualquier cosa que un cliente necesita, en un plazo y costo adecuado, y por la cual estaría dispuesto a pagar. Es, entonces, una caracterización que depende del cliente, siendo a la vez específico a cada producto o servicio.
- b) Mapear la cadena de valor: el flujo o cadena de valor se compone de todas las actividades necesarias para diseñar, confeccionar y entregar el producto o servicio final. Creando un mapa de ellas, es posible identificar y diferenciar aquellas que agregan valor de las que no. Para ello es necesario describir qué sucede en cada una de las etapas, para luego categorizarlas de acuerdo a los tres tipos de actividades identificadas y minimizar, modificar o eliminar aquellas que no agreguen valor.
- c) Flujo: Hacer fluir el producto de forma continua a través del proceso. Este principio busca asegurar que la producción y el valor fluyan de manera constante por la cadena de valor identificada, cumpliendo las distintas etapas progresivamente y sin interrupciones, pérdidas, errores y retrocesos. Para lograr este movimiento

continuo, el foco debe estar en eliminar obstáculos que constituyan un cuello de botella.

- d) Pull: *lean* se basa en la demanda real. Es decir, producir sólo lo que el cliente necesita cuando lo necesita, tratando de dar en todo momento una respuesta rápida a sus requerimientos, minimizando la sobreproducción y acumulación de inventario.
- e) Perseguir la perfección, a través de ciclos de mejoramiento continuo. Este es un proceso constante, y que nunca termina, que requiere un esfuerzo constante y disciplina en la búsqueda de una producción con cero desperdicios, oportunamente, con calidad y a un precio justo.



Ilustración 3-1 Principios de la filosofía Lean

Fuente: Dirección de Excelencia Operacional Corporativa - CODELCO

3.2. *Lean Construction*

A medida que avanza el desarrollo del pensamiento lean en la industria manufacturera, y con él el interés por extrapolar sus resultados a otras industrias, surge a fines del siglo XX el concepto de *lean construction* como la aplicación de los principios y herramientas *lean* al proceso completo de un proyecto desde su concepción hasta su ejecución y puesta en servicio.

Según la definición del Lean Construction Institute, es un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto, una nueva manera de diseñar y construir edificios e infraestructuras. Aplicando la gestión de la producción lean a la gestión integral de proyectos desde su diseño hasta su entrega, se cambia la forma en que se realiza el trabajo a través de todo el proceso de entrega. *Lean Construction* se extiende desde los

objetivos de un sistema de producción ajustada - maximizar el valor y minimizar los desperdicios - hasta las técnicas específicas, y las aplica en un nuevo proceso de entrega y ejecución del proyecto.

Acorde a esta definición, algunas de las ineficiencias que actualmente tienen lugar en la construcción y que podrían evitarse con la aplicación de este tipo de metodologías son las siguientes:

- Tiempos de espera por insuficientes equipos, herramientas o materiales.
- Tiempos de espera debido a actividades anteriores inacabadas o mal realizadas.
- Tiempos de espera por falta de una correcta instrucción para realizar el trabajo (estándares de trabajo).
- Tiempo de inactividad debido a la actitud del trabajador o al excesivo número de trabajadores en un área determinada de trabajo (se genera sobreproducción en momentos puntuales).
- Desplazamientos innecesarios provocados por recursos insuficientes y por falta de una adecuada planificación.
- Acumulación de materiales en plazos no adecuados (se generan almacenes e inventarios innecesarios).
- Retrasos por incumplimiento de las especificaciones y cambios en el diseño

3.3. Last Planner (último planificador)

Una de las metodologías más utilizadas para el control de la construcción bajo la filosofía lean es el denominado *Last Planner System* (Ballard, 2000), sistema de planificación y control basado en una asignación confiable de las actividades, con el objetivo de estabilizar el flujo de trabajo, controlar las variaciones y reducir su variación.

Last Planner System™

El sistema Last Planner™ es una metodología de trabajo que establece 3 etapas de planificación, dónde en cada una se desarrollan acciones específicas que permiten ir llevando a la práctica las mejoras mencionadas anteriormente.

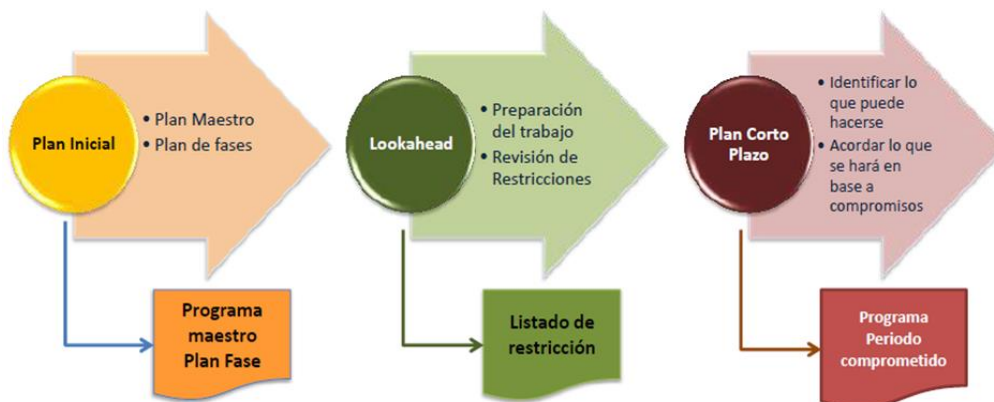


Ilustración 3-2 Estructura general metodología del último planificador

Fuente: Lean Construction Institute

A diferencia de los métodos de planificación tradicionales, en los cuales se programa lo que debe ser hecho (lo cual en la mayoría de los casos está alejado de lo que efectivamente puede ser materializado), la metodología last planner transforma lo que debería ser hecho en lo que puede ser hecho, creando asignaciones y planes de trabajo que son efectivamente realizables. El fin último es disminuir la brecha entre lo planificado y lo ejecutado, aumentando la confiabilidad de la planificación. Estudios del Lean Construction Institute muestran aumentos en la productividad y mejoras sostenidas en el cumplimiento de la planificación post aplicación de la metodología (Ilustración 3-3).

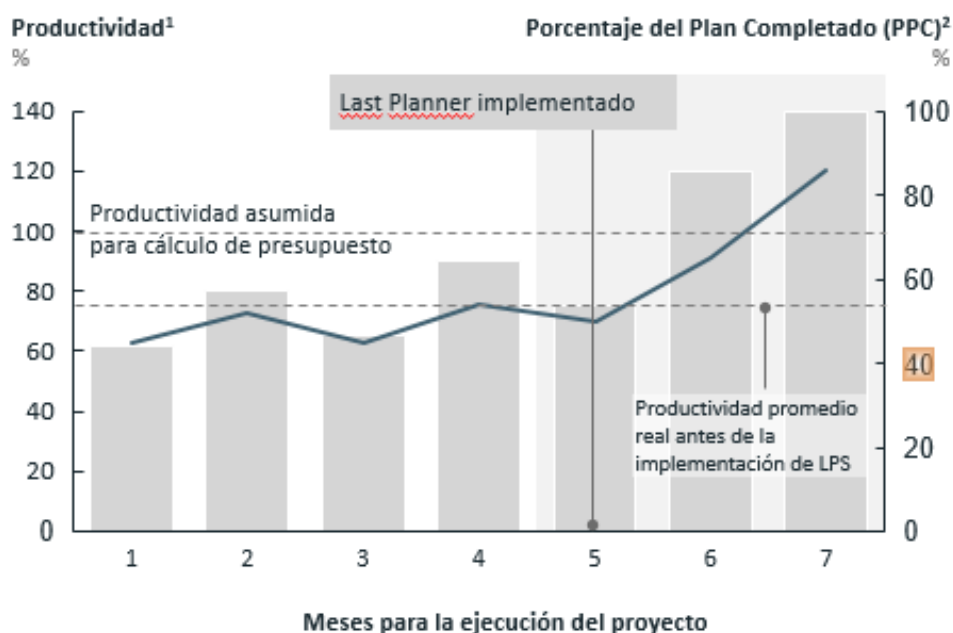


Ilustración 3-3 Evolución de productividad bajo implementación de Last Planner en proyectos

Fuente: Lean Construction Institute (2015)

La metodología está compuesta por seis etapas que van del más alto nivel al mayor detalle, comprende un seguimiento acucioso de los compromisos, que, en caso de no ser cumplidos, deriva en la identificación de las causas de no cumplimiento con tal de poder realizar gestión sobre éstas.

Etapa 1: Preparación del plan maestro

Se ejecuta una única vez al inicio del proyecto, para generar el programa y presupuesto del proyecto. Consiste en la definición de hitos clave y su duración, utilizando como input la revisión de la carta gantt del proyecto completo, la cual debe representar de forma lo más fidedigna posible el verdadero desempeño que posee la empresa en obra, con el fin de dar validez al sistema.

Etapas 2: Planificación integrada

Se realiza una única vez al inicio del proyecto. Consiste en realizar una planificación hacia atrás (*pull planning*) desde el último hito, para producir un cronograma detallado de actividades que defina entregas, relaciones, recursos y restricciones para garantizar el cumplimiento en tiempo y presupuesto del hito.

Etapas 3: Planificación futura (*look ahead*)

Se realiza periódicamente durante la ejecución del proyecto, en intervalos de entre 3 a 12 semanas, dependiendo de las características del proyecto, la confiabilidad de la planificación y el tiempo de captura de información.

Esta etapa tiene como función principal controlar los flujos de trabajo, a través de:

- Formación de la secuencia de trabajo
- Descomponer las actividades del programa maestro en paquetes de más fácil manejo
- Desarrollar métodos detallados para la ejecución del trabajo
- Mantener un inventario de trabajo ejecutable
- Actualizar y revisar los programas de nivel superior

Durante este proceso se identifican las restricciones pendientes, entendiendo como restricción cualquier cosa que limita la manera en que una actividad puede ser ejecutada (por ejemplo, cláusulas contractuales, diseño, materiales, requisitos de trabajo, espacio, equipos, mano de obra, entre otros), y se definen las acciones necesarias para removerlas, asignando propietarios y fechas límite para su eliminación. La regla general es permitir dentro de la ventana de análisis sólo aquellas actividades que pueden ser realizables.

Etapas 4: Planificación de tareas semanales

Como indican Campero y Alarcón (2008), la planificación semanal representa “el compromiso de ejecución”. En esta etapa se realiza la planificación de las actividades a un nivel de detalle operacional para cada área, definiendo cantidades, ubicaciones, coordinaciones y *backlogs*. Puede ser realizada por diseñadores, supervisores de terreno y otros cargos que participen directamente en la ejecución del trabajo. El objetivo es producir el plan para la semana siguiente, con productos finales para cada actividad, seleccionando lo que efectivamente se hará del total las actividades que deben ser realizadas en el período. Eventualmente, pueden incorporarse además protecciones en torno a las actividades, para protegerlas de la variabilidad y la incertidumbre.

Un plan semanal se considera efectivo si cumple cinco criterios de calidad (Campero y Alarcón, 2008):

- Definición: Las asignaciones son suficientemente específicas e incluyen, entre otros, elementos tales como una correcta información de materiales, requerimientos de coordinación con otras disciplinas y criterios de término o avance al final de la semana

- Consistencia o legitimidad: Las asignaciones del plan son todas ejecutables, se cuenta con los materiales y servicios necesarios, se han cumplido todos los trabajos previos requeridos para ejecutarlas y han sido realizadas todas las coordinaciones necesarias con otras áreas/disciplinas.
- Secuencia: Las asignaciones se ordenan según prioridad y secuencia de ejecución, y consideran su incidencia en asignaciones futuras.
- Tamaño: Las asignaciones se determinan según la capacidad individual o grupal de las actividades productivas antes de comenzar la ejecución
- Retroalimentación: Se identifican las causas y las acciones correctivas tomadas cuando las asignaciones no son completadas.

Etapas 5: Reuniones diarias de planificación

Esta actividad (que se realiza diariamente) tiene por objetivo la discusión en terreno de cómo se realizó cada actividad en comparación con el plan durante el día anterior, informar el plan del día en curso y las restricciones pendientes y/o elementos de coordinación requeridos.

Etapas 6: Cálculo del porcentaje del plan completado

Etapas de monitoreo semanal y medición del desempeño, donde las actividades se identifican como completas o incompletas, y se analiza una serie de indicadores tales como:

Porcentaje del plan completado (PPC)

Utilizado para medir el desempeño del plan de corto plazo, es un indicador clave en el sistema *last planner*, ya que permite conocer la confiabilidad de la planificación, y corresponde a la cantidad de asignaciones completadas con respecto a las asignaciones totales:

$$PPC = (\text{Actividades Realizadas})/(\text{Actividades Programadas})$$

Causas de no cumplimiento (CNC)

Corresponden a la razón por la cual una asignación no fue ejecutada de acuerdo al plan definido. Estas desviaciones son clasificadas para realizar sobre ellas análisis de causa raíz para resolverlas, utilizando herramientas adicionales como análisis de Pareto para las desviaciones, entre otros, lo cual permite realizar acciones de mejora para incrementar el desempeño a futuro.

Medición de madurez

El nivel de madurez se define como el nivel de profundidad con el que se implementa una herramienta (referencia). Este tipo de indicadores mide de forma integrada los distintos aspectos clave de este sistema y permite conocer el grado de adherencia a las prácticas involucradas.

3.4. Aplicabilidad en la industria minera

Durante los últimos años se han realizado diversas aplicaciones de los principios lean en la industria minera.

Si bien hay diferencias ostensibles entre ambas (Ilustración 3-4), éstas no imposibilitan la aplicación de ciertas herramientas, dado que su definición de propuesta de valor no señala alcance específico de aplicación.

Industria Minera	Industria Automotriz
Exigencia Física del Entorno	Entorno Ambiental
Incertidumbre del Entorno	Ambiente de Trabajo Estable
Equipos Repartidos Geográficamente	Plantas Compactas
Materias Primas Viables	Materias Primas Controladas
Ubicaciones Remotas	Ubicación en Grandes Ciudades

Ilustración 3-4 Comparativa entre industria minera y automotriz

Fuente: Wijaya et al. (2008)

En el caso de la minería, según Wijaya, la definición de desperdicios sería la siguiente:

- Sobreproducción: el mercado de metales se considera estable, por lo tanto, la sobreproducción en cuanto a mineral neto es irrelevante, ya que el mercado la absorbe en su totalidad
- Tiempos de espera: corresponde al tiempo de inactividad de los equipos móviles
- Productos defectuosos que ocasionan reparación o retrabajos
- Sobre procesamiento: sucede cuando las dimensiones del túnel exceden las requeridas. Esto puede deberse tanto a la naturaleza de la roca como al exceso de trabajo en la frente.
- Transporte innecesario: ocasionado por la elección del tipo de transporte, rutas o materiales a transportar
- Desplazamiento innecesario: relacionado a la baja estandarización de los trabajos
- Capacidades desaprovechadas de los trabajadores: baja utilización de los recursos humanos en cuanto a las horas de trabajo efectivas.

De acuerdo a esto, las áreas con mayor potencial de implementación de metodologías lean serían: talleres de mantenimiento, desarrollos horizontales y verticales, y trabajos de desarrollos complementarios.

4. METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo, se utilizó la metodología de caso de estudio, aplicada a dos contratos en ejecución en la División El Teniente de obras de preparación minera, realizadas por empresas contratistas diferentes: Esmeralda, ejecutado bajo el mandato de la Gerencia de Obras Mina (GOBM) y Recursos Norte bajo el mandato de la Gerencia de Proyectos de la estatal, como parte del denominado Plan de Desarrollo Teniente.

4.1. El caso de estudio

Es una investigación en profundidad sobre una sola persona, grupo, evento o comunidad, que permite la recopilación de información a través de múltiples fuentes y métodos, pudiendo abarcar un período de tiempo prolongado durante el cual los procesos pueden estudiarse a medida que ocurren, facilitando la realización de una comparación fluida entre lo observado y mejores prácticas o desempeño de proyectos similares, siendo posible extraer conclusiones que puedan generalizarse a otros proyectos similares dada la generalidad del proceso en estudio.

Para su selección, se utilizó el criterio planteado por Yin (2014) que considera según se observa en la Ilustración 4-1:

- Los objetivos del estudio y las preguntas que se intenta responder con él
- El nivel de control sobre los eventos a observar
- El foco de la investigación: eventos actuales o históricos

Método de Investigación	Tipo de pregunta	¿Se requiere control sobre los eventos?	¿Investigación se enfoca en eventos actuales?
Experimento	¿Cómo? ¿Por qué?	Sí	Sí
Encuesta	¿Quién? ¿Qué? ¿Dónde? ¿Cuánto?	No	Sí
Análisis histórico	¿Cómo? ¿Por qué?	No	No
Caso de estudio	¿Cómo? ¿Por qué?	No	Si

Ilustración 4-1 Matriz de selección de metodologías de investigación

Fuente: Yin (2014)

Entre las principales ventajas de la aplicación del método seleccionado están:

- Permite aplicar métodos cuantitativos, cualitativos o mixtos, permitiendo un análisis más profundo de la unidad en observación
- Pueden utilizarse variadas fuentes de información, por ejemplo documentos o registros del proceso, observación directa, entrevistas, encuestas, entre otros.

- **Flexibilidad:** permite al investigador considerar simultáneamente las características observadas en tiempo real, y aquellas derivadas de estudios teóricos.

Para un total aprovechamiento de estas ventajas y establecer la validez y confiabilidad de la información, durante la recolección de datos se siguieron los principios planteados por Yin (2014):

- Uso de múltiples fuentes de evidencia, realizando procesos de triangulación desarrollando así líneas convergentes de investigación. Las fuentes de información utilizadas se listan en la Ilustración 4-2
- Creación de una base de datos de información, compuesta de lo que se denomina “evidencia base”, que corresponde a información existente en las bases de datos de los respectivos proyectos, y de elementos de análisis del investigador, independientes de los generados como parte de la reportabilidad de cada contrato.
- Mantención de una cadena de eventos: con el fin de aumentar la confiabilidad de las conclusiones del estudio, todos los datos e información recopilados están claramente vinculados a las fuentes relevantes utilizadas y las circunstancias en que se obtuvieron.
- Cautelar el uso de información proveniente de fuentes electrónicas, estableciendo al inicio de la investigación un marco claro para la búsqueda e implementación de controles cruzados para validar la precisión de la información obtenida.

Tipo de Fuente	Nombre	Ventaja	Desventaja
Documentos	Informes de proyecto - Steerco	Información estable, emisión periódica Independientes al caso de estudio	Sesgos en emisión de reportes Diferencias en criterios de cálculo
	Tableros de KPI DdD		
Archivos de registro	BD Sala de Control	Independientes al caso de estudio Volumen de información diaria	Irregularidad en el registro
	BD ITO		
Observación directa	Visitas a terreno	Muestran la realidad de la situación	Selectivo, no se puede visitar todas las actividades
Observación participativa	Trabajo como contraparte del equipo implementador	Revela interacciones Muestran la realidad de la situación	Selectivo

Ilustración 4-2 Fuentes de información

Fuente: Elaboración propia

4.2. Proyecto Recursos Norte

Iniciado en su etapa inversional en junio 2018 con una duración de 26 meses, con una dotación aproximada de 500 personas a la fecha de realización de este estudio y una inversión cercana a los MUSD 486.

Minería

El sistema de explotación para Recursos Norte corresponde al denominado hundimiento convencional por paneles con fracturamiento hidráulico.

El método consiste de un nivel de hundimiento conectado al nivel de producción mediante zanjas. La geometría del nivel de producción es de malla tipo Teniente, con calles de producción y cruzados de zanjas a 60°. En este nivel operarán palas LHD que extraerán el mineral desde los puntos de extracción y lo descargarán en puntos de vaciado ubicados en el interior del polígono correspondiente al nivel de producción.

En el nivel de transporte el mineral es cargado con buzones a camiones para ser transportado hasta la sala de chancado o piques de traspaso que conectan al FFCC Teniente 8. Finalmente, la roca chancada o directamente vaciada a piques de traspaso es transportada mediante carros metaleros del FFCC Teniente 8 a la planta de procesamiento de Colón Alto.

La infraestructura de apoyo considera ADIT's y niveles de ventilación (inyección y extracción) que alimentan chimeneas de ventilación. Además, se considera desarrollar un barrio cívico, talleres para palas y utilitarios de apoyo en el nivel de producción y talleres para camiones en el nivel inferior, entre otros.

Diseño Minero

El tamaño de mallas de extracción utilizado en la mina El Teniente es en general de 300 m² con espaciamiento entre calles de 30 m y distancia entre zanjas de 20 m. Este tamaño de malla se ha aplicado en minas Esmeralda, Pipa Norte, Reservas Norte y Dacita. En el sector Diablo Regimiento se utiliza una malla de 340 m² con 34 m de espaciamiento entre calles y 20 m de distancia entre zanjas. El tamaño de equipos LHD utilizado en los sectores con malla de 300 m² van desde las 7 yd³ a 10 yd³, mientras que en Diablo Regimiento se utilizan LHD de 13 yd³. La geometría de la malla de extracción también se caracteriza por la longitud del punto de extracción, siendo del orden de 11 m en las distintas mallas de extracción aplicadas en El Teniente (10.75 m - 10.93 m en Esmeralda; 11.07 m en Dacita; 12.1 m en Diablo Regimiento).

La condición de roca presente en el sector Recursos Norte es similar a la existente en los sectores RENO y Dacita. En particular, y como se indicó anteriormente, la distribución de litologías del sector corresponde a un 74% de CMET, 25% a pórfido dacítico y 1% corresponde a brechas.

La clasificación geomecánica de los tipos litológicos presentes en el área se muestran en la siguiente ilustración.

	RMR (Laubscher)	Clase
Pórfido Dacítico	58 - 63	III A - II B
CMET HT (contacto BX Braden)	62 - 65	II B
CMET HT	55 - 58	III A
Brecha Anhidrita	58 - 62	III A - II B
Dilución (TALUS)	10	V

Ilustración 4-3 Clasificación geomecánica sector Recursos Norte

Fuente: Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo DET

A partir de estos antecedentes se estiman los tamaños de elipsoide de extracción y las dimensiones máximas y mínimas entre las que pueden variar los espaciamientos de la malla de extracción. Para la litología predominante CMET HT se tiene que el diámetro del elipsoide aislado es de 11.5 m y el rango de espaciamientos va desde 11,5 m a 20,5 m.

Considerando los tres parámetros que caracterizan la malla de extracción tipo Teniente y que se muestran en la Ilustración se hizo un análisis de las dimensiones obtenidas al considerar distintos valores para las tres dimensiones paramétricas.

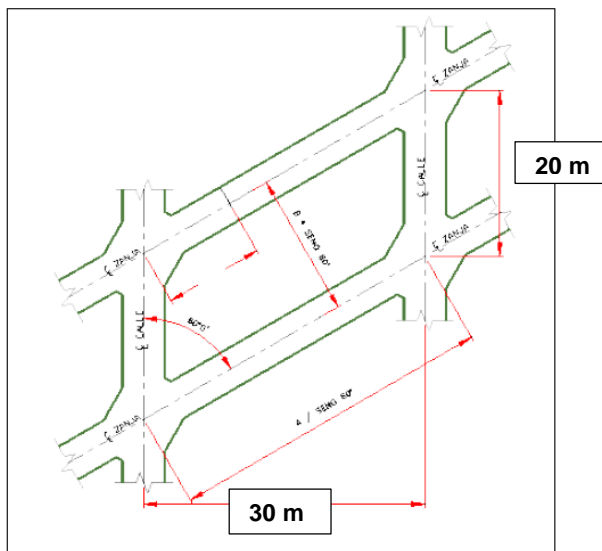


Ilustración 4-4 Malla de extracción Recursos Norte

Fuente: Plano de diseño de nivel de producción mina Recursos Norte

Una vez definida la geometría de la malla de extracción, el método de socavación y la distribución que presentan los recursos extraíbles del sector, se desarrolló el diseño de los niveles de explotación indicando los accesos tempranos que permiten anticipar los desarrollos para reducir el período de puesta en producción del sector.

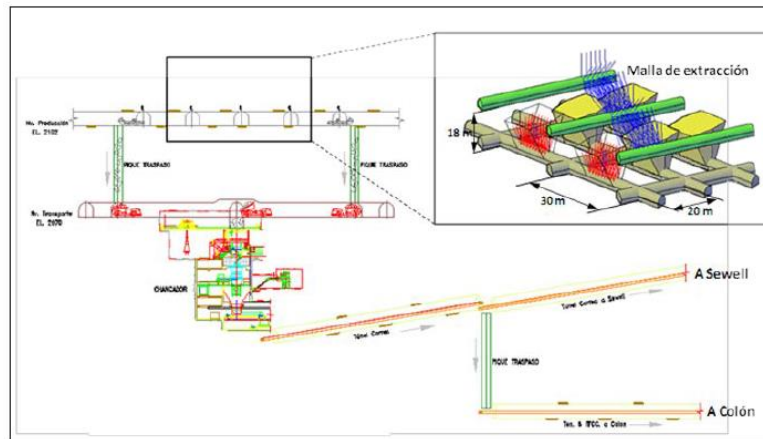


Ilustración 4-5 Esquema General de manejo de material del mina Recursos Norte

Fuente: Plano isométrico mina Recursos Norte

La sección de los desarrollos en el nivel de hundimiento es de 4 m x 3,6 m mientras que su elevación de diseño es 2.120 m. En el caso del nivel de producción, sus galerías típicas tienen una sección de 5,1 m x 4,5 m y se ubica en la cota 2.102 m. El diseño del nivel de producción incluye piques de traspaso intermedios. El nivel de transporte intermedio se emplaza 32 m por debajo del nivel de producción, en la cota 2.070 m, para mantener el mismo diseño aplicado en los sectores RENO/Dacita. El diseño del circuito de transporte se establece de acuerdo a la distribución de puntos de vaciado de cada configuración de polígono de explotación y cuenta con galerías de sección típica 6,5 m x 5,3 m. El circuito de transporte permite acarrear el mineral hasta las tolvas de alimentación del chancador primario. Se contemplan tres puntos de vaciado equipados con parrillas de 5,5 m x 5,5 m. El tamaño de las tolvas de alimentación es de 5,5 m x 5,5 m y 10 m de altura, lo que permite acopiar hasta 500 t en cada una de las tres tolvas de alimentación.

Por último, emplazados por debajo del nivel de transporte intermedio se encuentran los subniveles de inyección y de extracción de aire. Estos permiten distribuir el aire fresco hacia los lugares de consumo y recolectar el aire viciado para entregarlo en las vías de extracción principal. La disposición de los subniveles de ventilación permite establecer circuitos de ventilación tanto en el nivel de producción como en el nivel de transporte, que son los que demandan la mayor cantidad de air. También se abastece al nivel de hundimiento, a las áreas de servicio y a la sala de chancado

La operación de una mina subterránea con capacidad de producción de 30 ktpd requiere de obras de infraestructura relevantes. Más aún, en el caso de una explotación en el sector Recursos Norte no es posible considerar la utilización de instalaciones ya existentes por cuanto el progreso de la explotación del Proyecto Nuevo Nivel Mina dejará inutilizables una gran mayoría de las instalaciones actualmente existentes por sobre el nivel Teniente 8 y que brindan acceso y servicios a los sectores actualmente en producción. Se requiere entonces considerar el diseño de nuevas áreas de infraestructura para una futura explotación subterránea en el sector norte de la mina El Teniente, las cuales se aprecian en la Ilustración 4-6 y se detallan a continuación.

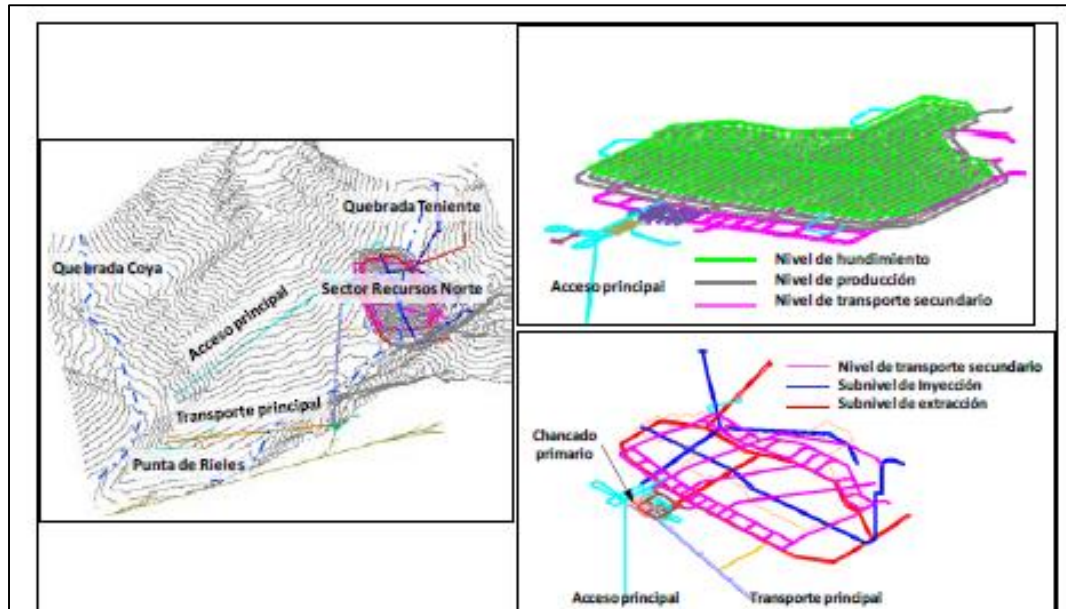


Ilustración 4-6 Layout general de producción mina Recursos Norte

Fuente: Plano disposición general Recursos Norte

Obras de preparación

Se dividen en obras mineras que se concentran principalmente en los niveles de producción y hundimiento con un importante requerimiento de desarrollos (calles y zanjas), y en obras civiles en los niveles de producción y transporte intermedio con un gran volumen de construcción de puntos de extracción, puntos de vaciado, buzones, entre otros. Se estima que se requieren 3,5 años para completar todas las obras necesarias para alcanzar un área hundida que habilite la generación del radio hidráulico mínimo necesario para asegurar la socavación inicial del sector. El inicio de producción se alcanza al cabo de 1,9 años de preparación. Estas obras son parte de la ruta crítica del proyecto por cuanto determinan en última instancia el inicio de las actividades de extracción de mineral del sector.

De esta forma, se definieron los siguientes volúmenes de obras para realizar de forma temprana

Nivel	unidad	cantidad
Nivel Hundimiento	m	896
Nivel Producción	m	2,092
Nivel Transporte	m	1,891
Subnivel Inyección	m	1,026
Subnivel Extracción	m	1,234

Tunel Extensión T8	m	472
Pique de Traspaso	m	154
Tunel Correa T8	m	1,557
Tunel Correa Traspaso	m	40
Tunel Correa Sewell	m	1,234
Tunel Descarga Sewell	m	108
Tunel Conexión Superficie	m	142
Tunel Conexión T7	m	455

Ilustración 4-7 Volumen de obras Proyecto Recursos Norte

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Proyecto Esmeralda Sur

Minería

El sistema de explotación para Esmeralda corresponde al denominado Hundimiento Convencional por Paneles con Fracturamiento Hidráulico.

El método consiste en un nivel de hundimiento conectado al nivel de producción mediante zanjas. La geometría del nivel de producción es de malla tipo Teniente, con calles de producción y cruzados de zanjas a 60°. En este nivel operarán palas LHD que extraerán el mineral desde los puntos de extracción y lo descargarán en puntos de vaciado ubicados en el interior del polígono correspondiente al nivel de producción.

En el nivel de transporte el mineral será cargado con buzones a al ferrocarril Teniente 6 para ser transportado hasta los piques de traspaso que conectan al FFCC Teniente 8. Finalmente, la roca vaciada a piques de traspaso es transportada mediante carros metaleros del FFCC Teniente 8 a la planta de procesamiento de Colón Alto.

La infraestructura de apoyo considera ADIT's y niveles de ventilación (inyección y extracción) que alimentan chimeneas de ventilación. Además, se considera rehabilitar un barrio cívico, talleres para palas y equipos de apoyo en el nivel de producción y talleres para mantenimiento de carros y locomotoras.

Diseño Minero

El tamaño de mallas de extracción utilizado en la mina El Teniente es en general de valores cercanos a 300 m² con espaciamiento entre calles de 30 m y distancia entre zanjas de 20 m. Este tamaño de malla se ha aplicado en mina Esmeralda. El tamaño de equipos LHD utilizado en los sectores con malla de 300 m² van desde las 7 yd³ a 10 yd³. La geometría de la malla de extracción también se caracteriza por la longitud del punto de extracción, siendo del orden de 11 m en las distintas mallas de extracción aplicadas en El Teniente (10.75 m - 10.93 m en Esmeralda)

La condición de roca presente en el sector Esmeralda Sur es similar a la existente en los sectores Esmeralda. En particular, y como se indicó anteriormente, la distribución de litologías del sector corresponde a un 65% de CMET, 25% a Tonalita y 10% corresponde a brechas.

La clasificación geomecánica de los tipos litológicos presentes en el área se muestran en la tabla siguiente

	RMR (Laubscher)	Clase
Pórfido Dacítico	58 - 63	III A - II B
CMET HT (contacto BX Braden)	62 - 65	II B
CMET HT	55 - 58	III A
Brecha Anhidrita	58 - 62	III A - II B
Dilución (TALUS)	10	V

Ilustración 4-8 Clasificación geomecánica sector Esmeralda Sur

Fuente: Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo DET

A partir de estos antecedentes se estiman los tamaños de elipsoide de extracción y las dimensiones máximas y mínimas entre las que pueden variar los espaciamientos de la malla de extracción. Para la litología predominante CMET HT se tiene que el diámetro del elipsoide aislado es de 11,5 m y el rango de espaciamientos va desde 11,5 m a 20,5 m.

Considerando los tres parámetros que caracterizan la malla de extracción tipo Teniente y que se muestran en la Ilustración se hizo un análisis de las dimensiones obtenidas al considerar distintos valores para las tres dimensiones paramétricas.

La nomenclatura de medición de mallas de extracción se muestra en la Ilustración 4-9 y está dada por la mitad de la distancia entre calles (medida perpendicular a éstas) y la distancia entre zanjas (medida a través del eje de la calle).

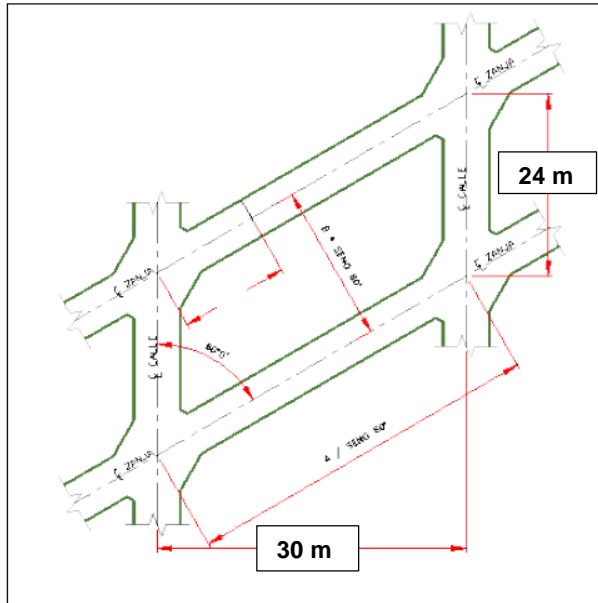


Ilustración 4-9 Malla de extracción Esmeralda

Fuente: Plano de nivel de producción Esmeralda

Bajo este contexto, los D&C del B-1 (Figura 8-17) responden a la actual malla de extracción de mina Esmeralda, esto es 15x20 m. Sin embargo, los resultados de los análisis realizados durante este estudio recomiendan cambiar la malla de extracción actual a una malla de 15x24 m, como se indica en la Figura. Este diseño permite aumentar el factor de seguridad y da robustez a los pilares (*crow pillar*).

Una vez definida la geometría de la malla de extracción, el método de socavación y la distribución que presentan los recursos extraíbles del sector, se desarrolló el diseño de los niveles de explotación indicando los accesos tempranos que permiten anticipar los desarrollos para reducir el período de puesta en producción del sector.

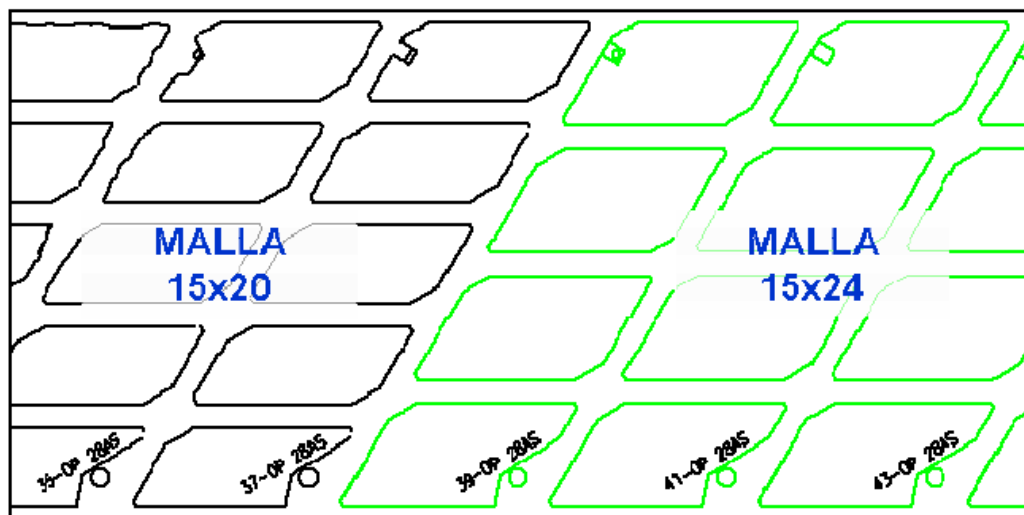


Ilustración 4-10 Modificación de malla de extracción Esmeralda 15x24

Fuente: Plano de nivel de producción Esmeralda

La sección de los desarrollos en el nivel de hundimiento es de 4 m x 3,6 m mientras que su elevación de diseño es 2.211 m. En el caso del nivel de producción, sus galerías típicas tienen una sección de 4,0 m x 4,0 m y se ubica en la cota 2.193 m. El diseño del nivel de producción incluye piques de traspaso intermedios. El nivel de transporte intermedio se emplaza 31 m por debajo del nivel de producción, en la cota 2.172 m, para mantener el mismo diseño aplicado en los sectores Esmeralda. El diseño del circuito de transporte se establece de acuerdo a la distribución de puntos de vaciado de cada configuración de polígono de explotación y cuenta con galerías de sección típica 5,5 m x 5,0 m. El circuito de transporte permite acarrear el mineral hasta las tolvas de los piques de traspaso principal OP 22, 23 y 24.

Por último, emplazados por debajo del nivel de transporte intermedio se encuentran los subniveles de inyección y de extracción de aire. Estos permiten distribuir el aire fresco hacia los lugares de consumo y recolectar el aire viciado para entregarlo en las vías de extracción principal. La disposición de los subniveles de ventilación permite establecer circuitos de ventilación tanto en el nivel de producción como en el nivel de transporte, que son los que demandan la mayor cantidad de aire y a su vez abastecer al nivel de hundimiento y a las áreas de servicio.

NIVELES DE HUNDIMIENTO Y PRODUCCION		
OBRAS MINERAS ESMERALDA SUR		
Nivel de Hundimiento		
Excavación y Fortificación (P+M+S) Sección 3,6 x 3,6 m	ML	4.175
Desarrollo Vertical Diám. 1,5 m	ML	175
Nivel de Producción		
Excavación y Fortificación (P+M+S) Sección 4,2 x 3,9 (Accesos y Calles)	ML	8.009
Desquinche y Fortificación (P+M+S) Punto de Vaciado	UN	26
Desarrollo Vertical Diám. 1,5 m Chimenea Piloto Mecanizada	ML	1.882
OBRAS DE CONSTRUCCIÓN ESMERALDA SUR		
Nivel de Hundimiento		
Excavación (Desquinche) y Fortificación (P+M+S) Vaciadero de Marinas	UN	6
Construcción Vaciadero de Marinas (Muro de Tope)	UN	6
Fortificación Intersección NH con Cables	UN	52
Brocal/Tapado y Reja de Protección Chimenea de Ventilación	UN	3
Saneamiento/Tapado	UN	1
Tiros de Drenaje Diám. 6-1/2"	ML	2.600
Fortificación Especial (Shotcrete Rain)	ML	500
Nivel de Producción		
Carpeta de Rodado Calles y Accesos - Limpieza y Escarpe, Prebase H-50+ y Carpeta H-70	ML	6.346
Construcción Punto de Extracción	UN	274
Carpeta de Pisos PE - Limpieza y Escarpe, Prebase H-50+ y Carpeta H-70	ML	2.740
Construcción Muro de Confinamiento (2 kg/cm2) (Pilar Normal)	ML	6.772
Construcción Muro de Confinamiento (2 kg/cm2) (Pilar con PV)	ML	578
Tiros de Drenaje Diám. 6-1/2"	ML	4.800
Sistema de traspaso	UN	28

La operación de una mina subterránea con capacidad de producción de 45 ktpd requiere de obras de infraestructura relevantes. Las obras de preparación se dividen en obras mineras que se concentran principalmente en los niveles de producción y hundimiento con un importante requerimiento de desarrollos (calles y zanjas), y en obras civiles en los niveles de producción y transporte intermedio con un gran volumen de construcción de puntos de extracción, puntos de vaciado, buzones, entre otros. Se estima que se requieren 29 meses para completar todas las obras necesarias para alcanzar un área hundida que habilite la generación del radio hidráulico mínimo necesario para asegurar

la socavación inicial del sector. Estas obras son parte de la ruta crítica de la operación del proyecto por cuanto determinan en última instancia el inicio de las actividades de extracción de mineral del sector.

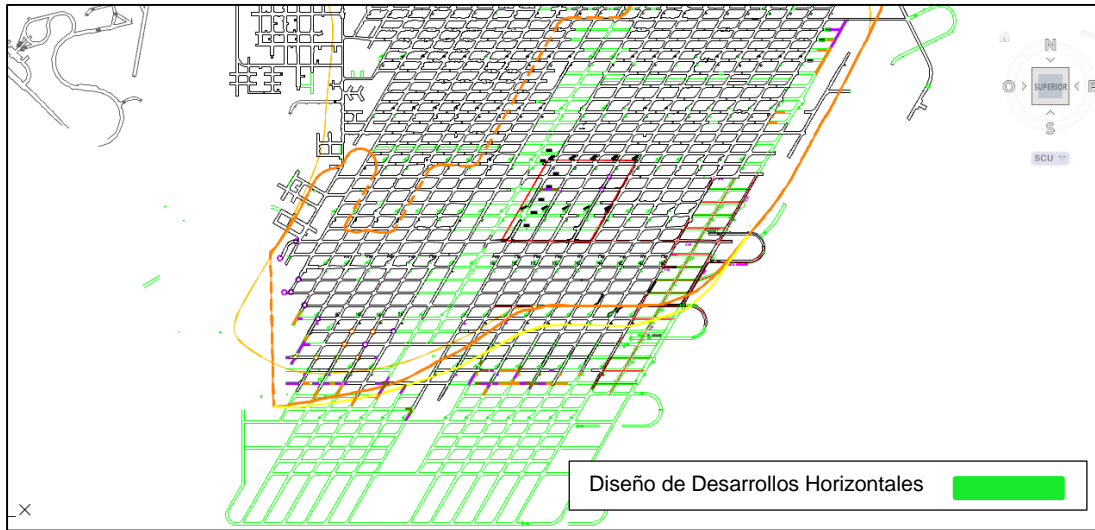


Ilustración 4-11 Disposición de Desarrollos Horizontales Nivel de Producción

Fuente: Plano de nivel de producción Esmeralda

NIVELES DE ACARREO Y SUBNIVEL DE VENTILACIÓN		
OBRAS MINERAS		-
SUBNIVEL DE VENTILACION		-
Excavación y fortificación (P+M+S) sección 6,2 x 6,1 (XC Ventilación)	ML	1.136
Desarrollo Vertical Mecanizada Chim Ventilación Ø 1,5	ML	751
NIVEL DE ACARREO		-
Excavación y fortificación (PMS) sección excavada 5,0 m x 4,9 m (Galería Loop)	ML	100
Desarrollo Vertical Mecanizada Chim Ventilación Ø 1,5	ML	210
OBRAS DE CONSTRUCCION MINA CENTRAL		-
SUBNIVEL DE VENTILACION - OO.CC.		-
Construcción de Salas de Ventiladores	UN	39
Construcción de Cuneta de Drenaje	ML	900
Tiros de Drenaje	ML	3.000
NIVEL DE ACARREO		-
DESQUINCHE BUZON		-
Fortificación de Precableado Buzones de Carguío	ML	7.154
Excavación Zona de Buzones de Carguío	M3	2.838
Buzón	UN	18
CONSTRUCCION VIA FERREA		-
Preparación Piso Vía Férrea	ML	2.514
Instalación de Cambio en Intersección XC	CJ	7

4.4. Descripción de la metodología

Sobre ambos casos de estudio, se desarrolló una secuencia de implementación en tres fases de una serie de iniciativas orientadas a aumentar la productividad en la ejecución de actividades de desarrollo horizontal, entendiendo productividad como una función de los siguientes elementos:

- Tiempo eficaz planificado: corresponde a las horas efectivas en las cuales el personal está realizando actividades productivas; se obtienen descontando de la duración nominal de la jornada trabajo las pérdidas de carácter operativo (demoras en traslados inicio y fin de turno, colación, retiro de herramientas, entre otros) y las pérdidas por ineficiencias en la planificación de actividades.
- Tiempo de Ciclo: determinada por la duración de cada una de las actividades del ciclo minero, que pueden estar afectadas por pérdidas debido a indisponibilidad de equipos, interferencias durante la ejecución y actividades incidentales.
- Longitud promedio del disparo, dependiente del diseño de la perforación y la calidad de la ejecución de la perforación y tronadura.

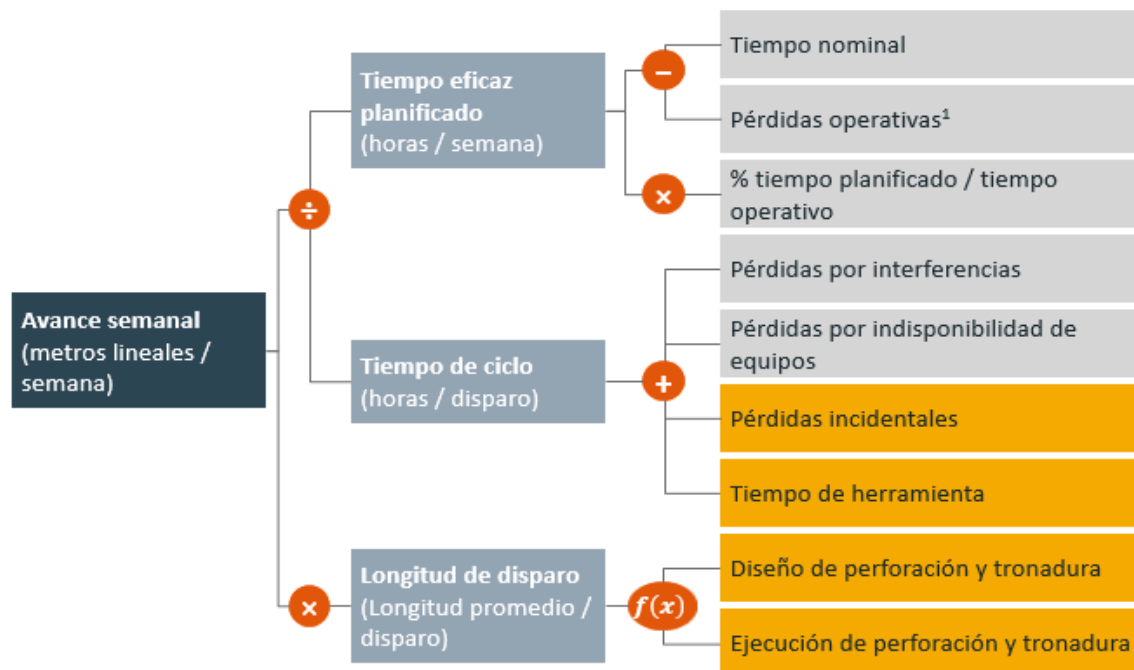


Ilustración 4-12 Habilitadores de aumento de productividad en desarrollos horizontales

Fuente: Dirección de Excelencia Operacional DET (2018)

La siguiente figura (4.4-2) muestra la secuencia de implementación (I) de la metodología en los casos de estudio vienen precedidas de la etapa de diseño (D) y de diagnóstico (Dg). El desfase entre Esmeralda y Recursos Norte, permitió el traspaso de mejores prácticas ya probadas desde un contrato a otro y mejorar los resultados obtenidos.

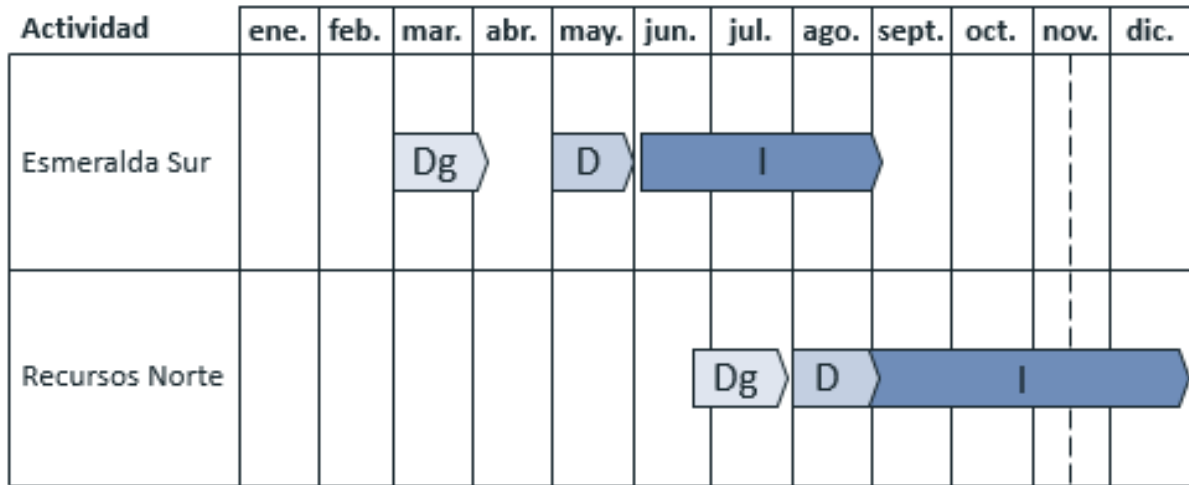


Ilustración 4-13 Programa de desarrollo e implementación de mejoras

Fuente: Dirección de Excelencia Operacional DET (2018)

4.4.1 Fase I: Diagnóstico del Caso Base (Dg)

Consistió en el estudio cuantitativo de una serie de indicadores de desempeño (KPI) tales como tiempos efectivos de trabajo tanto de bienes de capital como de trabajo, tiempos de ciclo de minería, rendimientos de las distintas operaciones unitarias y disponibilidad física de los activos, complementado con entrevistas al personal, revisión documental, observación directa de las actividades, entre otras (ver Ilustración 4-14), por un período de cuatro semanas.

	Qué medir	Herramienta	Cómo medir
Tiempo planificado (h. planificadas / turno)	▪ Pérdidas operativas	▪ OPE	▪ OPE cuadrilla con foco en inicio / fin de turno y colaciones
		▪ Análisis estadísticos	▪ Análisis de variabilidad de inicio / fin de turno y colaciones
Tiempo de ciclo (horas / disparo)	▪ Tiempo no planificado	▪ Análisis histórico	▪ Revisión histórica de: — Tiempo planificado vs. disponible — % tareas no ejecutadas según plan
		▪ Benchmarks	▪ Benchmarks internos entre equipos de planificación
Tiempo de ciclo (horas / disparo)	▪ Tiempo de ciclo de desarrollo minero	▪ Análisis estadísticos ▪ Tiempo de herramienta	▪ Análisis estadístico de variabilidad de tiempos ▪ Tiempo de herramienta por cada fase del ciclo minero con foco en: — Interferencias — Disponibilidad de equipos — Actividades incidentales
		▪ Pareto de fallas	▪ Pareto de fallas de equipos con baja disponibilidad
Longitud de disparo (metros / disparo)	▪ Longitud de disparo	▪ Análisis estadísticos ▪ Benchmarks ▪ Entrevistas	▪ Variabilidad de longitud de disparo ▪ Benchmarks externos e internos ▪ Entrevistas con ingeniería de perforación y tronadura para identificar oportunidades de mejora de diseño
		▪ Confirmación de proceso	▪ Cdp de perforación y tronadura para identificar desviaciones sobre el diseño

Ilustración 4-14 KPI fase diagnóstico

Fuente: Elaboración propia

Además se incluyeron observaciones a las dinámicas de planificación y otros elementos de gestión, para determinar las brechas respecto a la metodología del último planificador, presentada en la sección 3.3, y se determinaron los límites técnicos del proceso a través de herramientas de simulación, detallada en la sección 4.3.

El diagnóstico permitió dimensionar la oportunidad en cada uno de los factores antes señalados, e identificar las principales palancas de acción a implementar como parte del estudio.

Los resultados observados en ambos proyectos son bastante similares: bajo tiempo efectivo de trabajo, problemas de disponibilidad de equipos y baja efectividad de avance de disparos marcan la línea base de medición de los desarrollos horizontales.

	KPI	Medición	RRNN	Esmeralda
Avance desarrollo horizontal	▪ Avance semanal promedio	▪ Metros desarrollados	▪ 125 m/semana	▪ 66 m/semana
Tiempo planificado (h. planificadas / turno)	▪ Tiempo no planificado	▪ horas planificadas/horas disponibles	▪ 22%	▪ 36%
Tiempo de ciclo (horas / disparo)	▪ Tiempo de ciclo de desarrollo minero	▪ Duración ciclo minero	▪ 19,3 h	▪ 32,2 h
		▪ Pérdidas por interferencias	▪ 25%	▪ 13%
		▪ Disponibilidad de equipos	▪ 67%	▪ 62%
Longitud de disparo (metros / disparo)	▪ Longitud de disparo	▪ Longitud promedio	▪ 3,28 m	▪ 3,16 m

Ilustración 4-15 Principales resultados fase diagnóstica

Fuente: Elaboración propia

Analizando en detalle los resultados de las variables de mayor impacto en la productividad, se tiene lo siguiente:

Tiempo planificado

Ambos proyectos presentaban una utilización de la jornada laboral en actividades operacionales menor al 30% de las 9,3 h nominales por turno en interior mina (ver Ilustración 4-17). Las principales pérdidas del sistema estaban dadas por:

- Débil gestión de las actividades de inicio y fin de turno: inicio de trabajo efectivo se inicia alrededor de las 11 am, actividades rutinarias tales como la entrega de las pautas de trabajo, desplazamientos entre instalación de faenas y frentes de trabajo, entrega de materiales y llenado de documentación de seguridad, presentan mucha variabilidad en su ejecución, no se encontraban estandarizadas y son poco gestionadas por los jefes de turno y jefes de nivel de las constructoras.
- Comunicación deficiente entre el turno entrante y saliente: Se evidencia fallas de comunicación actividades relevantes y ausencia de estándar de cambio de turno.



Ilustración 4-16 Largas esperas detectadas en actividades de inicio de turno

Fuente: Levantamiento medido en terreno (2018)

- Descontrol de horarios en el proceso de colación: no hay una asignación del horario de colación sincronizada con la asignación de las actividades operativas, y no se controla su duración (tiempo medio de 2 h)
- Programación diaria de actividades cubre sólo el 40% del tiempo disponible. La mitad de las cuadrillas presentaron cuatro o menos horas planificadas, pese a que en ambos proyectos se realizan reuniones POD.

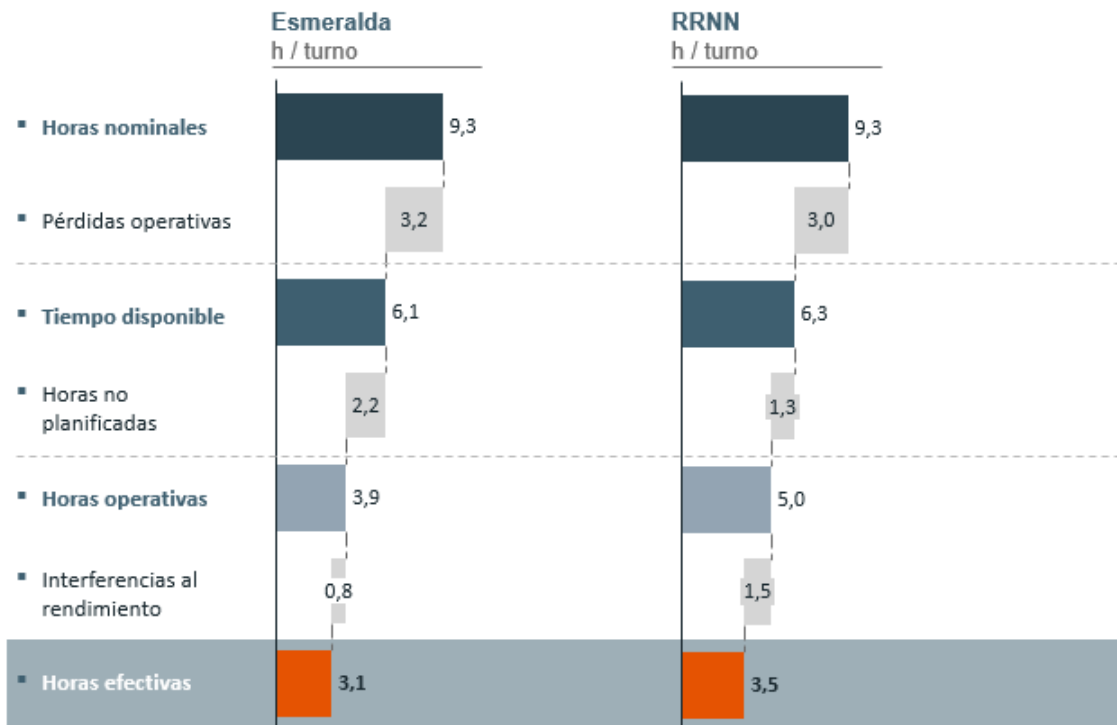


Ilustración 4-17 Línea base horas efectivas - Esmeralda Sur y Recursos Norte

Fuente: Levantamiento medido en terreno (2018)

Tiempo de ciclo minero

El análisis comparativo realizado al ciclo minero muestra una alta variabilidad y por ende, tiene un alto potencial de mejora respecto al primer cuartil de la medición (ver Ilustración 4-18).

Un factor determinante en estos resultados es la falta de estandarización en la ejecución y la diferencia de ejecución entre los diferentes grupos ejecutores en cada turno. Se puede apreciar en el gráfico que la única actividad que muestra un valor consistente entre ambos proyectos, y se realiza en intervalos de tiempo relativamente acotados es el carguío y tronadura de la frente, que cuenta con algunos estándares de apoyo a la ejecución.

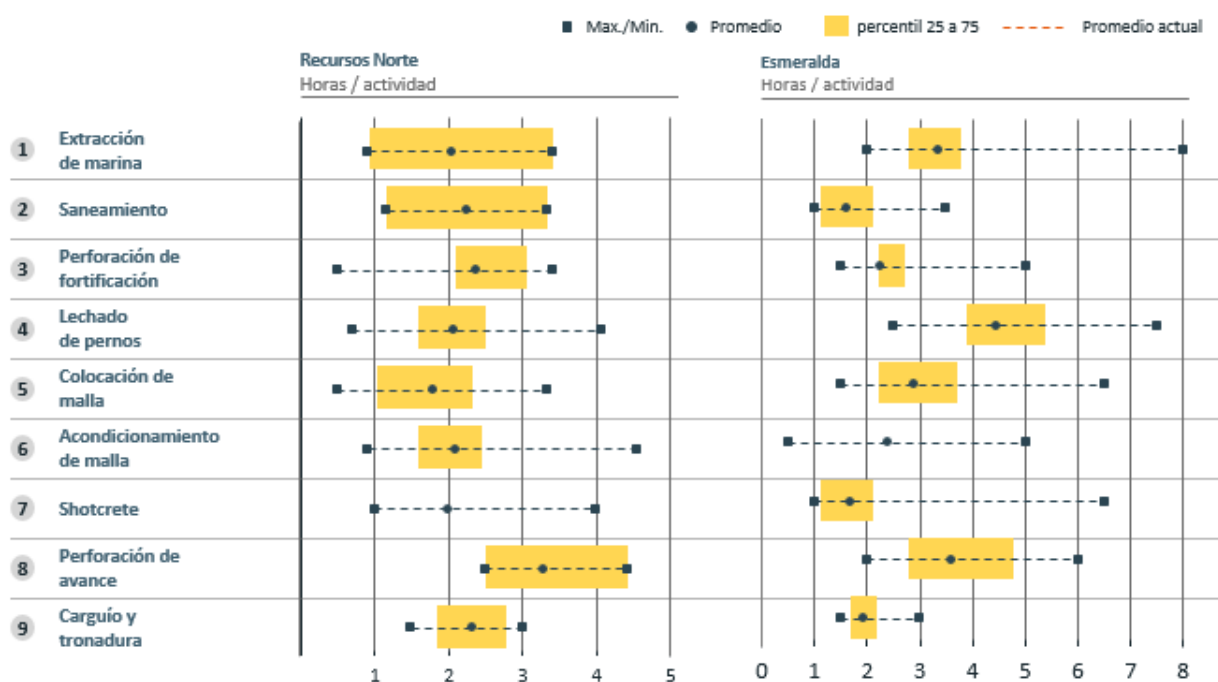


Ilustración 4-18 Medición de tiempos de ciclo minero de desarrollo horizontal - Esmeralda y Recursos Norte

Fuente: Levantamiento medido en terreno (2018)

Un segundo factor relevante de analizar es el alto número de interferencias producidas entre otros por:

- Escasa o nula gestión de transporte y vaciado marinas, lo que limita la cantidad de frentes disponibles o retrasa el ciclo.
- Falta de servicios auxiliares tales como agua, energía, que representan en conjunto un promedio 70 horas de detenciones a la semana.
- Interferencias por polvorazos o actividades de la operación de la mina.
- Suministro irregular de hormigón, debido a la falta de coordinación respecto a las actividades definidas en POD.

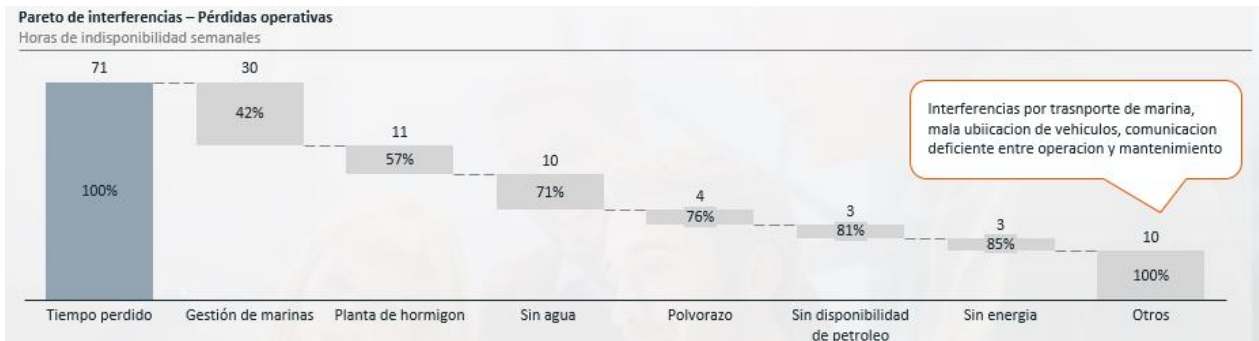


Ilustración 4-19 Pareto de causas de interferencias operativas

Fuente: Levantamiento en terreno (2018)

Finalmente, un tercer elemento de análisis es la disponibilidad de equipos. Las mediciones y entrevistas al personal de taller evidencian que ambas obras cuentan con áreas de mantenimiento enfocadas mayoritariamente actividades correctivas, con poco foco en el análisis causal y baja calidad de las reparaciones, como se observa en la Ilustración 4-20. A modo de ejemplo, en la Ilustración 4-21 se observa que el 42% de las fallas de los jumbos observadas durante el diagnóstico, corresponde a roturas de elementos menores, lo cual hace crítico el contar con suficiente stock de repuestos en taller.

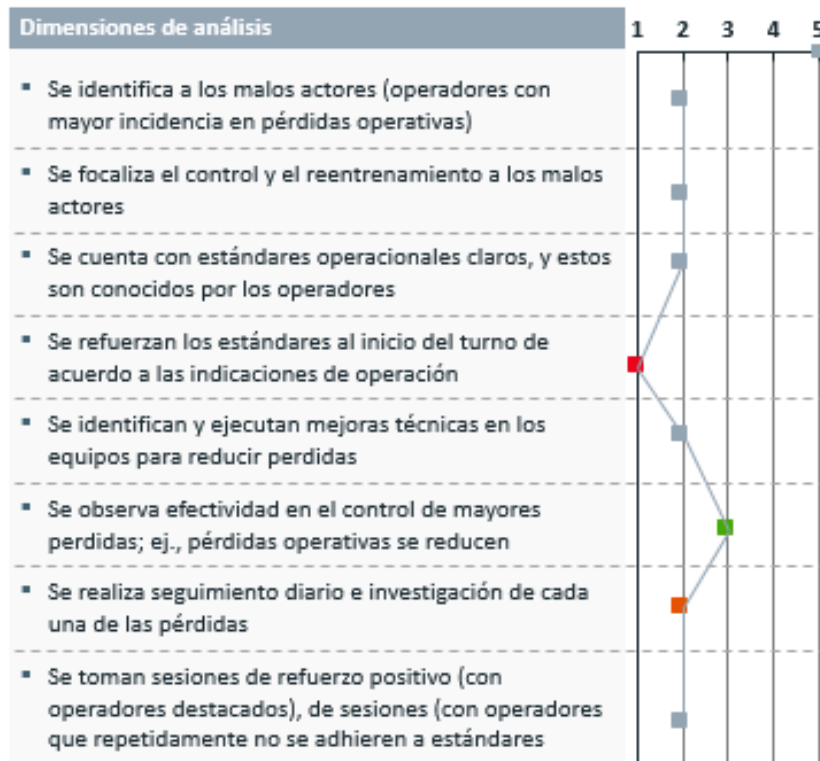


Ilustración 4-20 Análisis de pérdidas operacionales

Fuente: Entrevistas en terreno (2018)

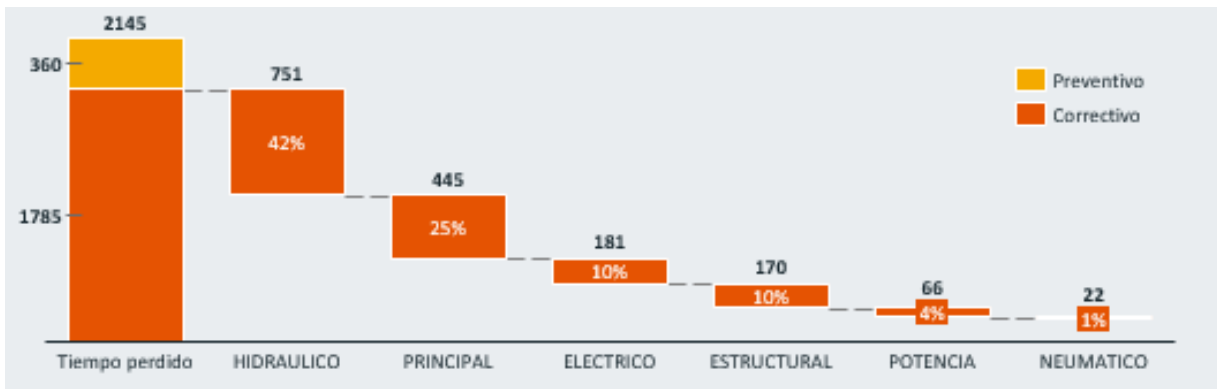


Ilustración 4-21 Pérdidas de disponibilidad en jumbos

Fuente: Levantamiento en terreno

Longitud de disparo

Los resultados del diagnóstico en relación a este ítem muestran, consistentemente con lo ya revisado, una alta variabilidad en función de quien operó la perforación, lo cual evidencia una falta de estandarización del proceso. El avance promedio de 3,14 y 3,28 metros para Esmeralda y Recursos Norte respectivamente (ambos valores bajo utilización de ANFO), indica un amplio potencial de mejora en este ítem con respecto a su mejor cuartil de desempeño, con un impacto directo en los índices de productividad.

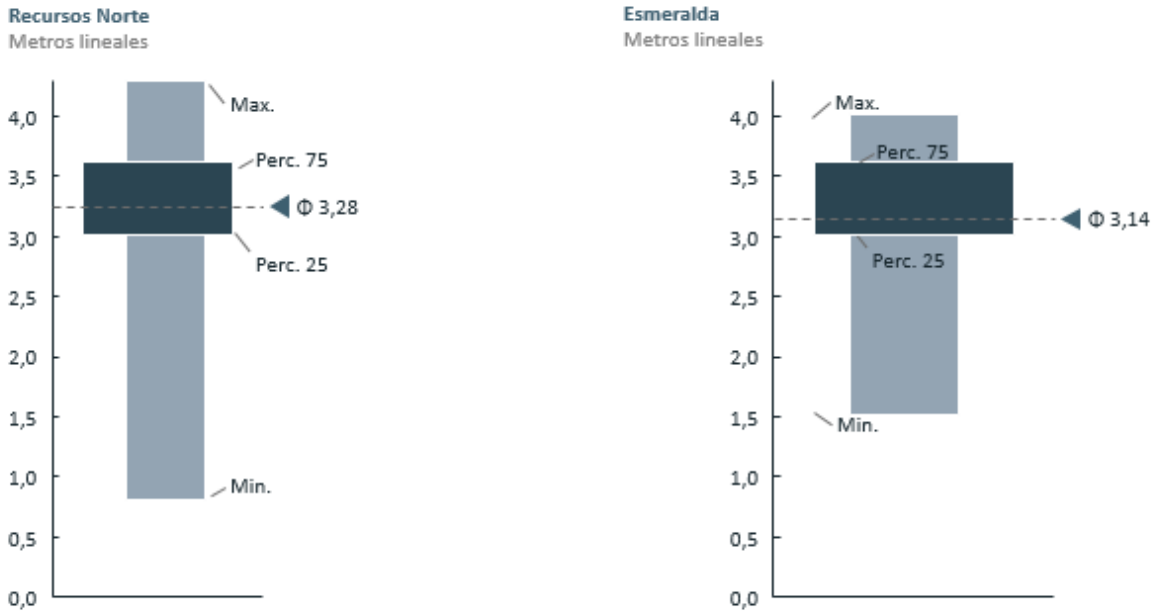


Ilustración 4-22 Análisis de eficiencia de disparos

Fuente: Levantamiento en terreno (2018)

Metodología de planificación

El sistema de planificación existente presentaba diversas brechas respecto a la secuencia de planificación propuesta bajo el modelo *last planner*.

En Proyecto Esmeralda, el aspecto más relevante era la ausencia de un equipo de planificación por parte del mandante (GOBM). Las funciones de planificación y control eran realizadas por personal del servicio de inspección técnica, con la responsabilidad de consensuar el programa mensual de obras emitido por la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo como parte de su proceso de planificación minera, con las capacidades y prioridades definidas por la oficina técnica de la empresa contratista.

Como segundo punto, se tiene que, pese a existir una reunión diaria de planificación de las actividades del día (POD), donde el Jefe de Terreno presenta los resultados del turno anterior e informa sobre las prioridades del día, no existiendo un nexo con la planificación mensual ni con el status real de las obras al final del turno anterior. El volumen de actividades asignadas, como se vio en la sección anterior, era cercano al 30% del tiempo disponible de las cuadrillas de trabajo.

Como observación final, se detectó que, pese a contar con una sala de control de la operación instalada desde varios meses atrás, ésta no estaba siendo aprovechada en su máximo potencial, principalmente debido a:

- Frecuentes desconexiones frente/sala: falta de adecuados medios de comunicación
- Frecuencia de reportabilidad sin definición
- Falta de información respecto a estado de frente, estado de equipos y fallas
- No contaba de con adecuados planos e implementación de soporte

En el caso de Recursos Norte, se contaba con un modelo de planificación relativamente más estructurado, en cuanto a la generación del programa mensual pero con similares falencias en lo relacionado a la operativización de éste por parte de la empresa contratista. Si bien ya se habían implementado en una primera etapa algunas metodologías lean en el proyecto, y se contaba con elementos tales como un POD estandarizado y funcionando de forma regular en turno A, una sala de control construida siguiendo los lineamientos de la salas Obeya (*Toyota Production System*) acondicionada con tableros de información de distinta índole (frentes en operación, status de equipos, información de marinas, cumplimiento del plan del día anterior) y un régimen de reportabilidad desde la frente operando en un 60%, esta información aún contenía muchos errores respecto a la realidad evidenciada en terreno, y por ende no estaba siendo utilizada por los supervisores de la empresa contratista para la programación del día siguiente, y prácticas como el análisis causal de incumplimientos había dejado de ser utilizado.

La siguiente figura resume los principales hallazgos en relación al estándar de prácticas basado en *last planner*.

Etapas	1 Preparación del Plan Maestro	2 Planificación Integrada	3 Planificación futura	4 Planificación de tareas semanales	5 Reuniones diarias	6 PPC
Cuándo	▪ 1 vez al inicio del proyecto	▪ 1 vez al inicio del proyecto	▪ 1 vez por semana	▪ 1 vez por semana	▪ 1 vez por turno	▪ Monitoreo semanal
PullPlanning	▪ Definición de hitos clave y su duración, utilizando como input la Carta Gantt del proyecto completo,	▪ Planificación hacia atrás desde el próximo hito para producir un cronograma detallado de actividades que defina entregas, relaciones, recursos y restricciones	▪ Identificación de restricciones pendientes para ejecutar las actividades en las siguientes 6 semanas, asignando propietarios y fechas límite para su eliminación	▪ Detalle ampliado de las actividades a un nivel operacional para cada área, definiendo cantidades, ubicaciones, coordinaciones y backlog	▪ Discusión en terreno de cómo se realizó cada actividad v/s el plan del día, el plan de mañana y sus restricciones pendientes y/o elementos de coordinación	▪ Las actividades se miden semanalmente como completas o incompletas, se clasifican las desviaciones y se realizan análisis causa raíz para resolverlas
Actual	▪ Definición de hitos clave, sin duración clara ▪ El plan varía/actualiza numerosas veces	▪ Se planea siguiendo una línea crítica ▪ No se detallan relaciones entre recursos ni restricciones	▪ El PAM identifica prioridades y secuencia constructiva pero la adherencia es baja (~30%) ▪ Se definen gestiones a realizar con DET: ej., servicios, suministros, coordinaciones	▪ El programa semanal solo indica número de disparos por frente e hitos ▪ No existen detalles de la secuencia en la que se han de realizar los trabajos ▪ No se planifican recursos	▪ Discusión en terreno de actividades diarias; ej., se planea en periodos de 2h por actividad, planeando entre 4h y 6h por cuadrilla/día ▪ Discusiones sobre restricciones o coordinación solo se realizan "ad hoc"	▪ Las actividades se miden semanalmente como completas o incompletas, los análisis causa raíz son prácticamente inexistentes

Ilustración 4-23 Resumen diagnóstico planificación

Fuente: Levantamiento en terreno (2018)

Nivel de aplicación global de metodologías de aumento de productividad

De acuerdo a lo observado en el desarrollo de las actividades y en entrevistas con supervisores y trabajadores de la empresa constructora como en el desarrollo habitual de sus actividades permite establecer que el nivel de conocimiento y manejo de metodologías con foco en el aumento de productividad es bajo.

En general, la línea conoce algunas metodologías o conceptos, pero en ningún caso se apreció una aplicación práctica de éstos, que permitiera esperar mejoras en los rendimientos de los equipos de trabajo o la minimización sistemática de las interferencias que afectan el desarrollo de las actividades, lo que representa un amplio espacio de mejora.

Desde el punto de vista de los tipos de desperdicio definidos en las metodologías *lean*, las actividades de desarrollo horizontal tienen un largo camino por recorrer para transformarse en una cadena de producción optimizada.

4.4.2 Fase II: Diseño del modelo operativo (D) y priorización de los planes de acción

Una vez concluida la fase diagnóstica, a través de una serie de talleres que contaron con la participación tanto del equipo administrador del proyecto como los ejecutores, se levantó una serie de acciones orientadas a mejorar el rendimiento actual que permitiesen el logro de los hitos constructivos del período. Cada una de estas acciones fue priorizada en función del esfuerzo involucrado en su ejecución (determinado en gran medida por el plazo de ejecución) y su impacto directo en el aumento de los metros de avance.

Con esta información se construyó el respectivo plan de implementación táctica (PIT), que se convertiría en la hoja de ruta del equipo para asegurar el logro de los objetivos planteados. En base al impacto esperado de cada palanca se determinó además, la aspiración del período.

De forma genérica, el diseño del plan de implementación de cada proyecto se estructuró en torno a 4 ejes o palancas:

Tiempo operativo: acciones que buscaban aumentar el tiempo efectivo de los recursos en la frente, tales como:

- Estandarización de las actividades de inicio y fin de turno, estableciendo una secuencia clara y sencilla de seguir para los operadores, con una banda de horario objetivo en cada una de las etapas además de estándares habilitadores de las actividades rutinarias que se desarrollan, implementación de metodologías de confirmación de procesos para detectar el grado de adherencia a los mismos. El diseño considera la implementación de 7 estándares considerados “críticos”, y la posterior bajada de un segundo set complementario, además de otros que pudiesen ser requeridos durante el proceso.
- Mayor utilización de activo: con el objetivo de aumentar las horas planificadas y la mejora de la coordinación entre los diferentes actores. Los elementos centrales de esta palanca son la implementación de la metodología last planner, incorporando las prácticas faltantes según el diagnóstico y rediseñando aquellas que estaban ya instaladas, además del desarrollo de una base de datos centralizada, con el fin de crear un sistema de dato único que sea la fuente oficial de información y reportabilidad del proyecto
- Eliminación de interferencias con la operación y habilitación de servicios, para reducir las detenciones o incumplimientos por indisponibilidad en las zonas de trabajo.
- Robustecimiento de la estructura organizacional de las áreas de planificación tanto del mandante (GOBM/GPRO) como de la empresa ejecutora

Tiempo de ciclo minero: diseño de estándares con el objetivo de reducir los tiempos actuales de cada etapa del ciclo, y acercarlo a sus mejores niveles de desempeño histórico, eliminando la variabilidad.

Eficiencia de disparo: acciones orientadas a aumentar el largo del disparo a través de

- Estandarización de diagramas y ejecución de actividades de perforación, y acciones de mejora del control de la ejecución realizado
- Implementación de sistema de navegación en equipos (en caso de disponer de equipos con tal característica)
- Cambio de ANFO a uso de emulsión

Disponibilidad de equipos: con acciones cuyo foco era aumentar el rendimiento tanto de los equipos, mediante la estandarización de los procesos de mantenimiento y fomentar el análisis permanente de información relativa a las fallas y su causalidad, por ejemplo a través de mecanismos de resolución de problemas.

Como parte del diseño de este sistema operativo y tomando como base el cálculo del límite técnico para desarrollos horizontales, se definió un impacto potencial para Esmeralda en el tiempo efectivo de trabajo de 4,5 horas, con un consiguiente aumento en los metros de avance horizontal, pasando de 300 m/mes a 440 m/mes a septiembre 2018, y 5,5 horas efectivas con 576 m/mes a noviembre 2018.

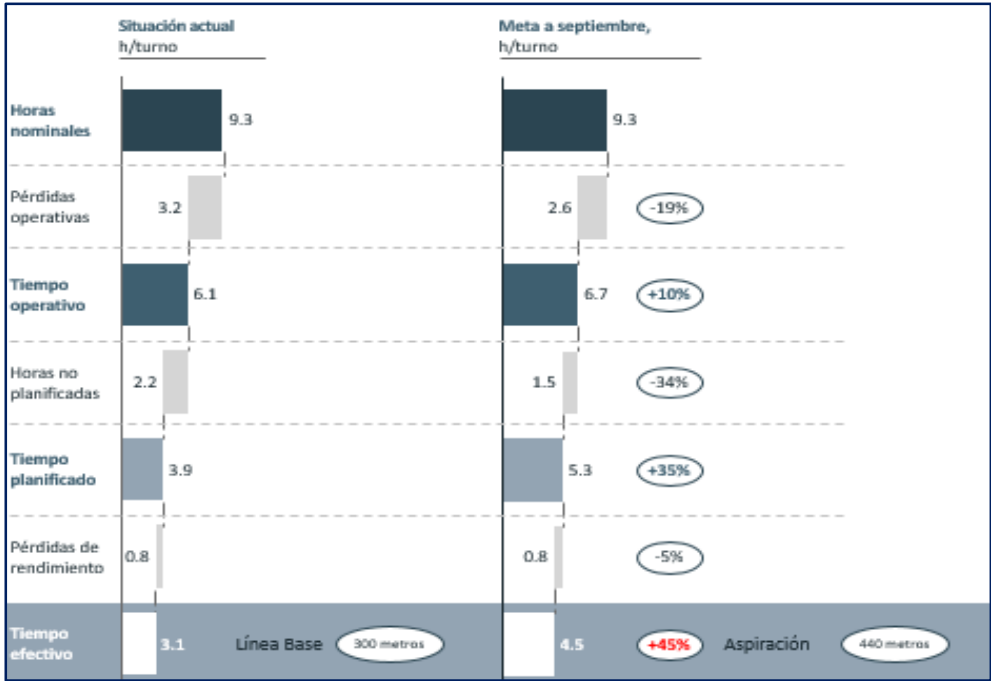


Ilustración 4-24 Aspiración a septiembre 2018 - Esmeralda

Fuente: Dirección de Excelencia Operacional DET (2018)

Para el caso de Recursos Norte, de igual forma se definió un potencial de avance mensual de 1000 metros de desarrollo horizontal a diciembre 2018, acompañado de aumento en el tiempo efectivo de trabajo de un 60% equivalente a 5,5 horas.



Ilustración 4-25 Aspiración a diciembre 2018 - Recursos Norte

Fuente: Dirección de Excelencia Operacional DET (2018)

4.4.3 Fase III: Implementación de mejoras (I)

Durante esta fase, de cuatro meses de duración, se implementaron las acciones contenidas en los planes tácticos definidos en la etapa anterior.

Para asegurar una implementación exitosa de las mejoras, se trabajó en primer lugar en lograr el involucramiento de la totalidad del equipo de proyecto (nivel supervisión tanto del mandante como de la empresa ejecutora), entendiendo que la motivación y entendimiento son la base que habilita el logro de buenos resultados. Para ello, se desarrollaron actividades tales como entrenamientos en metodologías lean, coaching a los líderes y soporte de la Dirección de Excelencia Operacional de la división.

En segunda instancia, para verificar de manera regular la eficacia de las acciones de mejora y asegurar la implementación dentro de los plazos definidos, se implementaron instancias de seguimiento semanales, además de un monitoreo continuo de los principales indicadores de desempeño de los procesos, en los diferentes niveles de la organización mandante utilizando árbol de KPI.

4.5. Estudio de simulación para el límite técnico

Como base comparativa se realizó el cálculo del límite técnico de los contratos en análisis. Esto consiste en determinar la capacidad máxima de metros de galería fortificada avanzada por las empresas en un horizonte determinado de tiempo.

Para esto se utilizó el software de simulación **UDESS (Universal Delphos Sequencer and Scheduler)**, software agendador óptimo de actividades, desarrollado por el laboratorio de planificación minera **Delphos** de la Universidad de Chile, el que modela a partir de una definición de actividades secuenciales y maximiza una de las variables de interés, la que para este caso será el número de disparos. (T. González, 2017).

La principal diferencia con otros softwares de la industria que permiten realizar agendamientos, como Microsoft Project o Primavera, es que UDESS entrega solución óptima, debido a que incorpora un algoritmo de optimización lineal. El programa funciona utilizando actividades y precedencias, las cuales a través de una serie de restricciones que generan un problema lineal a ser solucionado mediante la aplicación del algoritmo de optimización.

A cada actividad se le pueden asignar diversos atributos por ejemplo un costo o un beneficio por completarla, el consumo de múltiples recursos para su finalización. Por otra parte todas las actividades deben incorporar un “Max rate”, parámetro que se entiende como “cuantas veces puedo realizar la actividad dentro de un periodo” lo que está directamente relacionado con los rendimientos de cada actividad (T. González, 2017).

Rendimientos por actividad

Cada actividad del ciclo minero tiene una tasa máxima definida en función de mejores resultados históricos. Si un Max rate es 1.5, esto significa que la actividad se puede realizar 1.5 veces dentro del periodo que se defina en el modelo.

Precedencias

Se definen las precedencias a la relación que existe entre dos actividades consecutivas, en que una actividad inicial debe completarse antes de poder acceder o desarrollar la actividad sucesora. UDESS tiene la capacidad de trabajar con dos tipos de precedencias, las del tipo “o” y las del tipo “y”. Softwares comerciales para el agendamiento de actividades como Primavera o Microsoft Project, solo utilizan precedencias del tipo “y”, por lo tanto, la utilización de UDESS presenta una ventaja con respecto al uso de los otros programas.

Restricciones

El software **UDESS** dispone de 6 tipos de restricciones para realizar los modelos las cuales se detallan a continuación:

- Restricción de recurso operacional: restricción que limita el consumo de un recurso dado para todas las actividades del modelo.
- Restricción de capacidad de recurso inicial: restricción que limita el consumo de un recurso dado, al iniciar las actividades.
- Restricción de progreso límite: restricción que obliga realizar un cierto progreso de una actividad en un rango de tiempo determinado.
- Restricción de rango de recursos: restricción que limita el consumo de un grupo de actividades, de un recurso determinado.
- Restricción de compatibilidad de actividades: restricción que limita el desarrollo simultáneo de un grupo de actividades en un intervalo de tiempo.
- Restricción de periodo de inicio: Restricción que limita el intervalo de tiempo en el que un grupo de actividades debe comenzar.

Resultado de cálculo del límite técnico

Tal como se explicó anteriormente, para el cálculo del límite técnico se consideró simulaciones con rendimientos nominales iguales a los máximos histórico en la División El Teniente (ver Ilustración 4-26).

<i>Periodo: 2011 - 2017</i>							
Desarrollos Horizontales		Multifrente	Frente única	Punto de extracción			
	Rendimiento máximo	405 m/mes	100 m/mes		Rendimiento máximo⁽¹⁾	Esmeralda	Reservas Norte
	Sector	Panel 1 Producción	Esmeralda Acarreo		Año	2017	2014
	Año	2011	2017				
	N° de frentes	15	1				
Muros de confinamiento		Esmeralda	Reservas Norte	Carpeta de Rodado		Nivel de Producción	Nivel de Acarreo
	Rendimiento máximo⁽¹⁾	12 un/mes	10 un/mes		Rendimiento máximo	159 m/mes	117 m/mes
	Año	2013	2014		Sector	Esmeralda	Reservas Norte
					Año	2016	2017

Ilustración 4-26 Rendimientos máximos de preparación de minas 2011-2017

Fuente: Gerencia de Obras Mina DET (recopilación 2011 a 2017)

Los supuestos utilizados en el modelo para cálculo de límites técnicos en función de jornadas de trabajo y número de frentes se presentan en la Ilustración 4-27 e Ilustración 4-28.

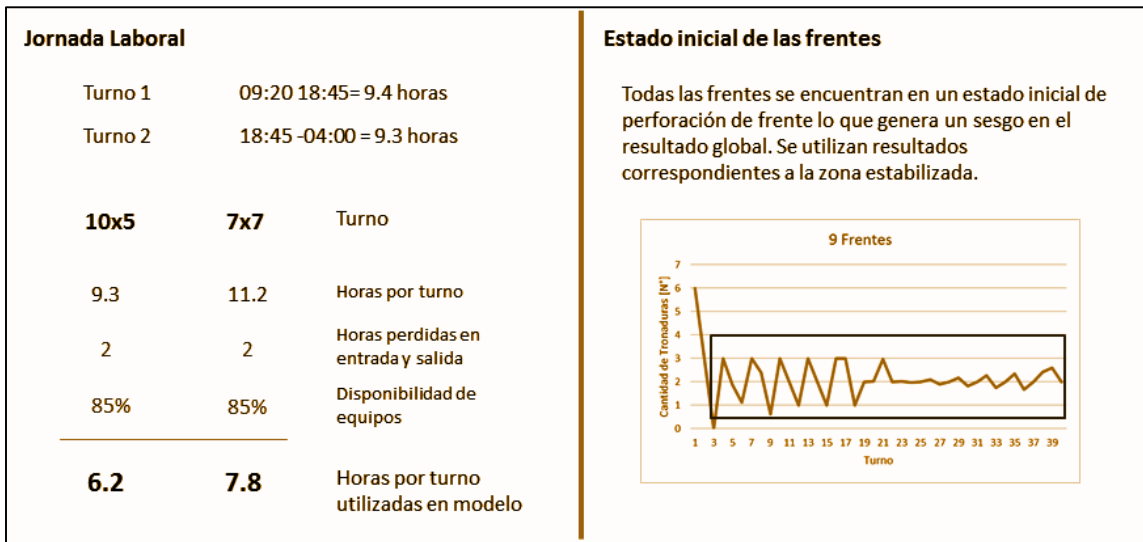


Ilustración 4-27 Jornadas de trabajo y estado de frentes UDESS

Fuente: Gerencia de Obras Mina DET (2018)

#	Operación Unitaria	Duración [Hrs]					
1	Perforación de Frente	2,0		Parámetros de Frente			
1.1	Tiempo Perforación	1,1		Avance por disparo	3,6 m/disp		
1.2	Tiempo Empate	0,3		Sección	14,5 m ²		
1.3	Tiempo Instalación	0,33		Sobre-excavación	18% %		
1.4	Tiempo desinstalación	0,33		Esponjamiento	30% %		
2	Tronadura (Quemar)	1,5		Volumen esponjado	80,1 m ³		
2.1	Tiempo de Carguío	1,25		Largo de Perforación	3,8 m/barreno	Parámetros LHD	
2.2	Tiempo Conexiónado	0,25		Nº de Barrenos	51 un	Capacidad Balde	7 yd ³
3	Ventilación	1				Capacidad Balde	5,3515 m ³
4	Acuñadura	0,5		Parámetros de Marina			
5	Marinas	2,04		Distancia de Acarreo	600 m	Velocidad Cargado	8 km/hr
5.1	Tiempo viaje cargado	1,13		Número de Baldadas	15 un	Velocidad Descargado	15 km/hr
5.2	Tiempo viaje descargado	0,6				Tiempo de Carguío	0,75 min
5.3	Tiempo de carga	0,1875				Tiempo de descarga	0,5 min
5.4	Tiempo de descarga	0,125		Parámetros de Jumbo de Avance			
6	Preshotcrete	0,5		Velocidad de Perforación	1,5 mb/min	Parámetros de Fortificación con pernos	
7	Perfor. Pernos	1,9		Nº de Brazos	2 un	Número de Pernos por frente	44 un
7.1	Tiempo Perforación	1,1		Tiempo de empate	0,33 min	Metros barrenados por perno	2,2 m/perno
7.2	Tiempo Empate	0,24					
7.3	Tiempo Instalación	0,33		Parámetros de Jumbo de Fortificación			
7.4	Tiempo desinstalación	0,25		Velocidad de Perforación	1,5 mb/min		
8	Split Set	1		Nº de Brazos	1 un		
9	Malla a la frente	1		Tiempo de empate	0,33 min		
10	Coloc. Pernos	2					
11	Frago Perno	2					
12	Malla	2,5					
13	Shotcrete	0,5					
	Total Ciclo	18,44					

Ilustración 4-28 Tiempo de ciclo minero nominal para cálculo de límite técnico

Fuente: Gerencia de Obras Mina DET (2018)

El estudio de trabajo óptimo de un set de equipos aborda estimar a través del uso del UDESS los ciclos posibles de alcanzar dentro del desarrollo horizontal, ruta crítica de la preparación de minas. El resultado obtenido de la simulación asciende a 891m al mes para el caso de contar con una empresa con turno continuo, 3 set de equipos y sobre 9 frentes de trabajo disponibles (ver Ilustración 4-29).

Desarrollos Horizontales

Consideraciones

- Horas efectivas por turno y características del modelo
- 10 x 5 → 6.2 horas
- 7 x 7 → 8 horas efectivas
- Tiempos de ciclo y características del modelo
- Se evaluaron casos con y sin ventana de tronadura
- Optimización maximiza la cantidad de tronaduras a realizar

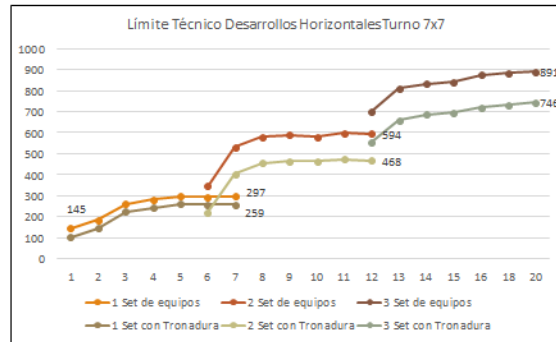
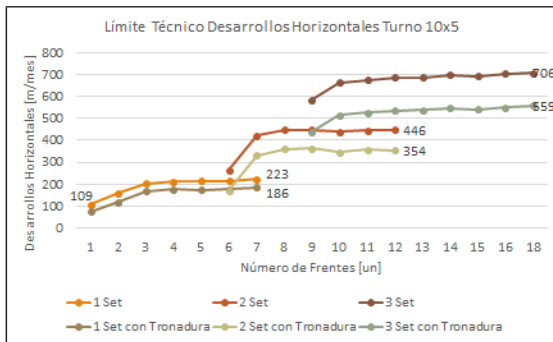


Ilustración 4-29 Resultados de simulación de desarrollos horizontales

Fuente: GOBM Gerencia de Obras Mina.

5. RESULTADOS

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos luego de la implementación de las acciones de mejora propuestas como plan de mejores prácticas de preparación minera en respuesta a los objetivos generales y específicos de este trabajo.

5.1. Caso de estudio - Proyecto Esmeralda

Luego de finalizado el período de implementación de palancas operativas, se obtuvieron resultados positivos en algunas de las variables críticas en observación.

En primer lugar, se tiene que al término del mes de septiembre, tal como se observa en la Ilustración 5-1, los desarrollos horizontales presentan una mejora sostenida, llegando a valores promedios sobre 100 m/semana, y se estabilizan los 6 disparos/día.

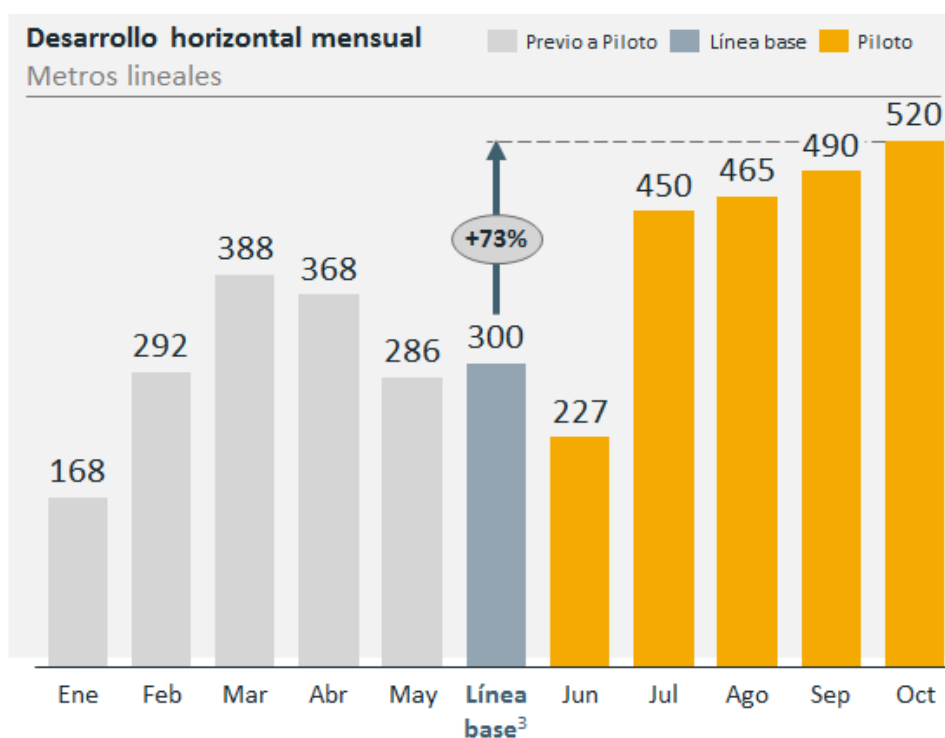


Ilustración 5-1 Resultados a septiembre 2018 - Esmeralda

Fuente: Elaboración propia

La evolución de la cantidad de metros desarrollados es producto del trabajo realizado en temas relacionados con la disciplina operacional y el aumento del tiempo efectivo de trabajo, las mejoras a los procesos de mantenimiento para apalancar aumento de la disponibilidad de equipos críticos, y los cambios realizados en la metodología de planificación diaria de actividades. Durante la fase de implementación, se decidió concentrar los esfuerzos en estos tres ámbitos en por sobre el resto de las palancas, debido a su mayor potencial de impacto en el período en evaluación y nivel de esfuerzo requerido para su captura.

Disciplina operacional

Las acciones de mejora implementadas, orientadas a aumentar el tiempo efectivo de trabajo se agruparon en dos tipos:

- **Quick wins** (acciones de breve ejecución/alto impacto) para capturar tiempos de desperdicio en las actividades de inicio de turno. Estos pasaron principalmente por reubicación de servicios críticos para el inicio de turno en lugares más cercanos a las frentes de trabajo, y modificación de las rutas de desplazamiento de los trabajadores desde las zonas de llegada de buses.

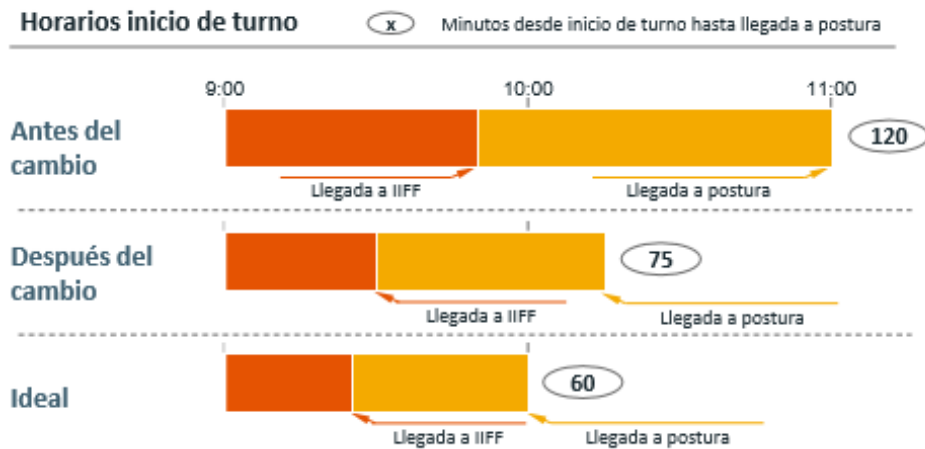


Ilustración 5-2 Impacto de aplicación de quick wins inicio de turno - Esmeralda

Fuente: Dirección de Excelencia Operacional DET (2018)

- Estandarización de las actividades más críticas de inicio y fin de turno: entrega de pautas, entrega de materiales y herramientas, preparación de documentos, reportabilidad a fin de turno.

Estándar Inicio de Turno NP Minería		ESTÁNDAR PRIORITARIO		
Variedad	Objetivo	Actualización	Resp. Estándar	
1	Aumentar tiempos efectivos de trabajo	23/07/2018	Jefe de Turno	
		Resp. Ejecución:	Jefe de Nivel	
		EPI asociado:	- Hora Inicio de Actividades	
Actividad	Descripción	Horario Actividad		Duración
1	Llegada a barrión cívico nivel de producción	T1 09:00 T2 09:00	T1 09:00 T2 09:00	
2	Traslado e instalación de fauna NP	T1 09:00 T2 09:00	T1 09:05 T2 09:05	5 Minutos
3	Marcar tarjeta de registro e ingreso zona 27	T1 09:15 T2 09:05	T1 09:20 T2 09:10	5 Minutos
4	Reunión inicio de turno	T1 09:20 T2 09:20	T1 09:30 T2 09:30	10 Minutos
5	Retiro de KIt herramientas y materiales	T1 09:30 T2 09:30	T1 09:40 T2 09:30	10 Minutos
6	Traslado a frentes de trabajo	T1 09:40 T2 09:30	T1 09:50 T2 09:40	10 Minutos
7	Preparación de documentos en postura	T1 09:50 T2 09:40	T1 10:00 T2 09:50	10 Minutos

Estándar Fin de Turno NP Minería		ESTÁNDAR PRIORITARIO		
Variedad	Objetivo	Actualización	Resp. Estándar	
1	Aumentar tiempos efectivos de trabajo	13/08/2018	Jefe de Turno	
		Resp. Ejecución:	Jefe de Nivel	
		EPI asociado:	Hora Inicio de Actividades	
Actividad	Descripción	Horario Actividad		Duración
1	Dejar equipo cercano a la postura del próximo turno	T1 17:40 T2 09:00	T1 17:50 T2 09:10	10 Minutos
2	Reportar estado final de actividades en la postura y equipar al jefe de Nivel	T1 17:50 T2 09:30	T1 18:00 T2 09:20	10 Minutos
3	Devolver herramientas a bodega	T1 18:00 T2 09:30	T1 18:10 T2 09:30	10 Minutos
4	Dirigirse a la instalación de fauna del NP y marcar su tarjeta de registro de salida del turno y salida zona 27	T1 18:10 T2 09:30	T1 18:15 T2 09:35	5 Minutos
5	Ir al Análisis	T1 18:15 T2 09:35	T1 18:20 T2 09:40	5 Minutos

Ilustración 5-3 Ejemplos de estándares implementados inicio y fin de turno - Esmeralda

Dirección de Excelencia Operacional DET (2018)

Fuente:

Ambas iniciativas tuvieron un impacto positivo en el tiempo efectivo de trabajo, el cual se ha estabilizado en torno a las 4,5 horas (para una jornada de trabajo de 9,3 horas) pasado el mes de septiembre.

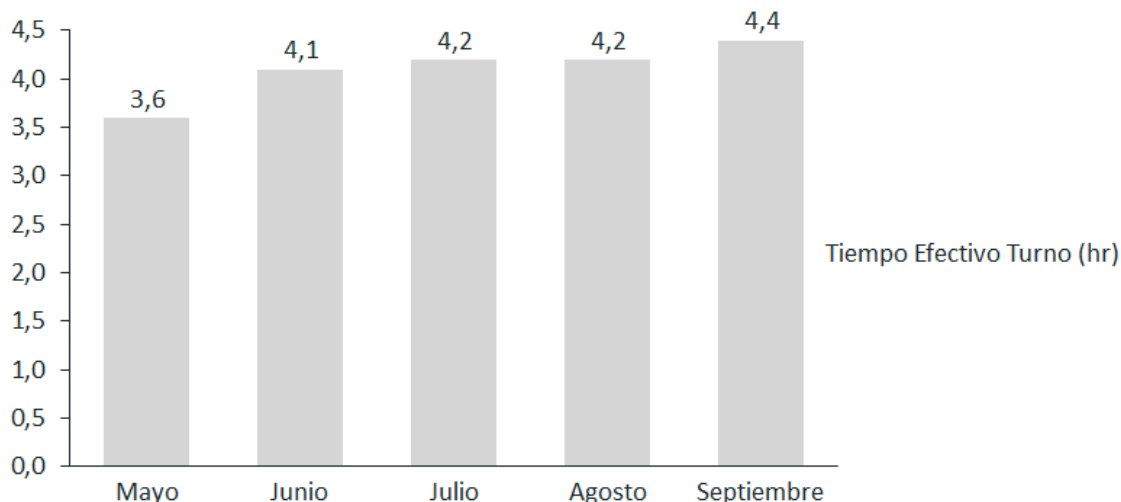


Ilustración 5-4 Aumento tiempo efectivo a septiembre 2018 - Esmeralda

Fuente: Elaboración propia

Planificación

La implementación de una nueva metodología de programación diaria de disparos, basada en 3 disparos días y tres disparos noche (8 am y 4 pm respectivamente), permitieron generar holguras y mayor flexibilidad para la asignación de actividades a las cuadrillas, generando continuidad operacional en el ciclo de desarrollo minero toda vez que al repartir las actividades del ciclo minero se genera un proceso continuo que genera menor embotellamiento por aumento de frentes disponibles en las distinta etapas del ciclo otorgando mayor utilización de equipos y por consiguiente resultado positivo en productividad de los metros de avanzados.

Mantenimiento

De igual manera, la aplicación de estándares de mantenimiento con foco en la sistematización del análisis causal de fallas, posterior prevención de las más repetitivas y el agilizar la atención de equipos tanto en terreno como en taller, impactó positivamente en la disponibilidad de los equipos críticos. Según se observa en la siguiente Ilustración 5-5 Evolución de disponibilidad jumbos avance a septiembre 2018- Esmeralda, durante el mes de septiembre, se sobrepasó por primera vez en el año el compromiso contractual de 85% de disponibilidad de jumbos, valor que se mantuvo prácticamente constante hasta el término del presente estudio.

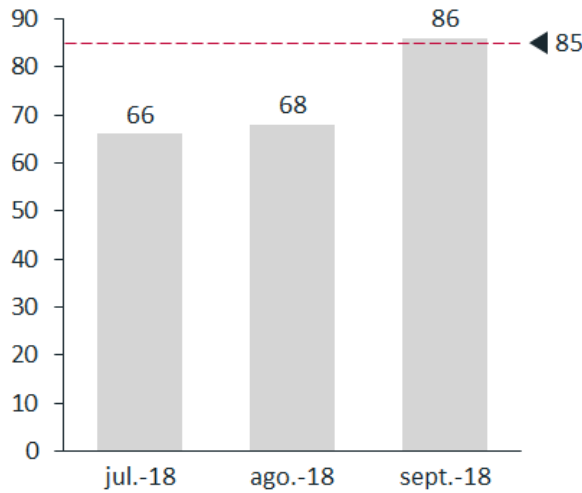


Ilustración 5-5 Evolución de disponibilidad jumbos avance a septiembre 2018- Esmeralda

Fuente: Elaboración propia

Productividad

Para sets formados por 2 jumbos (1 de avance, 1 de fortificación) y 2 cuadrillas de minería la productividad por set de equipo presenta una historia de mejora creciente, llegando alcanzar valores de 62 m/set como se presenta en la Ilustración 5-6 Evolución Productividad – Proyecto Esmeralda Sur para nuevo contrato encargado de ejecución de obras 2019-2022.

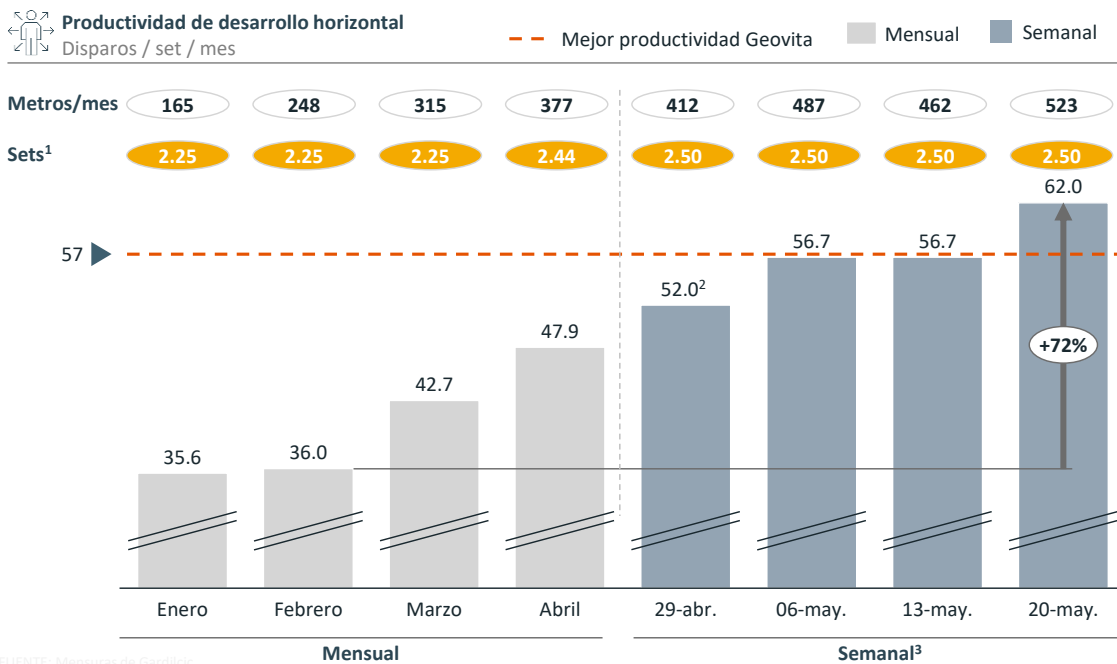


Ilustración 5-6 Evolución Productividad – Proyecto Esmeralda Sur

Las primeras 3 semanas del mes de mayo 2019 la productividad se mantuvo sobre 50 disparos/mes/por set de equipo [disp/m/set] y se alcanzó cifras de 62 [disp/m/set] la última semana del mismo mes.

5.2. Caso de estudio - Recursos Norte

De igual manera a lo ocurrido en Esmeralda, las mejoras implementadas en Recursos Norte se reflejaron en un aumento en los desarrollos horizontales en el período septiembre – diciembre 2018 en un 31% respecto a la línea base al inicio del estudio.

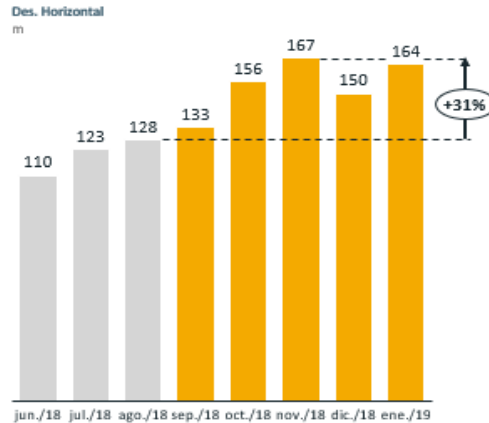


Ilustración 5-7 Evolución avance horizontal - Recursos Norte

Fuente: Elaboración propia

Dado que la implementación de este sistema operativo fue posterior al piloto en Esmeralda, se recogieron los aprendizajes y se decidió priorizar las palancas con foco en planificación, buscando una implementación completa de la metodología *last planner*, y manejo de interferencias, principales frentes de pérdida identificadas.

Planificación

En la búsqueda de aumentar las horas planificadas por recurso, un primer paso fue el rediseño de la sala de control existente y de la reunión diaria de planificación de obras (POD) incorporando revisión de KPI relevantes para la gestión del turno y mejorando los tableros de planificación existentes.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5-8 Mejoras a sala de control y reunión POD - Recursos Norte

A la fecha de término del estudio, se encontraban totalmente operativas las reuniones de planificación semanal y de programación de 36 horas, que tienen por objetivo identificar y levantar restricciones que puedan afectar el cumplimiento del plan, dentro de un horizonte de tiempo de 3 semanas, y asignación de recursos, con mirada de cortísimo plazo. Tanto el equipo de la gerencia de proyectos DET como la empresa ejecutora, designaron recursos específicos para las actividades de planificación en turno 7x7, de forma de establecer una relación constante con los jefes de terreno.

Todas estas medidas, en su conjunto, lograron reducir las pérdidas por planificación desde 1,3 h (línea base diagnóstico) a 0,3 h a enero 2019. Es importante notar que la principal reducción se debe a que las cuadrillas de trabajo y equipos cuentan con asignación de actividades la totalidad de las horas disponibles.

Pérdidas Operativas, horas	Causas aparentes	Impacto, horas
Tiempo mal planificado	<ul style="list-style-type: none"> Retraso en tarea anterior Estado de frente mal reportado 	0,2 0,1
Tiempo no planificado	<ul style="list-style-type: none"> Esperando a término de turno 	0,02

Ilustración 5-9 Pérdidas por planificación a enero 2019 - Recursos Norte

Fuente: Elaboración propia

Gestión de interferencias

Las interferencias fueron gestionadas a través de dos vías:

- Planificación: a través de la incorporación de los servicios, marinas y RISES al plan de actividades mensual (PAM) para asegurar que sean ejecutados en el plazo requerido por las actividades del ciclo minero. Estas actividades además comenzaron a ser controladas en la reunión POD a través de tableros y KPIs.
- Estandarización de actividades de interrelación con la operación mina, en lo relativo al transporte y vaciado de marinas, identificado como factor crítico en el diagnóstico. Para ello, se emitió una serie de protocolos de acuerdo con el área operativa, en los cuales se definieron una serie de obligaciones para las partes.

Como se observa en el siguiente gráfico, el impacto de estas medidas fue la reducción de las pérdidas en por este concepto en un 50%. Lo más notorio de estos resultados, es la desaparición de las interferencias por concepto de marinas.

Pérdidas por Interferencias, horas	Causas aparentes	Impacto, horas
En postura	<ul style="list-style-type: none"> Confeción de ART En espera Des/instalación de servicios 	0,3 0,2 0,2
Interferencias e ind. de equipos	<ul style="list-style-type: none"> Falla de jumbo Otros / no especificado 	0,06 0,04

Ilustración 5-10 Pérdidas por gestión de interferencias a enero 2019 - Recursos Norte

Fuente: Elaboración propia

Longitud del disparo

Como tercer eje de desarrollo, durante el último mes del estudio se inició la implementación de la palanca de mejora de eficiencia del disparo en que se modificó el explosivo utilizado para llevar a cabo tronaduras de avance pasando de ANFO a emulsión explosiva, esta última con mejor VOD y menor generación de gases producto de la reacción química de alta velocidad la que permite evacuación comparativamente más rápida de gases de la frente y mejor fragmentación de la roca lo que agiliza los proceso de acuñadura y retiro de marinas.

En la segunda semana de implementación, el avance por disparo presentaba una mejora de un 5% respecto a la línea base.

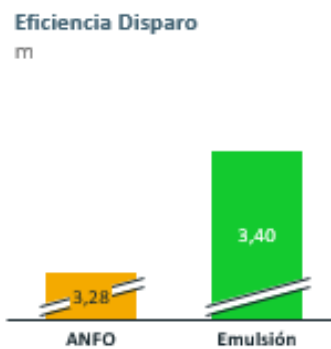


Ilustración 5-11 Eficiencia de disparo ANFO vs emulsión - Recursos Norte

Fuente: Elaboración propia

Productividad

Para sets formados por 2 jumbos (1 de avance, 1 de fortificación) y 2 cuadrillas de minería, la productividad por set de equipo presenta una historia de mejora creciente, llegando alcanzar valores de 76 disparos/mes/set como se presenta en la Ilustración 5-12. La eficiencia media resultante alcanzó 3,4 metros/disparo debido al uso de emulsiones explosivas y mejoramiento de la calidad de la perforación.

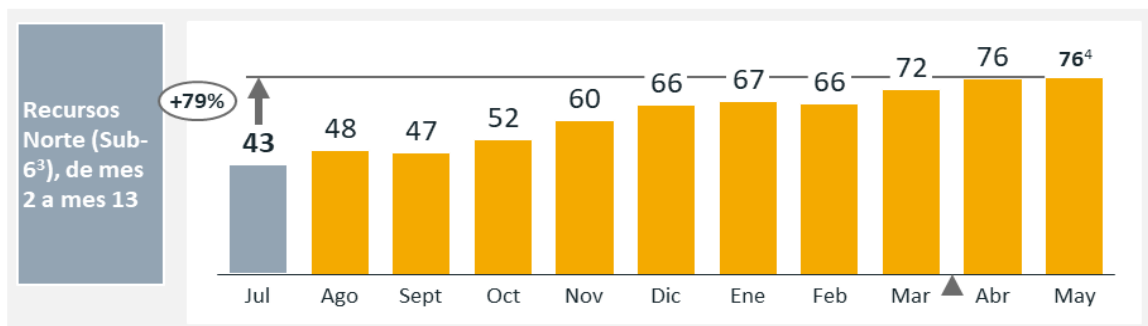


Ilustración 5-12 Evolución de la Productividad [disparos/mes/set de equipo] - Recursos Norte

Fuente: Elaboración propia

5.3. Impacto económico de los resultados obtenidos

Al término de la presente investigación, la implementación del sistema operativo y de gestión en la preparación de minas se puede definir que existe un potencial de captura de valor en cuatro ejes:

1. Productividad en contratos de preparación de minas

Históricamente los contratos de preparación de minas en la DET se han licitado en modalidad de contratos de precios unitarios adicionando gastos generales como monto fijo que se hace cargo del pago de remuneraciones del personal indirecto y de gastos secundarios asociado a la operación del contrato.

Durante la licitación de un contrato el análisis que se realiza para decidir a qué empresa adjudicar responde a la revisión de las ofertas técnica y económica sin consideraciones productivas que podrían apalancar disminución de recurso tanto de capital como de trabajo generando valor al mandante con mejores ofertas para contratos futuros

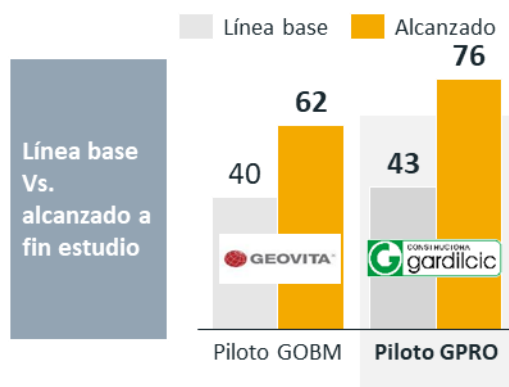


Ilustración 5-13 Productividad [m avance/set de equipo] alcanzada en los contratos

Fuente: Elaboración propia

En la figura se presenta el resultado de productividad [disp/set/m] obtenido al finalizar el presente estudio, lo que aumenta sobre el 50% a las ofertas promedio de los actuales contratos, por lo que podemos suponer disminución de un tercio del recurso utilizado para los desarrollos y estimar una disminución de costo de preparación de minas aproximada de 10%, suma que para la DET asciende a un ahorro de 16 MUSD/año.

2. Gastos Generales de los contratos

El adelantamiento de obra en contratos con modalidad de pago a Precio Unitario permite adelantar un proyecto y generar ganancial al ahorrar los gastos fijos asociados a gastos generales de los meses en que el contrato anticipó la obra. Para el caso de Esmeralda Sur se proyectó reducción en los plazos del contrato de 60 a 29 meses, lo que significa un ahorro estimado de 12 MUSD. Para el caso

del Recursos Norte, el adelantamiento del programa de obra permitirá una captura de valor aproximada de 11 MUSD en la vida del contrato.

3. Minimizar Reclamos (*Claims*)

El menor espacio a la improvisación otorgado por la planificación permite gestionar las interferencias, minimizar el reacarreo de marinas y disminuir los reclamos por falta de posturas de trabajo. Estos ítems son cobrados mensualmente en los estados de pago, con la reducción del 80% de cobros por *claims* se genera un ahorro de 12 MUSD por contrato. Con la reducción del 40% del reacarreo de marinas se generó un ahorro de 6MUSD/año entre ambos contratos cálculo asociado a la disminución de consumo de la partida correspondiente presente en todos los contratos de preparación de minas.

4. Entrega anticipada de área a la operación

La entrega anticipada de área para socavar no implica obligatoriamente un inicio anticipado de producción, pero en general, es una oportunidad para mejorar ley de cabeza o un mitigante de riesgo de retraso de obras preparadas para iniciar la explotación. El escenario de menor ley de cobre realza la oportunidad de contar con mayor área a fin de otorgar flexibilidad en la selección de reservas, modificando la ley de cabeza y permite gestionar área disponible que permita extraer las mejores leyes. La valorización de este beneficio económico requiere estudio adicional pues dependerá del modelo de reservas de cada yacimiento, pero resulta atractivo pensar que la mejor gestión de la preparación de minas puede generar el efecto de mitigación de leyes que hasta hoy es una quimera.

6. CONCLUSION

La preparación de minas es un proceso ejecutado por empresas contratistas que deben estandarizar su forma de ejecutar las obras. Los resultados de las prácticas implementadas a través del sistema operativo en los contratos de Esmeralda Sur y Recursos Norte impactan rápidamente en los resultados de las actividades críticas de la preparación minera. Las iniciativas generan mejoras, tanto en productividad como en calidad de ejecución del trabajo, muchas veces su implementación se ve dificultada por factores socioculturales que obstaculizan la transformación por rechazo a nuevas formas de hacer el trabajo, por lo que se hace necesario elaborar una estrategia de adherencia y de cambio de mentalidad, de manera que la filosofía se convierta realmente en un sistema operativo arraigado en cada nivel de la organización.

Es relevante contar con áreas del mandante tanto de planificación como de estandarización de trabajos ejecutados y controlados con tecnología, que permitan hacer cada vez más eficiente el uso de los equipos y recursos. La planificación integrada permite a su vez minimizar interferencias buscando un óptimo en el negocio global de la actividad productiva, dejando de lado los óptimos locales de cada proceso.

Para la gestión de la eficiencia del disparo a través del uso de equipos de desarrollo que cuentan con mejor tecnología para control de parámetros de terreno respecto del cumplimiento del diagrama de disparo junto con la disciplina operacional del operador del jumbo de avance resultaron ser variables clave para mejorar los resultados de este indicador. El mejor control de la perforación logró mejorar en 10% el resultado de la eficiencia del disparo y el cambio de explosivo de ANFO a emulsión, aumentó en 5% el indicador.

El estudio del ciclo minero no alcanzó a mostrar mejoramiento sustantivo con el sistema operativo implementado, más a la fecha de cierre del estudio, la curva empezaba a proyectar resultados positivos. En una etapa futura este estudio podría ser abordado con resultados obtenidos.

La entrega anticipada de área para socavar no implica obligatoriamente un inicio anticipado de producción, pero en general, es una oportunidad para mejorar la ley o un mitigante de riesgo de retraso de obras para iniciar la explotación. El escenario de menores leyes de cobre realza la oportunidad de contar con mayor área a fin de otorgar flexibilidad en la selección de reservas que permitan extraer las mejores leyes otorgando la oportunidad de aumento de producción en caso de alguna necesidad operacional.

Para cada actividad estudiada del ciclo minero las mejoras esperadas en uso de activos fueron alcanzadas en el corto plazo, moviendo el cuello de botella de una etapa del ciclo a otra. Resulta clave contar con flota suficiente de equipos y número de cuadrillas para llevar una preparación de minas sin desfase de obras maximizando el uso de la flota de equipos de mayor costo de capital.

7. GLOSARIO

ANFO:	Explosivo que resulta de la mezcla de Nitrato de Amonio (NA) con hidrocarburo (FO) en proporción determinada
Jumbero:	Operador de equipo de perforación de avance y fortificación
Rainura:	Subconjunto de perforaciones del diagrama de disparo ubicadas en el centro de la labor a desarrollar que cumplen el objetivo de generar cara libre al resto de las perforaciones del diagrama.
OP:	Pique de Traspaso (Ore Pass)
ADIT:	Túnel de Ingreso
UCL:	Nivel de Hundimiento (Undercut Level)
NP:	Nivel de Producción
SNV:	Subnivel de ventilación
PAM:	Plan de Actividades Mensual
PEM:	Puesta en marcha
PIB:	Producto Interno Bruto
POD:	Plan of Day
KPI:	Key Performance Indicator
PND:	Plan de Negocios y Desarrollo
DET:	División El Teniente
GMIN:	Gerencia de Minas
GOBM:	Gerencia de Obras Mina
GPRO:	Gerencia de Proyectos
GRMD:	Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo
VOD:	Velocidad de Detonación de explosivo
ZT:	Zona de Transición (Abutment Stress), sector con mayor probabilidad de evento sísmico por concentración de esfuerzos

8. BIBLIOGRAFÍA

Camhi, J., 2010 *“Optimización de los procesos de desarrollo y construcción en minería de block caving” Caso estudio mina el teniente Codelco Chile* Tesis para optar al grado de magíster en minería.

Music, A., 2007, “Diagnóstico y Optimización en Desarrollo Horizontal, Mina El Teniente” pp. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas, Universidad de Chile.

Salgado, J, 2009, “Secuenciamiento genérico de obras para la planificación de la preparación minera en Mina El Teniente” Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas, Universidad de Santiago de Chile.

Alegría, J, 2010, “Evaluación técnica de la preparación minera para el Proyecto Nuevo Nivel Mina”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas, Universidad de Santiago de Chile.

Lavado, D, 2014, “Metodología de asignación de recursos en desarrollos mineros de minería subterránea”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas, Universidad de Chile.

Campell, A, 2013, “Modelos de Gestión al riesgo asociados a la incertidumbre en las variables intrínsecas del proceso de construcción de una mina subterránea”. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Pontificia Universidad Católica.

Castillo, G, 2013, “Implementación de metodologías LEAN en desarrollos mineros”. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Pontificia Universidad Católica.

Diaz, M, 2004 “Análisis y Mejoramiento de los Indicadores de Perforación y Tronadura en Labores de Desarrollo”.