



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA CIVIL DE MINAS

**DIAGNÓSTICO DEL MÉTODO DE PERFORACIÓN Y TRONADURA
VIGENTE EN PEQUEÑA MINERÍA SUBTERRÁNEA DISTRITO MINERO
CHANCÓN**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL DE MINAS

JUAN PABLO SOTO FIERRO

PROFESOR GUÍA

MSc. Francisco Javier Rivas Saldaña

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

MSc. Carlos Alejandro Moraga Cruz

Carlos Humberto Mella Banda

CURICÓ – CHILE

2020

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular official stamps and handwritten signatures in blue ink. The left stamp is from the 'DIRECCIÓN SISTEMA DE BIBLIOTECAS' of the 'UNIVERSIDAD DE TALCA'. The right stamp is from the 'SISTEMA DE BIBLIOTECAS CAMPUS CURICO' of the 'UNIVERSIDAD DE TALCA'.

Curicó, 2022

RESUMEN

La pequeña minería subterránea cumple un rol fundamental en el desarrollo económico de la región donde es llevada a cabo. Al ser catalogada como minería artesanal se transforma en un estilo de vida para muchos trabajadores que día a día buscan mejorar sus producciones minimizando costos y maximizando sus ganancias. Dicho esto, la búsqueda de alternativas que permitan mejores resultados a un bajo costo nos incita a aplicar una estrategia de excelencia operacional a través de la metodología *lean*.

A partir de este escenario la pequeña minería del Distrito Minero Chancón caracterizado por la extracción de oro contempla la necesidad de promover los sistemas de gestión a las etapas de perforación y tronadura potenciando su sostenibilidad en la organización de cada una de las faenas de la zona.

Para incorporar una metodología, esta investigación plantea un levantamiento de información basado principalmente en las operaciones unitarias de perforación y tronadura permitiendo la realización de un diagnóstico inicial que entregue un análisis de aquellas perdidas detectadas que signifiquen una problemática y un impacto reversible en las mejoras asociadas a estas oportunidades de cambio al interior de todo el ciclo minero.

La implementación de un diagnóstico busca gestionar mejoras en todas las áreas de los proyectos mineros de Chancón por medio de la identificación de perdidas en cada proceso centrandolo la investigación en la gestión y planificación que genere una transformación cultural en el pensamiento y actuar de los trabajadores abocados al rubro.

Finalmente, se proponen planes de acción que puedan ser aplicados posteriormente y bajo un seguimiento constante pudiendo realizarse un balance de aquellas herramientas que sean efectivas y de igual forma acciones que no tengan el impacto esperado para así ser corregidos en beneficio del proyecto minero.

ABSTRACT

Small-scale underground mining plays a fundamental role in the economic development of the region where it is carried out. When it is catalogued as artisanal mining, it becomes a way of life for many workers who, day by day, seek to improve their production by minimizing costs and maximizing profits. Having said this, the search for alternatives that allow better results at a low cost encourages us to apply a strategy of operational excellence through the *lean* methodology.

Based on this scenario, the small-scale mining industry in the Chancon Mining District, which is characterized by gold extraction, considers the need to promote management systems for the drilling and blasting stages, enhancing the sustainability of the organization of each of the operations in the area.

In order to incorporate this methodology, this investigation proposes a survey of information based mainly on the unit operations of drilling and blasting, allowing for an initial diagnosis that will provide an analysis of those losses detected that represent a problem and a reversible impact on the improvements associated with these opportunities for change within the entire mining cycle.

The implementation of a diagnosis seeks to manage improvements in all areas of the Chancon mining projects through the identification of losses in each process, focusing the research on management and planning that generates a cultural transformation in the thinking and acting of the workers involved in the area.

Finally, action plans are proposed that can be applied later and under a constant follow-up in which a balance can be made of those tools that are effective and in the same way actions that do not have the expected impact in order to be corrected in benefit of the mining project.

AGRADECIMIENTOS

Detrás de este largo camino como universitario existen personas que formaron parte importante de esta etapa llena de aprendizajes y crecimiento personal.

Para empezar, Mi Madre que lleva por nombre Oriana Fierro quien ha sido mi razón de luchar día a día por alcanzar mis sueños. Un pilar fundamental que sin su apoyo y su amor incondicional no estaría donde estoy. Agradecido eternamente de la vida por tenerla a ella y cada logro es por y para ella. Te Amo Mucho.

Mi Familia, por ese cariño y confianza depositada en mí. Mi Tía, Mis primos soy lo que soy en parte gracias a ustedes agradezco sean parte de esta etapa. Mis otros tíos y mis primos y primas que siempre se preocuparon y jamás me abandonaron en este difícil proceso. Sin olvidar a mis viejitos que desde arriba guiaron mis pasos y siempre estuvieron presente en el fondo de mi corazón.

Ser parte de FHEU y en especial casa El Quijote fue uno de los privilegios más grandes en mi etapa universitaria. Rafa, fundador de la fundación y emblema para quienes te conocemos, tu enorme labor me dio la oportunidad de estudiar y de crecer como persona. A cada integrante que dejó huella en esta hermosa hermandad como es EL QUIJOTE que me entregó momentos inolvidables y amigos que son para toda la vida. No puedo nombrarlos a todos, pero fueron años increíbles que agradezco haberlos vividos juntos a ustedes.

A las tías de la U, las más queridas de la U de Talca, esto es también por y para ustedes, Tía Cristi, Tía Ceci y Giovi, se la jugaron tanto por mí que no tengo palabras para expresar el aprecio y la vocación que entregan día a día por sus estudiantes.

A la mujer que me acompañó esta última etapa, Mi Chiquilla que ha sido y será mi motivación permanente para seguir creciendo cada día. Mis amigos de Universidad, Pato, Camilo, Sazo que se transformaron en La Resistencia formando un gran equipo. Gracias por ser parte de esto.

Al Trípode que son únicos y especiales, y en general a todos quienes creyeron en mí y siempre estuvieron presente con palabras de aliento cuando fue necesario.

Agradecido de la vida por tener personas como ustedes a mi alrededor. Esta etapa finaliza con los mejores momentos que pude imaginar. ¡Feliz y agradecido siempre!

*A Mi Madre Oriana Fierro Cádiz,
gracias por guiarme y confiar
siempre en mí. Esto es para ti.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes y motivación	1
1.2	Descripción del problema	2
1.3	Desafíos en la implementación <i>lean</i> en pequeña minería	2
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	Objetivo general	4
1.4.2	Objetivos específicos	4
1.5	Alcances	5
1.6	Ubicación y accesos	6
1.7	Geología distrital.....	7
CAPÍTULO 2	MARCO TEÓRICO	9
2.1	Pequeña minería.....	9
2.1.1	Pequeña minería de oro	10
2.1.2	Pequeña minería de oro Región de O´Higgins.....	11
2.1.3	Distrito Minero Chancón.....	12
2.1.4	Operaciones unitarias en Minería Subterránea	13
2.2	Perforación	15
2.3	Tronadura	16
2.4	Explosivos.....	17
2.4.1	ANFO (<i>Ammonium Nitrate - Fuel Oil</i>).....	18
2.4.2	Emulsiones.....	18
2.4.3	Sistema de iniciación.....	19

2.4.4 Detonadores Ordinarios	20
2.4.5 Mecha Lenta.....	20
2.5 Modelo <i>lean</i>	21
2.5.1 Mejora continua.....	27
2.5.2 Construcción modelo <i>lean</i>	27
2.5.3 Metodología <i>lean</i> en minería	29
2.5.5 Dimensiones aplicadas a la metodología <i>lean</i> en minería	34
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA	38
3.1 Estudio de caso	38
3.2 Toma de datos o fuentes de evidencia	39
3.3 Descripción de los casos de estudio.....	40
CAPÍTULO 4 RESULTADOS.....	50
4.1 Impacto en el desempeño de los proyectos en estudio	50
4.2 Diagnóstico inicial casos de estudio	54
4.2.1 Principales problemas.....	55
4.2.2 Principales oportunidades	57
4.3 Planes de acción.....	59
4.3.1 Reuniones efectivas.....	60
4.3.2 Resolución de problemas.....	62
4.3.3 Estandarización.....	63
4.3.4 Confirmación de roles y procesos	64
4.3.4 <i>Feedback</i> (Retroalimentación)	65
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES	66
REFERENCIAS.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 "Ubicación Distrito Minero Chancón"	6
Figura 2 "Evolución de la producción de la pequeña minería de oro en la Región de O'Higgins"	11
Figura 3 "Representación Equipos Protección Personal" [8].....	16
Figura 4 "Detonador ordinario" [11]	20
Figura 5 "Mecha lenta y engarce con detonador ordinario" [11].....	21
Figura 6 "Visión tradicional del proceso productivo. Producción como transformación." [18].....	28
Figura 7 "Nueva visión del proceso productivo." [18]	28
Figura 8 "Desarrollo horizontal proyecto El Diamante, División El Teniente"	34
Figura 9 "Dimensiones aplicadas a metodología lean en minería"	35
Figura 10 "Ubicación faenas analizadas Distrito Minero Chancón"	41
Figura 11 "Esquema de Perforación Chimeneas de 1,5 m x 1,5 m mina Teresita" 45	
Figura 12 "Diagrama de perforación labor horizontal Mina Teresita"	46
Figura 13 "Diagrama de cargas de barreno"	46
Figura 14 "Producción Mensual Faenas Mineras en estudio"	51
Figura 15 "Cantidad de trabajadores faenas mineras en estudio según producción mensual"	52
Figura 16 "Distancia entre tiros de cada faena minera en estudio"	53
Figura 17 "Cantidad de tiros en faenas mineras en estudio"	54
Figura 18 "Estructura de 8 paso del Ciclo de Deming"	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 "Producción (kg) de oro según procedencia, año 2019" [7].....	10
Tabla 2 "Producción de oro (kg) pequeñas empresas por tipo de producto, año 2019". [7]	10
Tabla 3 "Comparativa entre la industria minera y la industria manufacturera".	30
Tabla 4 "Ejemplos de pérdidas definidas en minería, basado en modelo lean"	31
Tabla 5 "Fuentes de evidencia"	39
Tabla 6 "Ubicación faenas mineras para implementar metodología <i>lean</i> "	42
Tabla 7 "Antecedentes generales faenas analizadas para implementar metodología <i>lean</i> "	43
Tabla 8 "Ficha técnica perforadora YT27" [20]	44
Tabla 9 "Parámetros de perforación en faenas mineras analizadas para implementar metodología <i>lean</i> "	44
Tabla 10 "Resumen datos más relevantes de mineras en estudio"	49
Tabla 11 "Agenda diálogo de desempeño"	61

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes y motivación

La industria minera es una de las principales actividades en la economía chilena, aportando cercano a un 10% del PIB (producto interno bruto) y un 55% de las exportaciones durante el año 2018, por lo que este escenario presenta elevados costos energéticos y promueve un elevado grado de inversión en tecnologías innovadoras, a través de proyectos desarrollados a largo plazo permitiendo una mayor eficiencia en el rendimiento y productividad de cada una de sus etapas. [1]

Dichas características también afectan a la mediana y pequeña minería generando gran impacto socioeconómico, destacando la importancia de esta escala de producción en el desarrollo social de comunidades con escasos recursos, aisladas y un bajo desarrollo tecnológico. Sin embargo, aspectos tales como la reducción de la pobreza, la generación de empleos, movilidad social corresponden a ventajas en zonas en las cuales se localizan. Cuando la pequeña minería se localiza en regiones económicamente atrasadas, estimula el ingreso y su distribución, la creación de nuevos puestos de trabajo y un mejor aprovechamiento de los recursos internos, lo que se traduce a un rápido incremento en el estándar de vida de las personas. [2]

La pequeña y mediana minería en Chile cumple un importante papel al estar presente en la producción de cobre, oro, plata, hierro, manganeso, plomo y zinc, entre otros. Produce el 7% del cobre, el 20% del oro, el 10% de la plata, el 32% del hierro y el 100% del manganeso, plomo y zinc que se produce en Chile. En términos de exportaciones, el total del cobre, oro y plata exportado por la producción de la pequeña y mediana minería es prácticamente equivalente a las exportaciones frutícolas nacionales. Solo la pequeña minería exporta el equivalente a un tercio de las exportaciones de salmón y la mitad del vino embotellado. [3]

Estos antecedentes resaltan la importancia que existe al momento de reforzar la manera de realizar cada una de las operaciones existentes en la pequeña minería,

a través de una planificación más estructurada que logre aprovechar al máximo cada uno de los recursos presentes en las diferentes faenas mineras del rubro.

1.2 Descripción del problema

La pequeña minería carece de organización y estructura al momento de ejecutar las diversas labores realizadas desaprovechando los beneficios proporcionados por las diversas entidades gubernamentales las que facilitan un crecimiento en cada faena minera. Es en este escenario donde se hace un análisis en la etapa de perforación y tronadura para un grupo de minas perteneciente al Distrito Minero Chancón de la Región de O'Higgins a través del departamento de Seremi de Minería.

Para esto se pretende comenzar por evaluar la primera de las operaciones unitarias, debido a la importancia que tiene una buena conminución de la roca generando una granulometría adecuada permitiendo un ahorro tanto en esta como en las operaciones posteriores.

Mediante la recopilación de información en terreno principalmente entregadas por aquellos trabajadores que se encuentran la mayor parte de su tiempo dedicado a las labores de perforación y voladura y estableciendo estándares de calidad correspondientes a esta etapa del ciclo minero.

Dichos métodos van enfocados con la finalidad de mejorar la calidad de las labores desarrolladas con un beneficio económico y generando un impacto social considerable para la seguridad de cada trabajador del Distrito Chancón.

1.3 Desafíos en la implementación *lean* en pequeña minería

La implementación de la metodología *lean* avala impactos positivos en la productividad industrial, existiendo limitaciones para poder ser aplicados en el rubro minero y más aún en la pequeña minería.

Lograr una transformación cultural es difícil de implementar en minería, puesto que muchos trabajadores se sienten controlados o ineficientes al momento de realizar diagnósticos, evaluaciones o seguimientos que puedan entregar una mejora en el proceso productivo. Sin embargo, existen formas efectivas de romper esta barrera cultural teniendo herramientas que permitan mejorar en el comportamiento y los hábitos al momento de realizar una operación beneficiando a los propios trabajadores con la nueva metodología de trabajo.

En pequeña minería varios factores se deben tomar en consideración para la implementación de la metodología, pues existen desafíos principalmente en la gestión y administración del negocio minero, ya que no es solo aplicar herramientas, sino buscar una mejora continua y una transformación cultural que permita resultados a través del tiempo.

Generar una mentalidad diferente en los trabajadores representa un desafío al momento de implementar la metodología *lean*, y a su vez lograr un prototipo que se adecúe a las condiciones técnicas de cada proceso para que sean ejecutadas de manera eficiente disminuyendo las pérdidas o desperdicios existentes al momento de realizar una operación en la faena minera.

Por esto, es necesario acompañar el trabajo organizacional y el trabajo técnico realizado en la mejora de procesos. De hecho, el factor humano puede determinarse como clave para lograr una mejora continua aumentando su aspiración y qué tan comprometido estén con los objetivos planteados desde un principio.

Si bien, se requieren tiempos extensos para la implementación de esta metodología la motivación radica en lograr mostrar los cambios que se pueden realizar replicando aquellos de éxito relacionados a la minería y demostrar que puedan ser sostenibles a través del tiempo pudiendo ser implementado de manera eficiente en la pequeña minería.

Un factor limitante importante, corresponde a la explotación desordenada y, en partes, caótica de los diferentes niveles, no permitiendo realizar un muestreo de carácter sistemático. [4]

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar un diagnóstico del método de perforación y tronadura vigente en pequeña minería subterránea para mejorar la productividad en el Distrito Minero Chancón, Región de O'Higgins, aplicando herramientas de la metodología *lean*.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento de información en el Distrito Minero Chancón para determinar el método de perforación y tronadura utilizado en la actualidad.
- Sistematizar la información recopilada con el fin de establecer aquellos factores críticos que afectan la productividad de las faenas mineras.
- Identificar metodologías *Lean* que sean aplicables a la pequeña minería subterránea.
- Plantear soluciones que impacten en la implementación de la metodología *lean* en las etapas de perforación y tronadura.
- Elaborar planes de acción de perforación y tronadura mediante el método *Lean* para mejorar la productividad y seguridad en el Distrito Minero Chancón.
- Parametrizar secuencias en la etapa de perforación y tronadura en base al análisis diagnosticado para lograr minimizar fallas durante la realización de cada operación.

1.5 Alcances

- Se realizará el análisis en la etapa de perforación y tronadura (PyT) de 5 faenas mineras ubicadas en el Distrito Minero Chancón, en la región de O'Higgins.
- El estudio se realizó a partir de los datos tomados a las siguientes faenas mineras ubicadas en el Distrito Minero Chancón entre los meses noviembre 2019 y julio 2020.
 - Mina Teresita
 - Mina La Codiciada
 - Mina La Flor
 - Mina Don Héctor
 - Mina La Joyita
- El estudio realizado, se hace tomando en consideración el método convencional utilizado por los trabajadores y la bibliografía recopilada, con el fin de encontrar el método óptimo para realizar las labores de PyT.
- El Método *Lean Management* se aplicará posterior al diagnóstico en la etapa de PyT, pudiendo generar un estándar que evalúe aquellas situaciones que generan valor agregado en la faena minera.
- El seguimiento de aquellas soluciones propuestas para mejorar la productividad no estará contemplado durante la investigación, por lo tanto, no existirá un control en la mejora continua de cada caso en estudio.

1.6 Ubicación y accesos

El Distrito Minero Chancón se ubica entre las coordenadas UTM N 6.227.000 m a 6.232.000 m y E 328.000 a 334.000 m, 15 Km al noroeste de la ciudad de Rancagua y 75 Km al suroeste de Santiago (Fig. 1)

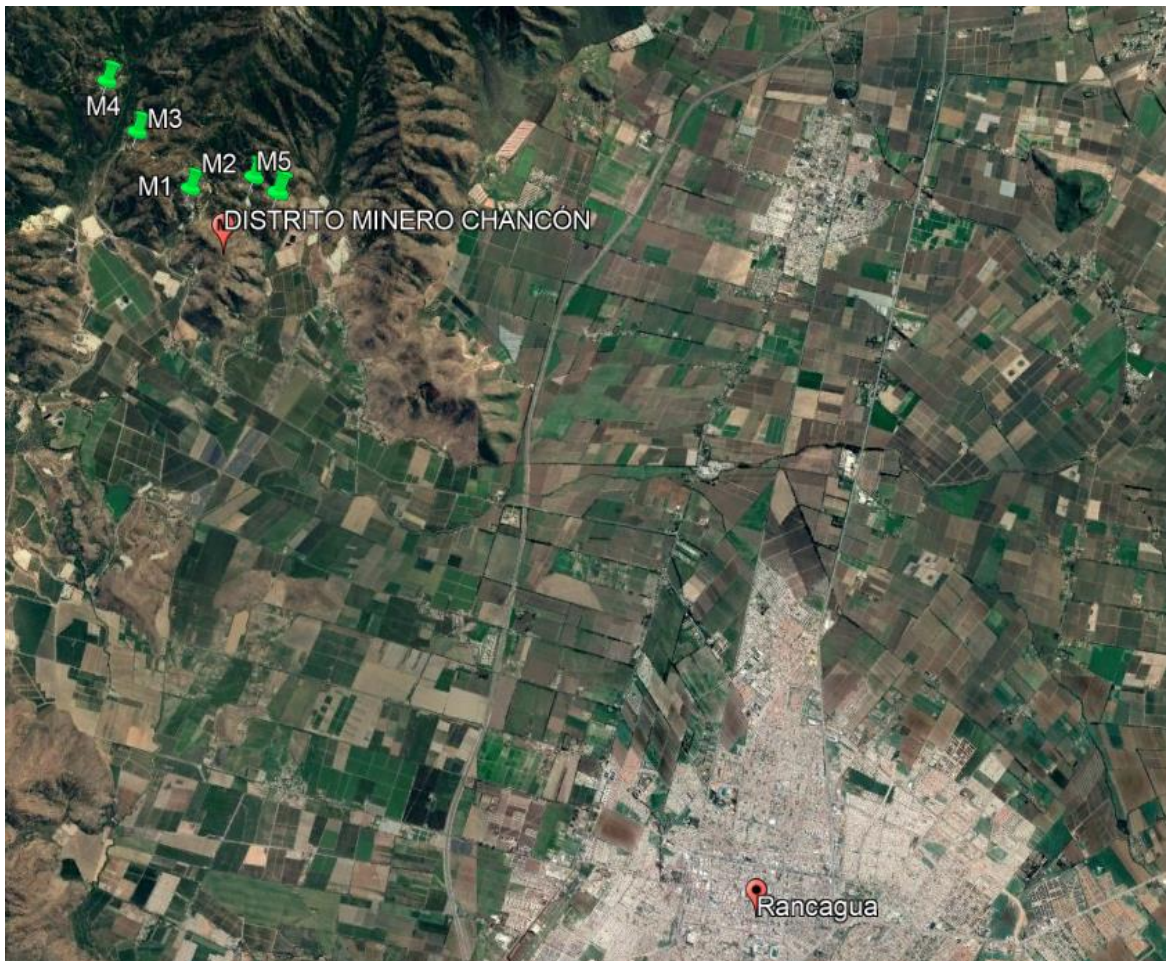


Figura 1 “Ubicación Distrito Minero Chancón”

Para llegar al Distrito Minero Chancón, desde la ciudad de Rancagua, se deben recorrer 19,9 Km; de los cuales 3 Km corresponden a la Avenida Libertador General Bernardo O’Higgins hasta el cruce con la Avenida Presidente Salvador Allende Gossens (H-210). Desde este cruce se recorren 4,3 Km hacia el NE, hasta la

carretera H-188 donde, finalmente, se recorren 12,6 Km en dirección NW para ingresar por el sector Sur del Distrito Minero. [4]

1.7 Geología distrital

El Distrito Minero Chancón está emplazado en el borde oriental de la Cordillera de la Costa y presenta yacimientos metálicos que se sitúan en gran proporción en rocas andesíticas de la Formación Farellones y corresponden a una mineralización de origen hidrotermal que penetró a través de fracturas y fallas regionales preexistentes. El control tectónico de la mineralización metálica se refleja así, tanto en la orientación de los cuerpos mineralizados como en la homogeneidad promedio de la mineralización de la zona primaria.

Existen cinco estilos de mineralización en la zona:

- **Vetas:** Las vetas constituyen la mayoría de los depósitos estudiados y parcialmente explotados en toda el área. En los bordes de las vetas de más de 4 metros de potencia se han formado importantes zonas mineralizadas.
- **Mantos:** Aunque son escasos, dadas las características de las rocas volcánico clásticas existentes en el área, puede esperarse que este tipo de yacimientos se dé en otros lugares dentro del área de Chancón.
- **Impregnación:** Este tipo de mineralización se presenta en varios lugares con características muy similares en andesitas, las cuales presentan pirita aurífera y calcopirita como minerales de mena junto a cuarzo, calcita, hematita y specularita como minerales de ganga.
- **Macizo mineralizado (*Stock work*):** Son escasos y en general corresponden a zonas de abundantes vetas y vetillas que atraviesan las rocas volcánicas en todas direcciones.
- **Bolsones:** son abundantes en toda el área y están formados por mineralización metálica que rellena fracturas y zonas de fallas. En general, la mineralización se

diluye en corrida y profundidad impidiendo buenos desarrollos mineros, aun cuando las leyes a veces son altas en cobre u oro.

En los cuerpos mineralizados del área de Chancón, sobre todo en los tipo veta, se observa una zonación vertical de la mineralización metálica. En efecto es posible observar en muchos casos que los procesos de lixiviación y oxidación, combinados, producen las siguientes zonas:

- Zona superior o de lixiviación.
- Zona de oxidación.
- Zona de cementación.
- Zona de sulfuros primarios.

Sin embargo, en la mayoría de las minas existen vestigios de las tres primeras zonas, siendo sus espesores de sólo uno pocos metros o prácticamente inexistentes. Las zonas de cementación y oxidación presentan profundidades variables entre 10 a 30 metros hasta hay evidencia de sectores con 60 metros de espesor. Estas dos zonas presentan las mejores leyes de oro y cobre de los cuerpos mineralizados, constituyendo la llamada zona de enriquecimiento secundario. Sin embargo, se debe considerar que las leyes de oro en esta zona son muy erráticas.

Con respecto a la calidad de los yacimientos el producto principal en el distrito es el oro, y como subproductos se extrae el cobre y la plata. La ley promedio de oro en el sector ha disminuido de 8,6 g/ton con una producción de 3.409 toneladas por mes a comienzos de 1989 hasta 3,5 g/ton con una producción que ronda las 10.000 toneladas por mes en la actualidad. [5]

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordarán temáticas relacionadas a la pequeña minería y las operaciones unitarias principales, poniendo énfasis en las actividades relacionadas a la perforación y tronadura, además se describirán las bases de la filosofía lean con algunos casos prácticos aplicados a la minería.

2.1 Pequeña minería

En Chile la pequeña minería se encuentra categorizada por diversas entidades ligadas a la minería según el número de trabajadores o la producción mensual:

- Categorización según número de trabajadores:
 - SERNAGEOMIN define a la pequeña minería en base al número de trabajadores y las horas trabajadas por ellos, de acuerdo con lo anterior, pequeña minería es aquella donde trabajan menos de 80 trabajadores o las horas de trabajo ascienden a un periodo menor a 200.000 horas anuales.
 - El código de minería define como pequeña minería a las faenas donde hay menos de 12 trabajadores.
 - La ley de impuesto a la renta define como pequeña minería a las faenas donde trabajan menos de 5 trabajadores.
- Categorización según producción:
 - ENAMI define al pequeño minero como aquel que vende una cantidad de hasta 10.000 toneladas de mineral o su equivalente en productos mineros por mes. [6]

2.1.1 Pequeña minería de oro

A nivel nacional la producción de oro alcanzó a un total de 38.455 kg el año 2019, lo que significó un aumento del 3,7% respecto del 2018. Esta producción proviene de empresas mineras cuyo producto principal es el oro, además como subproducto de la minería del cobre, y en menor medida del plomo y el zinc (Tabla 1). Se vende, principalmente, bajo la forma de oro metálico, metal doré y concentrados de oro (Tabla 2).

Tabla 1 "Producción (kg) de oro según procedencia, año 2019" [7]

PROCEDENCIA PRODUCCIÓN DE ORO	PRODUCCIÓN (kg)	PORCENTAJE
Minería de Oro	12.303	32%
Minería del Cobre y otros	26.152	68%
TOTAL	38.455	100%

Las empresas de la minería del oro produjeron 12.303 kg, correspondientes al 32% del total nacional anual, desagregado de la siguiente forma: grandes empresas, 69% (8.487 kg); medianas empresas, 23% (2.826 kg) y pequeñas empresas, 8% (990 kg) de ese total. [7]

Tabla 2 "Producción de oro (kg) pequeñas empresas por tipo de producto, año 2019". [7]

TIPO DE PRODUCTO DE PEQUEÑAS EMPRESAS MINERÍA DEL ORO	PRODUCCIÓN (kg)	PORCENTAJE
Metal Doré	11	8,3%
Concentrados	132	10,4%
Oro en Barra	124	7,1%
Minerales de Fundición	17	3,2%
Minerales de Oro Concentración	706	71%
TOTAL	990	100%

2.1.2 Pequeña minería de oro Región de O'Higgins

De acuerdo a la información obtenida en el Anuario de la Minería de Chile 2019, publicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería, la pequeña minería de la Región de O'Higgins corresponde a los mayores productores de oro a nivel nacional durante el año 2019 con una producción de 302 kg, en concentrados de Au, 1.027 kg y 222 tmf en concentrados de Ag y Cu como subproducto respectivamente. [7].

Como se presenta en la Figura 1, el historial en la producción de oro en la región de O'Higgins entre los años 2008-2019 variando sin existir una tendencia clara, observándose una caída en la producción entre 2016-2017 de 404 [kg] a 235 [kg] de oro.

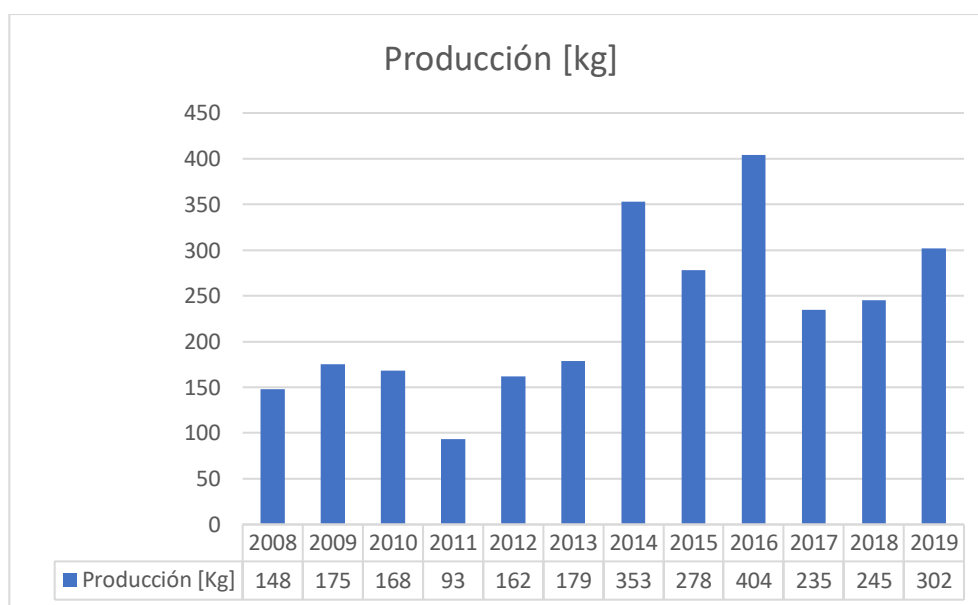


Figura 2 "Evolución de la producción de la pequeña minería de oro en la Región de O'Higgins"

2.1.3 Distrito Minero Chancón

El Distrito Minero Chancón se localiza a 15 km al noroeste de la ciudad de Rancagua y a 75 km al suroeste de la ciudad de Santiago. La baja altitud y las favorables condiciones climáticas a lo largo del año donde se localizan estos yacimientos, lo hacen propicio para la explotación a menor escala.

Gran parte de los pequeños mineros del sector de Chancón no son propietarios de la propiedad minera donde están explotando, sino que arriendan un punto minero de la concesión de explotación de un particular. El pirquinero tiene el derecho a explotar el sector determinado a cambio del pago de una regalía sobre los ingresos obtenidos por la venta.

Con respecto al sistema de explotación, la mayoría de las minas no tiene un sistema de explotación convencional y la metodología para extraer el mineral es siguiendo la veta. Esta consiste en el desarrollo de labores mineras para acceder a los cuerpos mineralizados con la calidad o ley suficiente para cumplir los requisitos de compra de ENAMI. Estas labores mineras deben cumplir lo estipulado en el Reglamento de Seguridad Minera (DS 132), específicamente el artículo 34 sobre condiciones de seguridad en explotaciones con producciones menores a 5.000 toneladas mensuales.

El Ministerio de minería, a través de ENAMI, ejecuta anualmente un Programa de Asistencia y Modernización de la Pequeña Minería Artesanal denominado PAMMA, con lo que las faenas pueden acceder a fondos estatales para financiar labores mineras, adquirir equipos y realizar capacitaciones en torno a la gestión de la seguridad minera y modernización de las operaciones. [5]

2.1.4 Operaciones unitarias en Minería Subterránea

2.1.4.1 Perforación

Operación que se realiza con la finalidad de abrir tiros en el macizo rocoso, con una distribución y geometría adecuada, en donde se alojarán cargas explosivas. En pequeña minería, el sistema usual de perforación es el de rotopercusión que emplea energía neumática.

2.1.4.2 Tronadura

Operación que tiene por finalidad el arranque del mineral desde el macizo rocoso, aprovechando de la mejor manera posible la energía liberada por el explosivo colocado en los tiros realizados en la etapa de perforación. El mejor aprovechamiento se obtiene al aplicar la energía justa y necesaria para generar una buena fragmentación del mineral, evitando daños en la caja de la labor minera.

2.1.4.3 Fortificación

Conjunto de procedimientos que permiten mantener estable las labores cuando su condición no es auto soportante en una mina subterránea. El rol fundamental de la fortificación es:

- Mantener las labores seguras y con una sección y dimensiones suficientes para la circulación del personal, equipos, aire, entre otros.
- Impedir el desmoronamiento de material fracturado.
- Mantener la cohesión de los terrenos.

2.1.4.4 Acuñadura

Actividad destinada a detectar y hacer caer de manera controlada rocas que se encuentren ligeramente desprendidas del techo o cajas de una labor minera. Esta actividad es obligatoria y permanente en las zonas agrietadas, así como el control de los riesgos al realizar la acuñadura.

2.1.4.5 Ventilación

Actividad encargada de suministrar el oxígeno para la respiración de las personas, Proporciona el volumen de aire para los equipos diésel e instalaciones subterráneas, evita la formación de mezclas explosivas, diluir y extraer los gases tóxicos y polvo en suspensión y reducir la temperatura.

2.1.4.6 Carguío y transporte

En labores subterráneas de pequeña minería, el transporte de materiales se realiza con carros manuales o equipos motorizados de bajo tonelaje (*scoop*, cargadores), trasladando la marina al exterior (cancha, botadero) o a un pique de traspaso. Antes de iniciar el carguío y transporte, los operadores deberán verificar que existen condiciones seguras de trabajo en las frentes de carguío y galerías de transporte, que los equipos e instalaciones estén en buenas condiciones de operación, y que se cuenta con todos los elementos auxiliares de trabajo e insumos necesarios para la operación, según corresponda.

2.2 Perforación

La perforación consiste en la operación que se realiza con finalidad de abrir huecos en el macizo rocoso, con una distribución y geometría adecuada en donde se albergarán cargas explosivas.

El escenario relacionado a la industria de pequeña minería se basa en un sistema de perforación de rotopercusión, que emplea energía neumática y cuyos componentes principales son la perforadora manual, que es la fuente de la energía mecánica; las barras, que son el medio de transmisión de esa energía a partir de la acción de un pistón; el bit, que recibe la energía y es el elemento cortante de la roca, y el fluido de barrido que efectúa la limpieza y evacuación del “detritus” producido. En algunas operaciones de pequeña minería se ha incorporado el uso de pequeños jumbos de perforación (neumáticos o hidráulicos), lo que requiere personal con capacitación especial para operar estos equipos, además de las instalaciones adicionales que requiere su operación. [8]

En minería subterránea, la perforación se utiliza en los avances de los frentes de preparación, así como en la construcción de chimeneas y piques. Esta operación se realiza en húmedo para mantener la calidad del aire, minimizando el riesgo de enfermedades de aquellos operadores a cargo de realizar las labores. La adición de agua permite además el barrido del mineral molido, la refrigeración de las barras y el sellado de las paredes del tiro en terrenos fracturados, evitando el atascamiento de las barras. Para realizar los trabajos de perforación, el personal a cargo deberá estar equipado con los elementos de protección personal adecuado que son: [9]

- Zapatos de seguridad (o botas).
- Cascos (Incluyendo lámpara para faenas subterráneas).
- Protección auditiva apropiada.
- Antiparras.
- Cinturón de seguridad con cuerda salvavidas.
- Guantes de cuero.

- Protector respiratorio.
- Autorrescatador.

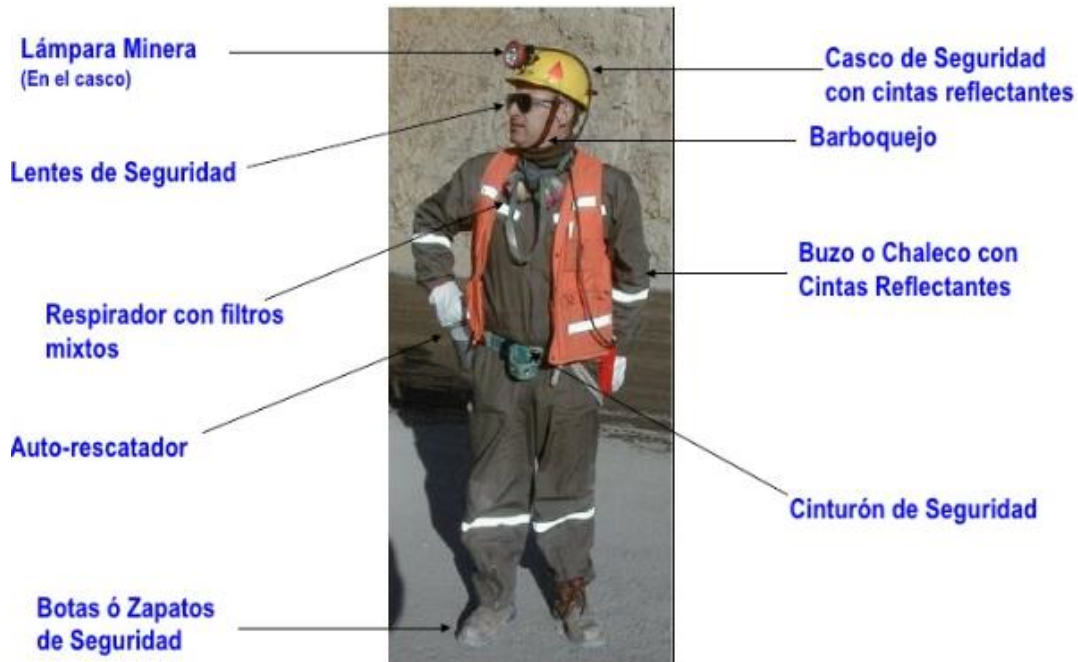


Figura 3 “Representación Equipos Protección Personal” [8]

2.3 Tronadura

La tronadura es la operación que tiene por finalidad el arranque del mineral desde el macizo rocoso, aprovechando de la mejor manera posible la energía liberada por el explosivo colocado en los tiros realizados en la etapa previa de perforación. El mejor aprovechamiento se obtiene al aplicar la energía justa y necesaria para generar una buena fragmentación del mineral, evitando daños en las cajas y techo de la faena minera. [8]

Los explosivos, al iniciarse generan una detonación la cual consiste en una combustión supersónica que se caracteriza porque genera una onda de choque. En ese frente de onda se generan altos gradientes de presión y temperatura, ya que la reacción química se produce instantáneamente. La velocidad de reacción suele estar comprendida entre 1.500 y 9.000 m/s, y la onda de presión producida sería

del orden de 10^5 atmósferas. El movimiento de las moléculas gaseosas es en el mismo sentido de la propagación, potenciándola.

Cada tipo de explosivo tiene una composición específica y definida. Esto supone que sus características son diferentes, y, en consecuencia, que para cada aplicación se puede seleccionar el explosivo más adecuado. [10]

2.4 Explosivos

Corresponde a sustancias químicas susceptibles de reaccionar violentamente al disociarse sus moléculas y reagruparse posteriormente en formas más estables. [10]

La selección del explosivo más idóneo para un fin determinado supone conocer las características de cada explosivo y, a partir de ellas, elegir el más adecuado al tipo de aplicación que se precise. Las características de carácter práctico que son básicas de un explosivo son las que se señalan a continuación: [10]

- Potencia explosiva.
- Poder rompedor.
- Velocidad de detonación.
- Densidad de encartuchado.
- Resistencia al agua.
- Calidad de humos.
- Sensibilidad.
- Estabilidad química.

2.4.1 ANFO (*Ammonium Nitrate - Fuel Oil*)

Agente de voladura de alta calidad, fabricado con nitrato de amonio grado explosivo de baja densidad y alta absorción de petróleo. [11]

Estos explosivos se componen por un 94 % aproximadamente de nitrato amónico que actúa como oxidante y en torno a un 6 % de gasoil que actúa como combustible.

Las características de este explosivo son las siguientes:

- Baja/ media potencia.
- Muy baja densidad (0,8 g/cc)
- Nula resistencia al agua, ya que el nitrato de amonio es soluble en agua y pierde su capacidad de detonar.
- Baja velocidad de detonación (2.000 - 3.000 m/s)
- No son sensibles al detonador, por lo que necesitan de otro explosivo para iniciarse correctamente, lo que puede conseguirse con cordones detonantes, cebos de dinamita gelatinosa, cartuchos de hidrogel o multiplicadores.

Debido a su consistencia granular y a la solubilidad del nitrato amónico, no resisten al agua, por lo que su aplicación en barrenos que contengan este elemento está totalmente desaconsejada. Por el contrario, esta consistencia granular hace que el explosivo ofrezca una importante ventaja, y que resulta muy fácil la carga mecanizada del mismo. Generalmente este producto se comercializa a granel, tanto ensacado como despachado en camión tolva para su utilización directa, si bien también se suministra encartuchado. [10]

2.4.2 Emulsiones

Las emulsiones para voladura subterránea son del tipo agua en aceite, en que la fase interna está compuesta por una solución de sales oxidantes que se dispersan como gotas microscópicas en la fase externa (líquido combustible). La emulsión así

formada se estabiliza mediante un compuesto emulsificante. Para sensibilizar el producto se utilizan microesferas de vidrio o resinas, además de la adición de nitrato de alta porosidad. A su vez, el agente para controlar la densidad puede ser burbujas de aire ultrafinas, generadas por reacciones de gasificación química o arrastre mecánico. [12]

Por su entrega de energía, alta potencia, velocidad de detonación y diversidad, se destacan las siguientes propiedades:

- Uso como iniciador ANFO, de emulsiones bombeables, de cargas de fondo y columna.
- Resistente a presiones de taqueo.
- Permite ser cargado directamente en la perforación.
- Puede ser usado en perforaciones con agua y por largos períodos.
- Puede ser usado bajo amplios rangos de temperatura.
- En el caso de los productos envasados están fabricados sin ningún componente explosivo, no tienen problemas de exudación y su peligrosidad es mínima.
- Posee características de resistencia al impacto, fricción o calor, facilidades de transporte y manipulación.
- Amplio uso en minería subterránea, debido a que origina una cantidad mínima de gases tóxicos. Se puede retornar a sectores de carguío en menor tiempo. [10]

2.4.3 Sistema de iniciación

Los diferentes sistemas de iniciación, conocidos como detonadores, pueden emplearse tanto en voladuras a cielo abierto como en interior y la finalidad es la de iniciar los explosivos dentro del barreno, o bien el cartucho cebo o multiplicador que desencadene la detonación en el interior de este. [10]

2.4.4 Detonadores Ordinarios

Son aquellos que se inician mediante mecha lenta. Esta se introduce en el extremo abierto de una cápsula de aluminio que aloja la carga explosiva del detonador y se embute mediante unas tenazas especiales, de modo que se evite que la mecha se salga durante su manipulación.

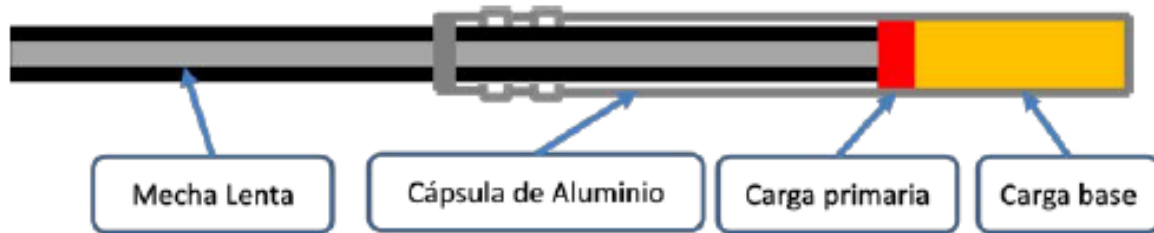


Figura 4 "Detonador ordinario" [11]

Debido a su configuración, no es posible establecer ningún tipo de retardo en el detonador, por lo que una vez que llegue la llama propagada por la pólvora que lleva alojada la mecha en su interior, el detonador se inicia instantáneamente. [10]

2.4.5 Mecha Lenta

La mecha lenta está formada por un núcleo de pólvora negra recubierto con varias capas de hilados y materiales impermeabilizantes que la hacen resistente a la humedad, abrasión y los esfuerzos mecánicos. Habitualmente se utiliza para la iniciación de detonadores ordinarios y de la pólvora de mina.

La combustión de la mecha transmite el fuego a una velocidad uniforme de dos minutos por metro lineal (esto puede variar según marca y tipo de mecha). Esta velocidad es la determinada por el fabricante, pero un mal uso o conservación puede provocar que bien sea más elevada o lenta. La combustión de la mecha lenta se ve influenciada en gran medida por la humedad. Si la mecha lenta está mojada, la

velocidad de combustión disminuye, y si está extremadamente seca, puede arder a mucha mayor velocidad de la diseñada. [10]

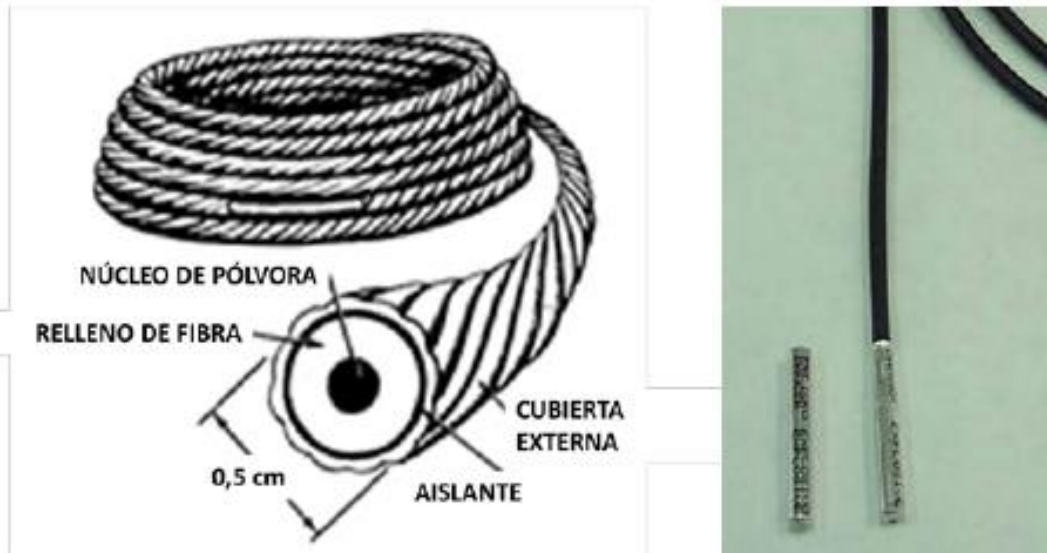


Figura 5 “Mecha lenta y engarce con detonador ordinario” [11]

2.5 Modelo *lean*

Durante el siglo XX la industria automotriz se vio afectada conforme al cambio sufrido por el área manufacturera experimentando una transformación en la forma que se realiza la producción. A finales del siglo XIX se denominó producción artesanal a un sistema caracterizado por utilizar una fuerza de trabajo con grandes habilidades en el diseño, operación de maquinaria y montaje teniendo organizaciones descentralizadas y bajos niveles de producción a un costo elevado. Debido a la baja producción y altos costos este sistema dio lugar a nuevos cambios en la innovación que solucionó en parte las problemáticas existentes en la producción artesanal dando lugar a un sistema de producción denominado sistema de producción en masa de Henry Ford. [13]

La producción en masa demostró la superioridad por sobre la producción artesanal puesto que usaba técnicas que reducían drásticamente los costos aumentando la calidad del producto respondiendo a las necesidades del mercado en ese entonces. Una de las características de la producción en masa era su capacidad completa y consistente de intercambiar partes y la simplicidad de unir las unas a otras, además logró utilizar herramientas y maquinarias que producían a gran volumen con un bajo costo de configuración entre piezas , logrando piezas mucho más precisas y definidas satisfaciendo el exceso de demanda que existía por los productos a una velocidad de producción adecuada en ese momento. [14]

Sin embargo, con el tiempo la sobre producción significó problemas de calidad, modelos inflexibles, maquinarias costosas aumento en los reprocesos y elevados inventarios produjo un impacto negativo en este modelo de producción. Motivos por la cual nuevas empresas comenzaron a tener mayor renombre en la producción mundial. Una de estas empresas radicada en la industria de automóviles japonesa destacó por sus diferencias significativas y radicales con el resto de sus competidores desarrollando un sistema integral totalmente nuevo de fabricación de productos lo que se denominó producción *Lean*. [14]

La producción *lean* se le atribuye a la empresa Toyota, quién fabricaba automóviles con principios distintos a los utilizados en el resto del mundo, cambiando radicalmente los paradigmas provocados por los sistemas de producción en masa. [14]

El sistema de producción *lean* cambia la forma en que las empresas entienden el rol organizacional de las compañías, fomentando que actúe como una comunidad. Además, establece una nueva forma de entender una planta de ensamblaje, potenciando la multifuncionalidad, el trabajo en equipo, la opinión de los trabajadores, la mejora continua y la eliminación de desperdicios. Por otra parte, incorpora de manera activa el rol de las cadenas de suministros, permitiendo el flujo continuo y la ausencia de detenciones en la línea de producción. Asimismo, cambia la manera en que se desarrollan los productos, formando personal especializado pero que trabaja en equipo con el resto de sus compañeros. Finalmente, conforman

procesos flexibles que respondan a la variación de la demanda, y el diseño de procesos que se orienten en la creación de valor para el cliente. Todo esto permite que *lean* sea una alternativa de trabajo en economías de crecimiento lento, posibilitando la producción de pequeñas cantidades de productos, de muchas variedades, y en condiciones de baja demanda. [14]

La filosofía *lean* puede ser resumida en 5 principios fundamentales que son: Especificar el valor para un producto específico, identificar la cadena de valor para cada producto, permitir el flujo de valor sin interrupciones, permitir que el consumidor ajuste el valor a la producción y por último perseguir la perfección.

A continuación, se presentan los principios fundamentales de la metodología *lean*:

Valor

El valor corresponde a todo aquello por lo que el cliente final está dispuesto a pagar, por ende, el cliente establece el valor y el fabricante lo crea.

Entonces, en la filosofía *lean* se detalla el valor para el cliente, centrando la atención en el producto específico con sus respectivas capacidades, ofrecido en el momento adecuado y a un precio específico.

En definitiva, la correcta determinación del valor para el cliente es el primer paso crítico del pensamiento *lean*. Con una incorrecta definición del valor, el producto desarrollado generaría pérdidas y desperdicios.

Cadena de valor

La cadena de valor es el conjunto de acciones con o sin aporte de valor necesarios para obtener un determinado producto o servicio.

Este principio define y potencia las actividades que agregan valor en la cadena de valor del producto, elimina las que no lo hacen y pueden ser descartadas directamente pudiendo modificar las que no agregan valor y que no pueden ser eliminadas para su realización

Flujo continuo

El flujo continuo permite que la producción fluya sin interrupciones removiendo todas aquellas barreras que generan pérdidas o desperdicios.

El foco de atención está relacionado al producto y sus necesidades por sobre los equipos y la organización. De este modo este paso radica en generar y permitir el flujo continuo de la cadena de valor a través de pequeños lotes de producción. Por lo tanto, es factible la necesidad de modificar el funcionamiento habitual de la empresa mediante una estrategia de transformación *lean* motivando la creación de valor en toda la cadena de producción.

Sistema pull

El sistema *pull* permite ajustar la producción a la demanda del cliente para obtener exactamente lo que desea, cuando lo desea y en la cantidad que lo desea.

El desafío está en generar que el cliente “tire” la producción y que la empresa responda exactamente con las necesidades del cliente, disminuyendo las predicciones y estimaciones sobre el interés de este.

Perfección

Tiene como objetivo buscar y mejorar continuamente los procesos haciendo que las pérdidas sean visibles y evidentes.

La búsqueda de la perfección permite encontrar ciertas pérdidas y desperdicios que antes no se identificaban permitiendo una mejora continua por parte de la empresa que no tiene límites ni dificultades para modificar sus procesos en beneficio de un objetivo en común.

Estos principios entregan la forma en que trabaja la metodología haciendo más con menos, es decir menos esfuerzo humano, menos equipos, menor tiempo y espacio entregando al cliente lo que quiere en el momento que lo necesita asumiendo tener que lidiar con pérdidas y desperdicios especialmente en aquellas actividades que absorben recursos, pero no crean valor. [15]

El pensamiento *lean* establece a las pérdidas como cualquier actividad humana que utiliza recursos pero que no crea valor. Por lo tanto, se consideran como pérdidas aquellos errores que requieren rectificación, la realización de productos donde no existe una demanda por el cliente generando excesos en el inventario, procesos innecesarios en la cadena de producción, transporte y movimiento de empleados y/o materiales sin un propósito establecido, esperas en cuellos de botella, es decir son actividades que no cumplen con las necesidades del cliente.

Para diferenciar de mejor manera las pérdidas o desperdicios, estas se pueden clasificar de la siguiente forma:

Defectos

Corresponde alguna pérdida referida a las fallas en los productos, la forma de poder corregirlos y el retrabajo que genera la reparación. Al detectar errores en la ejecución de los procesos, estos pueden generar pérdidas de tiempo, materiales, mano de obra, equipos y maquinarias involucradas.

Sobreproducción

Esta pérdida ocurre cuando la cantidad producida supera la cantidad necesaria en el tiempo y momento que se requiere. Al corresponder a una pérdida donde la producción es mayor que la solicitada por el cliente, genera cambios en las necesidades de aquellos productos desarrollados posteriormente.

Inventarios

Corresponde a una pérdida donde se tiene contabilizados aquellos materiales maquinarias y productos que son innecesarios para desarrollar una actividad. De igual forma para aquellos que no están estipulados y que son necesarios para realizar una actividad. Además, se consideran pérdidas por inventarios a la posesión de cantidades innecesarias de materiales y materia prima que disminuyen liquidez de la empresa o proyecto.

Procesos

La pérdida en los procesos corresponde a todo aquello que incluye un reproceso innecesario para la producción. Actividades adicionales a la producción que no agregan valor y aquellas actividades de revisión que no son de carácter tan necesario para esta etapa.

Traslados

Los traslados corresponden a pérdidas de cualquier movimiento físico de los trabajadores realizados en su lugar de operación. Principalmente la mayor pérdida de traslado realizada por el personal sucede al cambiar de actividad en una frente de trabajo.

Transporte

Las pérdidas de transporte hacen referencia al transporte innecesario de materiales y bienes. Es decir, cualquier movimiento de material o equipo que no agrega valor en su desarrollo y los múltiples cambios de datos e información que requiere una aprobación para poder ser utilizada.

Esperas

Las pérdidas de espera corresponden al tiempo de los trabajadores desperdiciados al no poder realizar aquellas actividades que generan valor. Existen esperas relacionadas a la utilización de una máquina no disponible, falta de materiales, etapas previas no terminadas en la cadena de valor e información no entregada entre otras.

Satisfacción del cliente

Esta pérdida corresponde aquella producción que no cumple con los índices de calidad propuestos por el cliente. Una fallida organización en la etapa de diseño puede generar productos que no satisfacen las necesidades que el cliente busca.

2.5.1 Mejora continua

El ciclo de la mejora continua se realiza como un proceso que inicia con pequeñas innovaciones y mejoras realizadas por los operadores, las cuales van progresando y acumulando la búsqueda de la perfección, logrando mejores resultados en recursos, producción, tiempos y calidad.

Lograr implantar este cambio en el pensamiento de los trabajadores resulta ser la etapa más difícil para lograr resultados notorios, puesto que implica un cambio cultural en la forma de realizar sus labores diarios, con los inconvenientes que esto pueda significar, pero una vez que se logra, los beneficios adquiridos en el proceso resultan persistentes en el tiempo. De esta forma la mejora continua es un pilar fundamental dentro de las organizaciones para conseguir mejores resultados enfocándose constantemente en disminuir los desperdicios o pérdidas existentes en una operación.

En definitiva, *lean Management* es un sistema integrado de gestión, que busca alcanzar la máxima eficiencia con el menor costo y el mínimo de desperdicios, adoptando finalmente una filosofía de gestión basada en la mejora continua. Para lograr esto se actúa sobre la variabilidad (pérdidas) y la inflexibilidad, consiguiendo mejoras en los costos, tiempos y calidad. [16]

2.5.2 Construcción modelo *lean*

El concepto de construcción *lean* comienza de la forma tradicional caracterizada por medidas de control simples relacionando las entradas y las salidas. Sin embargo, el proceso de transformación debe ser dividido en subprocesos que a su vez remite otros procesos relacionados a la transformación (figura 6). De este modo las corrientes de gestión tradicionales proponen que el valor del producto o salidas que tenga un proceso directamente asociado con el valor de las entradas del proceso.

Además, se puede minimizar el costo total del proceso mediante la minimización del costo de cada subprocesso por separado. [17]

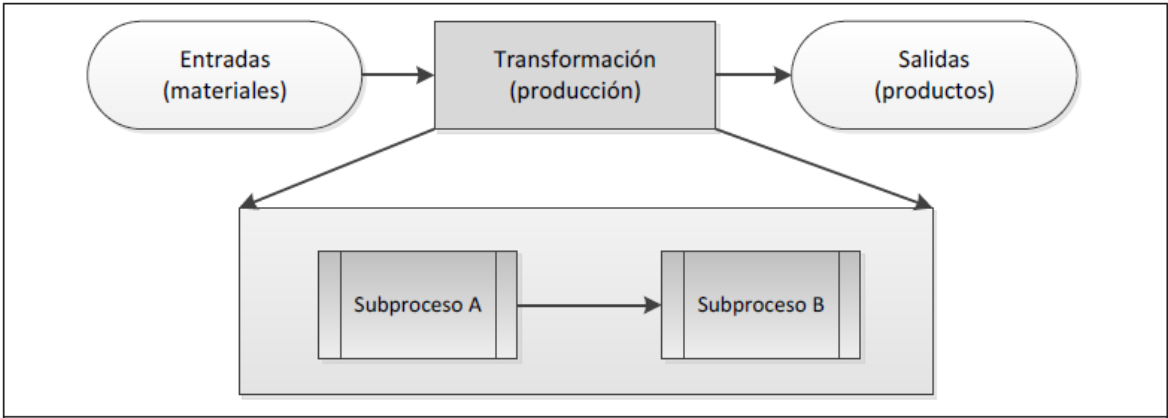


Figura 6 "Visión tradicional del proceso productivo. Producción como transformación." [18]

Sin embargo, el pensamiento *lean* propone una nueva visión para el proceso productivo basada en las transformaciones y los flujos proponiendo una nueva definición. La producción es el flujo de materiales e información que permite obtener el producto final. En este proceso productivo ocurre una transformación, el procesamiento el cual representa la transformación del material y los flujos son representados por inspecciones, movimientos y esperas.

En la figura 7 se muestra la nueva visión del proceso productivo.

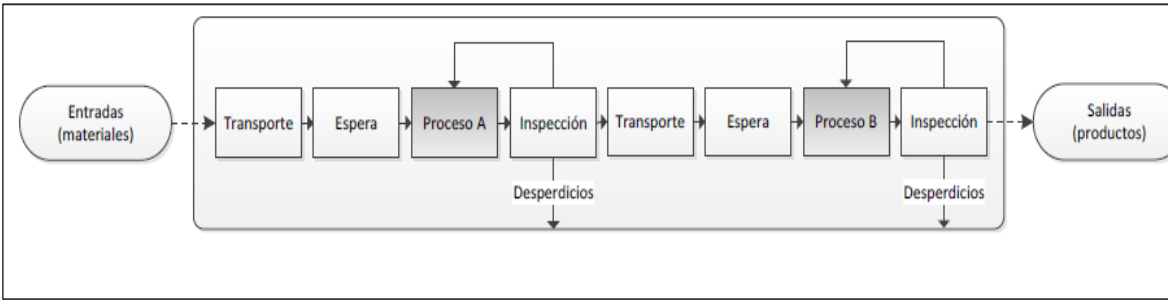


Figura 7 "Nueva visión del proceso productivo." [18]

A continuación, se mencionan algunos principios presentados para el diseño y mejora de los procesos de flujo que han tenido resultados de mejora considerable en la productividad:

- Reducir la proporción de actividades que no agregan valor.
- Reducir la variabilidad.
- Reducir tiempos de ciclos.
- Aumentar la transparencia del proceso.
- Aumentar la flexibilidad de salida.
- Aumentar el valor de salida a través de la consideración sistemática de la necesidad del cliente.
- Construir la mejora continua en el proceso.
- Simplificar al minimizar el número de pasos o partes.

De esta forma, se produce un mejoramiento continuo en el proceso productivo en donde es relevante la importancia de producir de manera continua logrando una reducción de actividades que no agregan valor mejorando la eficiencia de las actividades que sí permiten agregar valor al proceso.

2.5.3 Metodología *lean* en minería

La aplicación de conceptos en la metodología *lean* ha llevado a implementar esta metodología a diferentes áreas en la industria manufacturera, así como también en la industria minera. Si bien existen diferencias entre la industria manufacturera y la industria minera esta metodología se puede adecuar aplicando con éxito los principios característicos dada la visión común que posee. (Tabla 3)

Existen estudios que han aplicado ciertas herramientas o principios *lean* de forma básica obteniendo resultados exitosos y demostrando la variabilidad y flexibilidad que posee esta metodología en el rubro minero.

Tabla 3 "Comparativa entre la industria minera y la industria manufacturera".

Industria minera	Industria manufacturera
Dificultad para detener la producción	Capacidad de detener la producción
Producción en unidades continuas	Producción en unidades discretas
Generación de bastante polvo y contaminación del área de trabajo	Poco polvo y baja contaminación en el área de trabajo
Continuos cambios en las condiciones ambientales	Condiciones ambientales constantes
Ambiente variado	Ambiente estable
Locaciones de trabajo remotas	Centros de trabajos fijos y amplios
Susceptibles al clima	Ambientes cerrados y controlados
Capital humano repartido geográficamente	Plantas compactas
Variabilidad en el acopio de materiales	Acopio de materiales fijo
Corta vida de los componentes imposibilitando el manejo de inventario	Larga duración de los componentes posibilitando el manejo de inventario

Una de las definiciones características de la metodología *lean* son las pérdidas o desperdicios por ende en la minería la definición de algunos de los desperdicios se ven reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 4 "Ejemplos de pérdidas definidas en minería, basado en modelo lean"

Pérdidas	Descripción en minería
Sobreproducción	el mercado de metales se considera estable por lo tanto la sobre producción en cuanto a mineral neto es irrelevante, ya que el mercado la absorbe en su totalidad.
Tiempos de Espera	el tiempo de inactividad de los equipos móviles, en minería subterránea es muy bajo, por tanto, esta pérdida es irrelevante.
Productos Defectuosos	se debe considerar el entorno de la minería, donde la naturaleza de los equipos muchas veces presenta fallas de origen siendo necesaria su reparación.
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 el frente (acuñadura excesiva).
Transporte	esto depende de la elección del tipo de transporte, la ruta o el tipo de material a transportar. Generando pérdidas asociadas a una mala elección de los equipos.
Desplazamiento innecesario	relacionado a la baja estandarización de cómo se realiza el trabajo.
Creatividad desaprovechada de los empleados	se considera la baja utilización de los recursos humanos en cuanto a horas de trabajo. Este factor posee un gran potencial para mejorar dentro de la industria minera, por lo tanto, es quizás el que necesita más foco.

En el rubro minero la metodología *lean* es aplicada en algunas áreas de operación, ya que no existen casos reales donde se haya aplicado *lean* a nivel macro en toda una organización. Una de las formas que ha tenido mayor éxito al aplicar esta metodología es a través de la estandarización de procesos que permiten realizar la labor de igual forma para todos quienes tengan acceso a la operación. Sin embargo, la estandarización de los procesos debe implementarse con cierta flexibilidad puesto que la minería es mucho menos estable en el ritmo de producción que una fábrica convencional.

La literatura presenta alguno de los casos donde existe una implementación de la metodología *lean* para mejorar la productividad y la eficiencia en los procesos, dentro de las cuales podemos destacar el ejemplo de las mineras Fluorita y Amatista en Brasil que implementaron una nueva forma de dirección y gestión integrando conceptos *lean* y técnicas tradicionales de minería definiendo los temas integrados entre la producción *lean* y explotación. A su vez, se definieron métodos de investigación relacionados a encuestas entre sus trabajadores permitiendo realizar tareas prácticas para la recolección y análisis de datos en minería subterránea.

Los principales problemas identificados fueron la necesidad de eliminar partículas en suspensión en la etapa de perforación y la eliminación de gases en tronadura, puesto que requieren mayor tiempo de ventilación y son perjudiciales para la salud de los trabajadores.

Para realizar mejoras en los tiempos que agregan valor a la operación se aprecia la ineficiencia en un sistema de ventilación, la que causa pérdida de tiempo al momento posterior a la tronadura existiendo cerca del 45% del tiempo utilizado en procesos que generan valor. Una vez implementadas las mejoras se logró aumentar un 16% el sistema de ventilación permitiendo disminuir los tiempos de espera y mejorando la calidad en el ambiente de trabajo gracias a la reducción de polvo al interior de la mina. [18]

Otro caso de implementación del modelo *lean* se encuentra en Chile, puntualmente en la mina El Teniente, perteneciente a Codelco ha tenido éxito desde la inserción de esta filosofía de trabajo.

División el teniente desde el año 2011 cuenta con un departamento de excelencia operacional encargado de impulsar la transformación cultural por medio del diseño de gestión y el empoderamiento de las personas lo cual pretende elevar el desempeño de la empresa.

Actualmente existe un equipo de excelencia operacional encargado de la transformación y la aplicación de la metodología *lean* quien trabaja sobre 3

dimensiones centrales que son Sistemas operativos, sistemas de gestión Y mentalidades y comportamientos.

Para llevar a cabo esta labor se formaron profesionales llamados agentes de cambio quienes localizan el trabajo en áreas específicas con el fin de obtener diagnósticos que logren focalizar pérdidas o desperdicios significativos que puedan ser mejorados y mantenerse a través del tiempo por medio del concepto denominado mejora continua.

La mina Diablo Regimiento logró aumentar en un 27% la producción posterior al diagnóstico realizado.

División El Teniente hoy en día contempla proyectos de preparación minera quienes en conjunto con las empresas contratistas busca mejorar la calidad de sus operaciones por medio de la metodología *lean*. En la figura 8, se presenta un diagnóstico y seguimiento del proyecto minero Diamante respecto al desarrollo horizontal en un tiempo determinado, en el cual se observa la cantidad de metros programados, desarrollados de manera horizontal y los metros reales desarrollados durante un periodo de tiempo.

Desarrollo horizontal de minería metros/semana

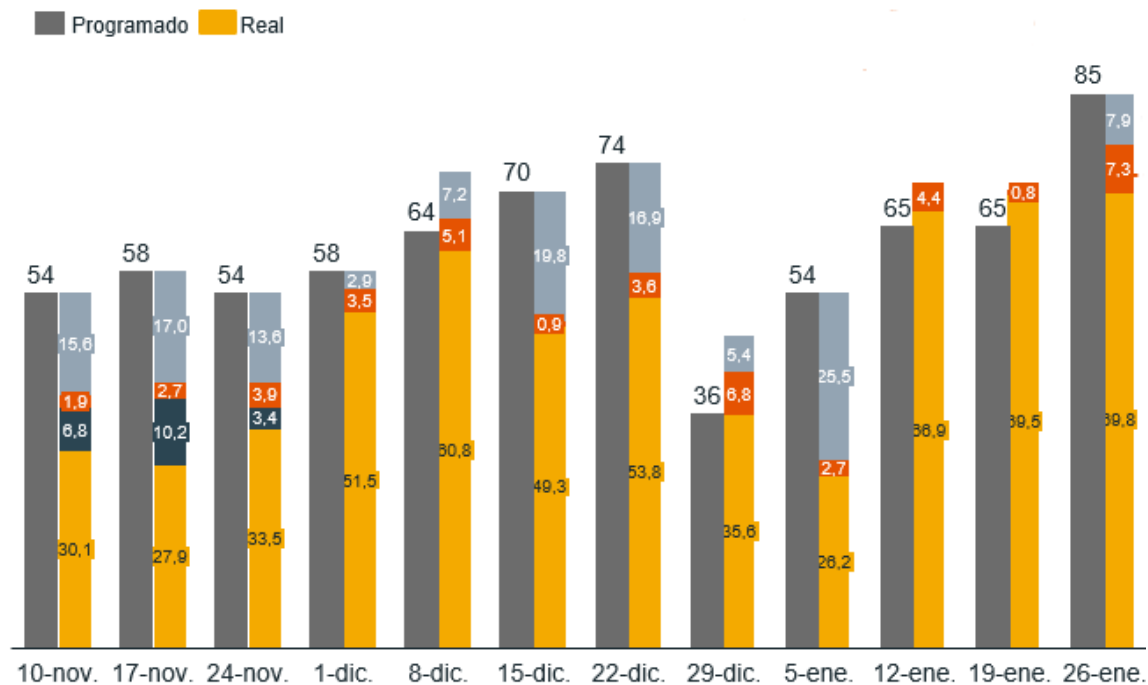


Figura 8 "Desarrollo horizontal proyecto El Diamante, División El Teniente"

2.5.5 Dimensiones aplicadas a la metodología *lean* en minería

Para lograr una transformación en las operaciones del rubro minero es requerido trabajar sobre 3 dimensiones centrales basadas en la metodología *lean* resguardando los límites y características propias de la minería pudiendo ser aplicadas a la pequeña y mediana minería con resultados satisfactorios en productividad y calidad de trabajo. Estas dimensiones son:



Figura 9 "Dimensiones aplicadas a metodología lean en minería"

2.5.5.1 Sistemas operativos

Estos sistemas garantizan la ejecución segura, eficiente y estandarizada de cada proceso productivo, recogiendo las mejores prácticas que permitan entregar resultados el momento de ser aplicadas, pues facilita tener equipos en las condiciones adecuadas con estándares claros a los cuales adherirse para cumplir con el plan operacional de forma eficiente, logrando una menor variabilidad, aumento en la productividad, mayor utilización y rendimiento de los equipos.

Este sistema entrega elementos que en conjunto con las pérdidas o desperdicios visualizados permiten caracterizar una aspiración o meta, manteniendo el control de cada uno de sus procesos.

2.5.5.2 Sistema de Gestión

Un sistema de gestión establece un conjunto de reglas y principios relacionados entre sí de forma ordenada permitiendo identificar la manera en que se desea administrar el negocio. Para lograr implementar correctamente este sistema existen principios los que permiten el desarrollo profesional que sustenten los resultados favorables en un sistema de gestión. Estos corresponden a:

Objetivo común

Encargado de conectar la estrategia, objetivos y un propósito significativo teniendo una declaración clara sobre las aspiraciones de la compañía de una estructura organizacional que permita recorrer el camino hacia el estado final. A través de líderes, comunicar la visión estando presentes en la faena y haciendo seguimiento del desempeño a través de indicadores conectados a la misión en todos los aspectos analizados.

Mejora continua

Descubre mejores formas de trabajar a través de una visión, el cual los problemas son oportunidades de mejora que deben ser buscados y resueltos estructuradamente, requiriendo tiempo y planificación para la resolución de problemas donde cada solución debe estar enfocada el trasfondo y no soluciones superficiales, involucrando a los operarios transformando a grupos de interés relevantes para la operación.

Procesos eficientes

Entregan eficientemente lo que el cliente quiere ya que es la razón por la que trabaja la compañía a diario. Cada negocio debe entender lo que el cliente quiere ya sea interno o externo y cómo la demanda influye en su equipo por medio de mediciones de demanda y satisfacción del cliente.

Desarrollo de personas

Habilita a las personas para que lideren y contribuyan en su máximo potencial aumentando su satisfacción, mejorando el desempeño, disminuyendo temores y recordando el futuro de la organización. Los líderes tienen la capacidad de entregar retroalimentación según las necesidades de cada individuo haciendo seguimiento en la faena en cuestión, aplicando las mejores prácticas para ser codificadas y compartidas a través del tiempo.

2.5.5.3 Mentalidades y comportamientos

Una transformación cultural requiere previamente la capacidad adaptativa de las personas que la componen. Por esto, es relevante comprender el entorno global en el que se vive este cambio, logrando derribar barreras y hábitos comunes en la vida minera y también, incentivando de manera divergente el cambio a nivel organizacional y operativo.

Las organizaciones deben manejar su competencia técnica y su cultura con el mismo rigor para lograr así cambios significativos. Las competencias técnicas tienen la capacidad de desarrollar e implementar soluciones que permiten a una organización entregar los resultados operacionales y la cultura tiene relación con la mentalidad y el comportamiento que genere a una organización en línea ejecutar y renovarse continuamente para mantener un desempeño excepcional en el tiempo.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

Este capítulo aborda la metodología a utilizar durante la investigación describiendo y definiendo aquellas herramientas utilizadas para lograr ser aplicadas, aumentando la productividad en el sector. Además, realizar un diagnóstico y análisis de los casos de estudio dando a conocer la forma en que se llevará a cabo la memoria, teniendo en cuenta aquellas consideraciones y puntos críticos que permitan beneficiar al desarrollo minero de la pequeña minería.

3.1 Estudio de caso

Se realiza una metodología de estudio de caso utilizando fuentes de evidencia permitiendo un buen levantamiento de información que logre ser implementado en cada caso de estudio.

Dentro de las principales características de un estudio de caso se encuentran [19]:

- Estudia un fenómeno actual en su contexto en especial cuando los límites no son claramente evidentes.
- Analiza variables de interés a través de fuentes priorizando el desarrollo de proposiciones teóricas orientadas a la recolección de datos.
- Utiliza distintos propósitos de la investigación para estudios exploratorios, descriptivos o explicativos.
- No requiere tener un ambiente controlado para el comportamiento de los eventos
- Es centrado principalmente en estudios de eventos contemporáneos.

3.2 Toma de datos o fuentes de evidencia

La recolección de información a la cual se tiene acceso para realizar un estudio de caso puede ser obtenida a través de diversas fuentes. Estas fuentes estarán limitadas dependiendo el enfoque realizado a la investigación seleccionando los datos útiles y significativo para su desarrollo. En la siguiente tabla se pueden apreciar fuentes de información relevantes y aquellas ventajas y desventajas que posee cada una de ellas.

Tabla 5 "Fuentes de evidencia"

Tipo de Fuente	Evidencia	Ventajas	Desventajas
Documentos	Reportes	Estables	Acceso
		Exactas	Obtención
		Cobertura amplia	
Archivos de registro	Informes anteriores	Estables	Acceso
	Estudios realizados por Seremi de minería	Cobertura amplia	Privacidad
		Precisos	
		Cuantitativos	
Encuestas	Encuestas realizadas a trabajadores	Orientadas	Parcialidad
		Definidas	
Entrevistas	Evaluaciones realizadas en terreno	Orientadas	Sesgo
		Flexibles	Precisión
		Explotadoras	

Un estudio de caso permite desarrollar líneas convergentes de investigación entregando mayor veracidad y brindando la opción de utilizar distintas fuentes de evidencias.

Se requiere ordenar y mantener la información obtenida del estudio de caso sin ser alterada manteniendo una cadena de evidencia confiable, existiendo una conexión explícita a través de la pregunta de investigación, la información y datos recolectados, logrando un análisis más real de la situación planteada.

Para analizar los resultados no solo basta con distintas fuentes de evidencia, sino que se recomienda usar información cualitativa y cuantitativa. Esta información puede ser sometida a análisis estadístico o también apreciando las entradas y salidas de un estudio evaluativo. De este modo se obtiene una estrategia de análisis consciente considerando el análisis de ambas áreas.

Durante la investigación se lleva a cabo un levantamiento de información gracias a la entrega de documentos y cifras relacionadas a las etapas de perforación y tronadura por parte de miembros de la Seremi de Minería de la Región de O'Higgins sumado al trabajo realizado de manera autónoma, ya sea en la búsqueda de bibliografía, como también, en aquellas salidas a terreno realizadas en las minas en estudio ubicadas en la localidad de Chancón para un posterior análisis desde el punto de vista de la metodología *lean*, en donde puedan ser detectadas las pérdidas asociadas a la forma de ejecución de las labores unitarias ya mencionadas.

3.3 Descripción de los casos de estudio

Para estudiar la implementación de la metodología *lean* en proyectos de desarrollo minero enfocado a la perforación y tronadura (PyT) de la pequeña minería subterránea y cómo estas impactan en la ejecución de estos, se utilizarán 5 casos de estudio pertenecientes a diversas faenas en el sector de Chancón, Región de O'Higgins.

El propósito de esta investigación es realizar un levantamiento de información a través de, la realización de diagnósticos que permitan identificar desperdicios con el propósito de mitigar y solucionar aquellos problemas que generen mayor valor agregado a las operaciones unitarias de PyT.

Cabe destacar que el desarrollo consiste en la entrega de posibles soluciones aquellas perdidas o desperdicios encontrados principalmente en los sistemas operativos y de gestión que sean significativos y que generen un impacto en la productividad y recursos de las faenas mineras en estudio.

Para desarrollar este trabajo se analizaron 5 casos de estudio de faenas que se encuentran en explotación en el Distrito Minero de Chancón. En la figura 10 y tabla 6 se indica la ubicación de estas faenas.

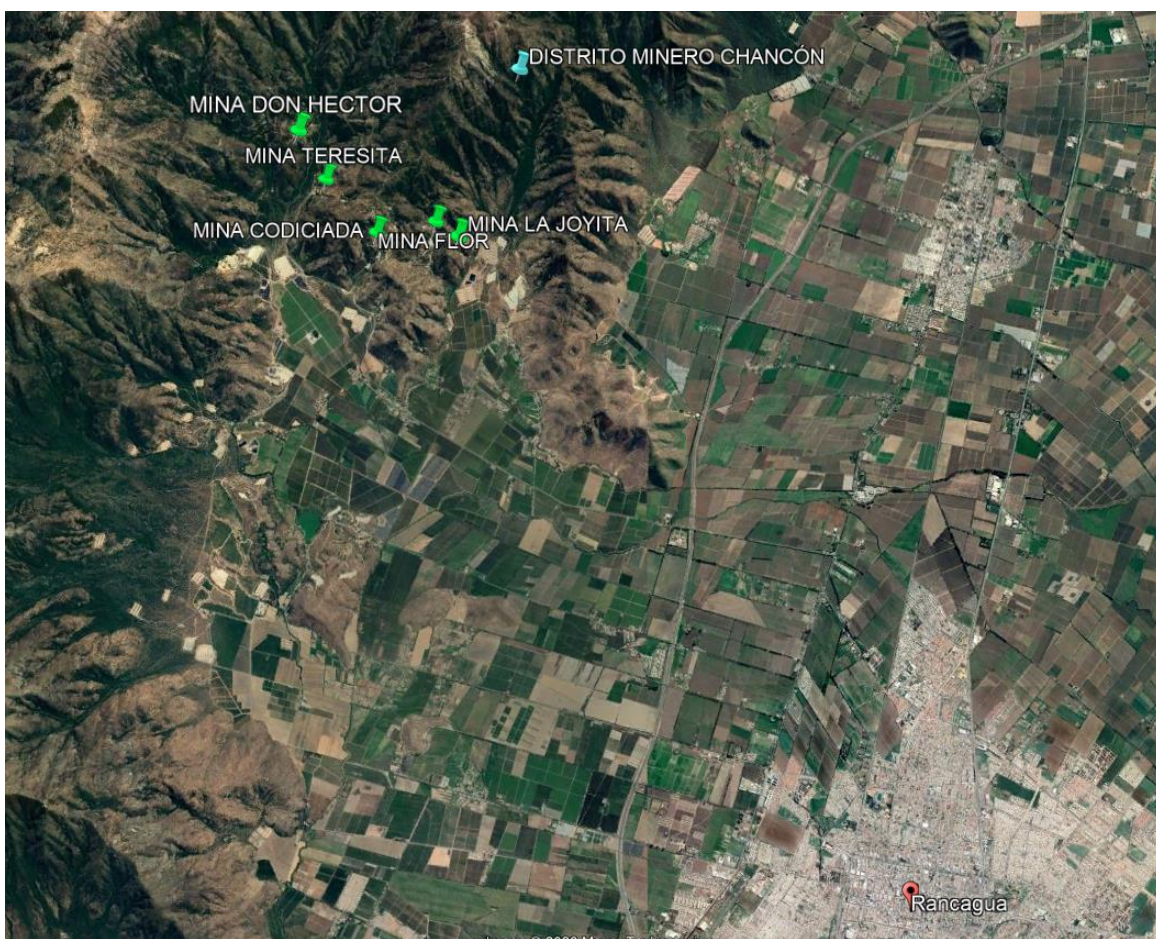


Figura 10 "Ubicación faenas analizadas Distrito Minero Chancón"

Tabla 6 "Ubicación faenas mineras para implementar metodología *lean*"

Mina	Comuna	Coordenadas		
		Este	Norte	Cota
La Codiciada	Rancagua	330.475	6.228.820	708
La Flor	Rancagua	331.258	6.228.642	588
Teresita	Rancagua	330.578	6.228.820	626
Don Héctor	Rancagua	328.836	6.230.020	728
La Joyita	Rancagua	330.506	6.228.896	580

En relación a la mineralización, la explotación se basa en la extracción de oro y como subproducto plata y cobre. En los niveles superiores es posible encontrar roca oxidada con presencia de oxidados de cobre y hacia los niveles más profundos sulfuros como piritita y calcopiritita entre otros minerales. También en algunas faenas, como por ejemplo en Mina La Flor, existen zonas dentro del yacimiento con presencia de sulfuros de zinc y plomo (blenda y galena), lo cual constituye una ventaja que eventualmente en el futuro podría ser estudiada y analizada para la extracción selectiva y venta de estas menas.

El método de explotación utilizado en la mayoría de estas faenas es "realce" por chimeneas que consiste en explotar el mineral realizando estocadas por fuera de la veta para posicionarse sobre los niveles desarrollados e ir extrayendo mineral de forma sub-vertical dejando pilares horizontales para mantener la estabilidad. El mineral cae por gravedad hacia las estocadas o puntos de extracción, donde el equipo de carguío lo recoge para transportarlo hasta la superficie. Este método es muy utilizado en pequeña minería, para la extracción de vetas con oro, pues es posible manejar la dilución ya que no es un método de explotación masiva.

Las faenas tienen dotaciones relativamente bajas, con no más de 8 trabajadores con turnos de 5x2 en su mayoría y la producción es variable entre 80 y 1500 toneladas al mes. Los principales compradores de mineral son Enami y la planta de procesamiento Los Robles (Tabla 7).

Tabla 7 "Antecedentes generales faenas analizadas para implementar metodología *lean*"

Mina	Jefe Mina	Turno	Trabajadores	Producción mensual	Venta
La Codiciada	Delfín Olivares	5x2	8	800 toneladas	Enami
La Flor	Michael Jiménez	5x2	8	1000 a 1500 toneladas	Enami y Los Robles
Teresita	Gonzalo Figueroa	10x5	2 a 3	900 toneladas	Enami
Don Héctor	Soc. Minera Tromin Ltda	20x10	7	600 toneladas	Enami
La Joyita	Juan Olivares	5x2	2	80 toneladas	Enami

Para llevar a cabo la etapa de perforación se utilizan máquinas perforadora modelo YT27 o YT28 las cuales corresponden a un taladro de roca con émbolo. Se utiliza principalmente en trabajos de perforación de roca en minería y túneles o para proyectos de construcción. Se adaptan a un ambiente de perforación en húmedo en rocas de alta y mediana dureza para perforaciones horizontales u orificios de explosión inclinados.

Los equipos utilizan aire comprimido el cual es suministrado por medio de compresores de 7 bar de presión, utilizando el método de rotopercusión que se lleva a cabo de forma neumática generando una profundidad de perforación que puede alcanzar los 5 metros.

Los modelos mencionados, son equipos muy utilizados en labores de pequeña minería debido a su bajo costo y fácil mantención, sin embargo, están expuestas a presentar fallas durante su uso o previo a cumplir su vida útil, ya que, sus componentes no presentan buena calidad. El mantenimiento se realiza de manera reactiva en su gran mayoría, es decir, cuando un equipo presenta una falla se lleva a cabo su reparación y posterior mantención para continuar con su funcionamiento.

En la tabla 8, se muestra la ficha técnica del modelo YT27 utilizado en este tipo faenas mineras.

Tabla 8 "Ficha técnica perforadora YT27" [20]

Peso	27 kg	Frecuencia de impacto	37 ~ 40 Hz
Largo x ancho x alto	668x248x202mm	Energía Impacto	50 ~ 70 J
Consumo de aire	50 ~ 85 L/s	Presión de trabajo	0.4 ~ 0.63 Mpa
Ø Manguera de aire	25 mm	Presión hidráulica	0.3 Mpa
Ø Manguera de agua	13mm	Torque	13 ~19 Nm
Ø de cilindro	80 mm	Ø apropiado de orificio	34 ~ 45 mm
Carrera de pistón	60 mm	Profundidad de perforación	5 mts
Velocidad perforación	300 ~ 480 mm/min	Vastago	H22x108 mm

La perforación se realiza durante el día y por lo general la tronadura es llevada a cabo dos veces por turno. Solo se trabaja en turnos diurnos. En la tabla 9 se presenta el detalle de los parámetros principales de perforación utilizados por las distintas faenas.

Tabla 9 "Parámetros de perforación en faenas mineras analizadas para implementar metodología *lean* "

Detalle	La Codiciada	La Flor	Teresita	Don Héctor	La Joyita
Equipo Perforación	YT-27 chino 2012	YT-27 2018	YT-27	YT-28	YT-27 2018
Cantidad	3	-	-	5	-
Cantidad de Tiros	40	45	48 a 54	20	28
Distancia entre tiros (cm)	50	60	60-70	40	50
Profundidad (cm)	180	180	120	120	120
Dimensión sección a perforar (m)	3x3	3x3	3x3	3x3	1,2x1,8
Tiempo perforación	10 min	10 min	8-10 min	10 min	12 min

Las labores de perforación y tronadura son realizadas mediante diagramas de disparos que si bien, algunas faenas lo poseen, no necesariamente son llevados a cabo siguiendo ese formato ya definido, el conocimiento y experiencia en terreno de cada trabajador genera la forma de realizar las labores las que se adaptan a las características presentes en el área de trabajo.

A continuación, la figura 10 presentan diagramas de disparo de 1,5 metros por 1,5 metros con 16 disparos realizados para la construcción de chimeneas y diagramas de perforación para una labor horizontal de 2,5 por 2,5 metros y 17 tiros realizados en la mina Teresita, Distrito minero Chancón.

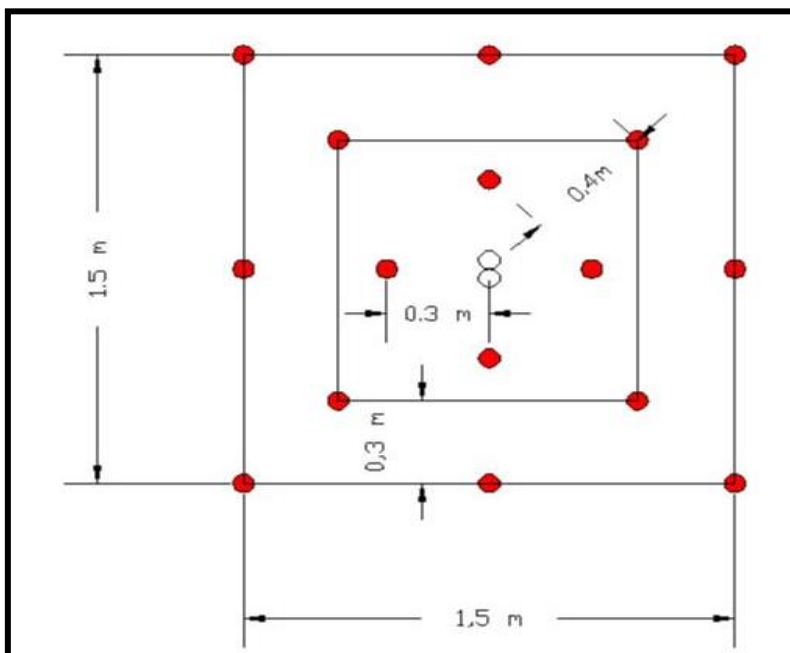


Figura 11 "Esquema de Perforación Chimeneas de 1,5 m x 1,5 m mina Teresita"

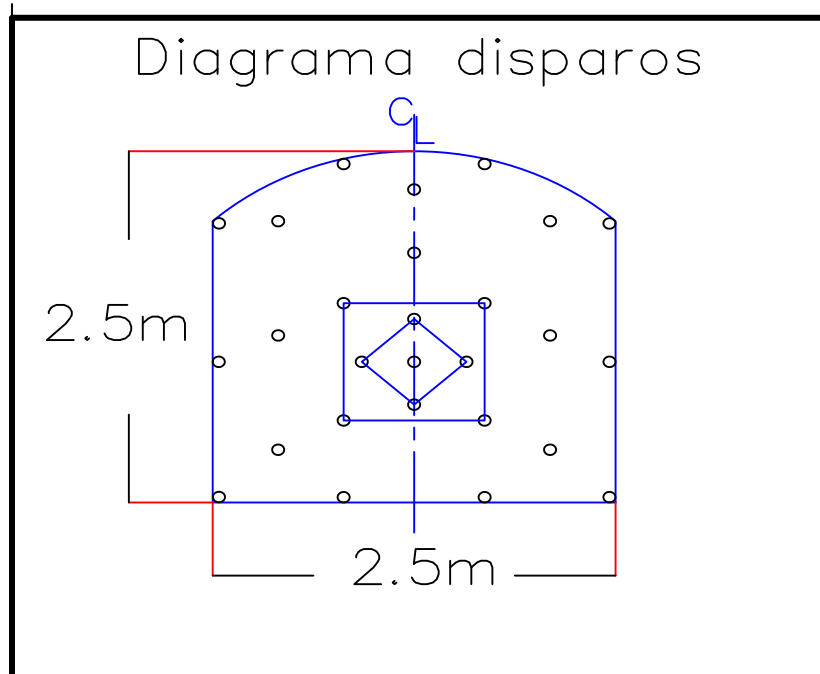


Figura 12 "Diagrama de perforación labor horizontal Mina Teresita"

Para la Tronadura el explosivo que se utiliza es ANFO además de los accesorios tradicionales para esta operación, tales como guía lenta (mecha), cartuchos de dinamita y fulminantes N°8. En la figura 12, se presenta un diagrama de carga utilizado en la mina Teresita con un largo de tiro de 1,5 metros para cuadrante y zapatera. Los tiros de contorno en tanto poseen un largo de tiro de 1,6 metros.

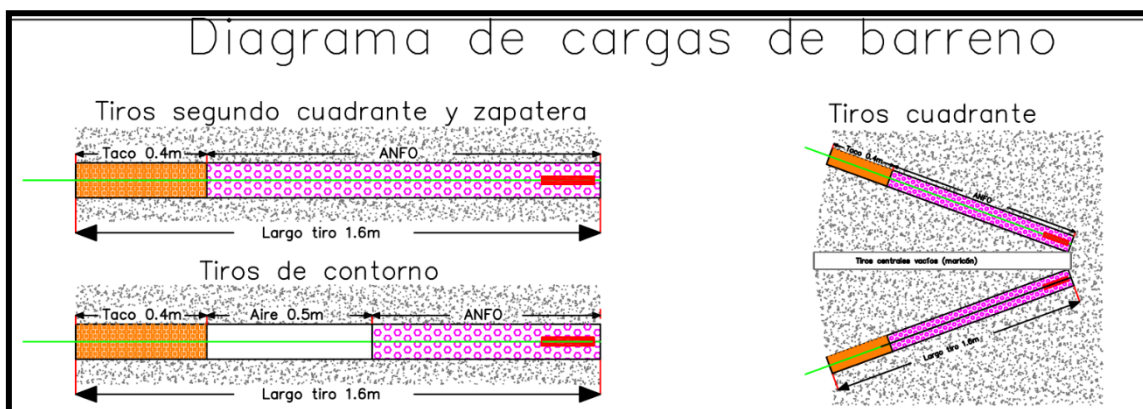


Figura 13 "Diagrama de cargas de barreno"

Para establecer una consistencia en la recopilación de datos y darle mayor confiabilidad al levantamiento de información, es necesario que exista una comparación en los aspectos más relevantes relacionados la etapa de perforación y tronadura llevados a cabo en pequeña minería subterránea ubicada en el distrito minero chancón principalmente en aquellos casos de estudio analizados durante la realización de la investigación. La tabla 10 muestra un resumen de las mineras en estudio y algunos de sus puntos más relevantes.

Tabla 10 "Resumen datos más relevantes de mineras en estudio"

Resumen datos mineras en estudio	Faenas Mineras									
	Codiciada		La Flor		Teresita		Don Héctor		La Joyita	
Equipo Perforación	YT-27 chino 2012		YT-27 2018		YT-27		YT-28		YT-27 2018	
Cantidad	3		-		-		5		-	
Cantidad de Tiros	40		45		48 a 54		20		28	
Distancia entre tiros (cm)	50		60		60-70		40		50	
Profundidad (cm)	180		180		120		120		120	
Dimensión sección a perforar (m)	3x3		3x3		3x3		3x3		1,2x1,8	
Tiempo perforación	10 min		10 min		8-10 min		10 min		12 min	
Transporte y acarreo	<i>Scoop y bodcat</i>		<i>Tractor con carro y dumper</i>		<i>Tractor con carro</i>		<i>Camión minero articulado</i>		<i>Carretilla</i>	
Generador eléctrico	<i>Ingerson Rand 85 2018</i>		<i>Ingerson Rand 85 2012</i>		<i>Ingerson Rand</i>		<i>KIPO</i>		<i>Ingerson Rand 2018</i>	
Compresor	<i>Diessel</i>		<i>Bossa</i>		<i>Diessel</i>		<i>Kaiser 2012</i>		<i>Kaiser 2011</i>	
Mantenimiento	Reactiva		Programada		Reactiva/Programada		Reactiva		No registra	
Horario tronadura	12:00 y 17:00 horas		14:00 horas		17:00 horas		-		17:00 horas	
Tronaduras diarias realizadas	2		10		2		1		1	
Insumos utilizados	Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad
Explosivo	ANFO	300 g	ANFO	500 g	ANFO	500 g	ANFO	300 g	ANFO	250 a 300 g
Emulsión	Emultex	½ por tiro	Emultex	½ por tiro	Emultex	½ por tiro	Emultex	½ por tiro	Emultex	½ por tiro
Detonador	Full 8		Full 8		Full 8		Full 8		Full 8	
Guía Lenta	2,3 m		2,3 m		2,4 m		2,5 m		2,4 m	

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

En este capítulo se presenta el análisis de los datos disponibles en las 5 faenas del Distrito Minero Chancón, con el fin de realizar un diagnóstico al proceso de perforación y tronadura

Del mismo modo, se presentan resultados comparativos más relevantes para profundizar el entendimiento y aplicar la metodología *lean* en proyectos de pequeña minería subterránea, y cómo impactan en su desempeño, organización y gestión de aquellas operaciones unitarias en estudio.

Por último, identificar planes de acción apoyado en aquellas pérdidas o desperdicios significativos que generen valor agregado a la operación y una vez detectados trabajarlos de manera continua a través del tiempo en donde sea factible un modelo de implementación de metodología *lean* basado en los factores encontrados bajo esta investigación.

4.1 Impacto en el desempeño de los proyectos en estudio

Con el objetivo de evaluar correctamente cómo impacta la implementación *lean* en el desempeño de las faenas mineras en estudio, el análisis de las variables más significativas en pequeña minería y en la etapa de perforación y tronadura se efectuó una comparación en la ejecución de sus labores, debido a la diversa caracterización, modo de operación y gestión por parte de cada una de las faenas.

Con esta comparación se puede obtener una idea cuantitativa real de la forma de trabajo para su diagnóstico general, por esto se eligió un método práctico para su análisis con el fin de evitar posibles sesgos producto de la dispersión de datos y la variación en la forma de trabajo en el distrito minero Chancón.

El ritmo de producción depende de muchos factores involucrados en un ciclo minero, para la pequeña minería la cantidad de maquinarias y equipos disponibles

reflejan notoriamente una variación respecto el resto de las faenas mineras. a continuación.

Para el caso de estudio correspondiente a la mina La Joyita su baja producción en comparación a las otras mineras es debido al equipo de acarreo que utiliza puesto que es una carretilla manual que almacena muy baja cantidad de material tronado a diferencia de las otras en estudio que utilizan maquinaria diesel con mayor capacidad de acarreo. La figura 14 presenta la producción mensual de las distintas faenas mineras involucradas en la investigación.

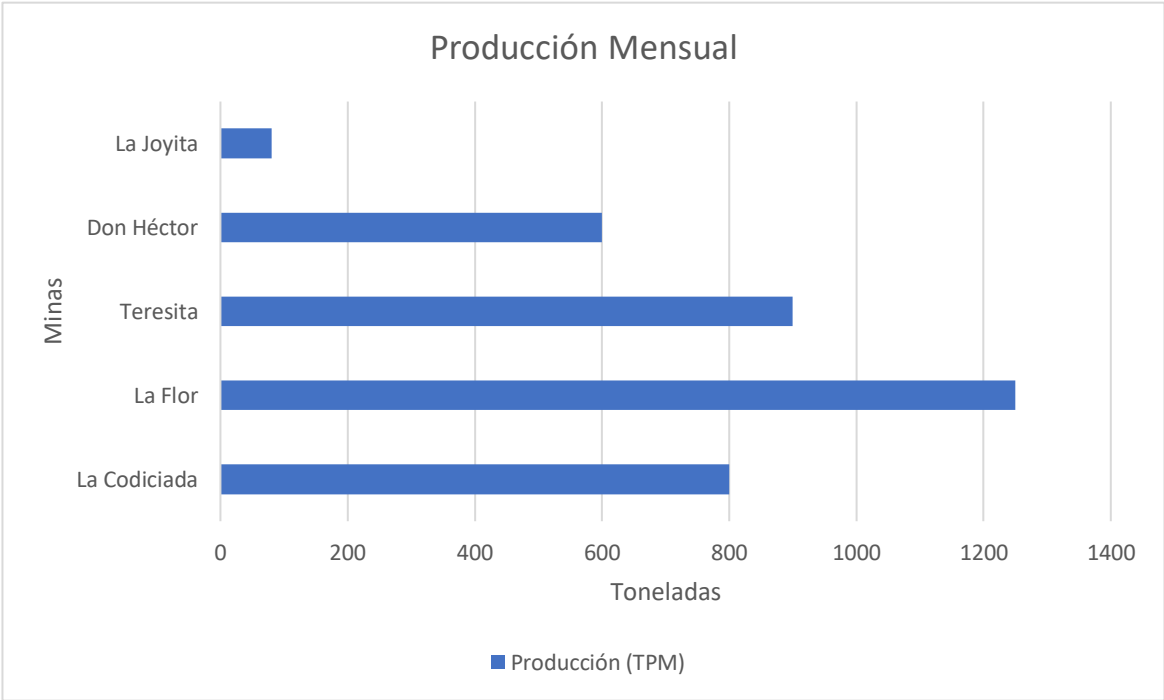


Figura 14 "Producción Mensual Faenas Mineras en estudio"

En pequeña minería resalta mucho la multi funcionalidad que posee cada trabajador debido a que las dotaciones de personal son limitadas teniendo que desempeñarse en diversas labores del ciclo minero.

Si bien la cantidad de trabajadores es directamente proporcional al ritmo de producción, para el caso perteneciente a mina Teresita su baja dotación de trabajadores no impide que su producción mensual este ubicada junto a aquellas

mineras que poseen una cantidad más extensa de personal. Esta situación se ve reflejada en el sistema de turnos y la planificación semanal que realizan pudiendo generar mejores resultados a nivel productivo.

A continuación, la figura 15 presenta la dotación de personal de las distintas faenas mineras involucradas en la investigación.

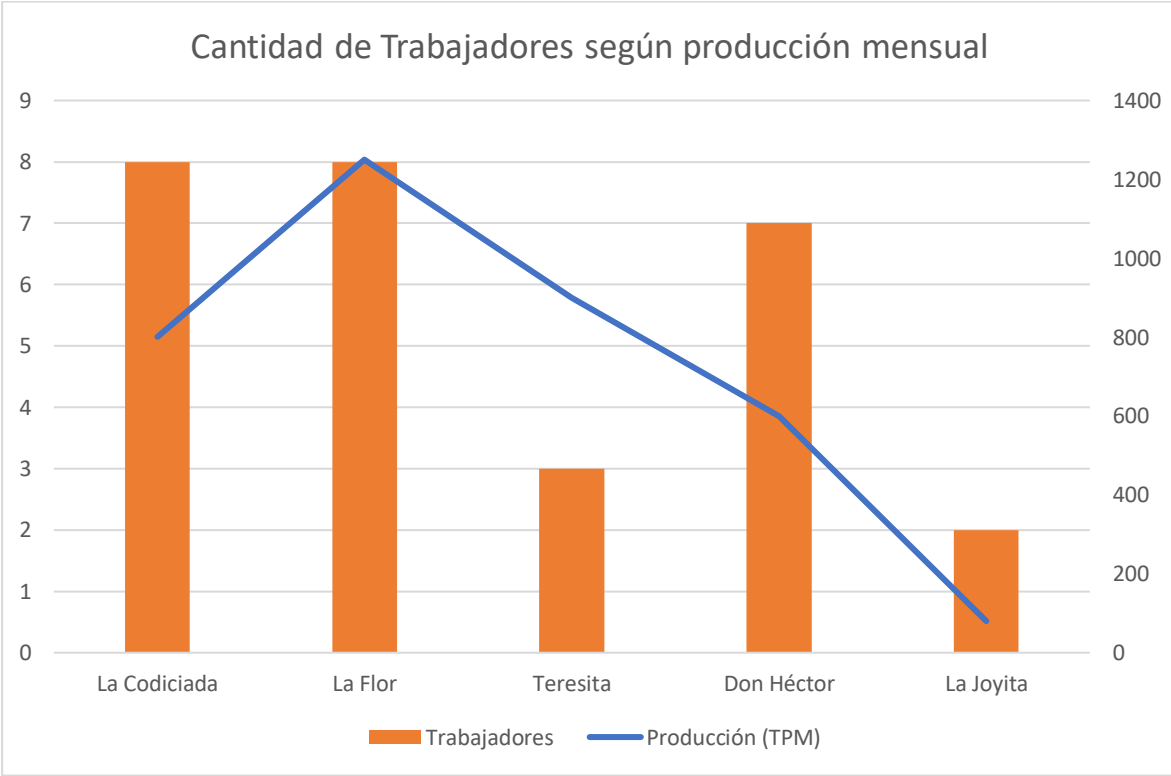


Figura 15 "Cantidad de trabajadores faenas mineras en estudio según producción mensual"

Al realizar un análisis sobre el diagrama de perforación, se observa en los datos que no existe una metodología homogénea para todas las faenas mineras y cada una utiliza una forma distinta según el diseño que ellos emplean. A pesar que las labores y el tipo de mineral es similar en todas las faenas, los parámetros de perforación son distintos, por tanto eso puede generar pérdidas por una mala tronadura, exceso de bloques, sobre tamaño o un avance menor a los metros de avance perforados significando acciones que no generen valor agregado ya sea a la operación como

también a la faena minera impidiendo maximizar la eficiencia de cada una de sus operaciones

En la figura 16 se muestran las diferencias en la distancia entre tiros por cada faena minera.

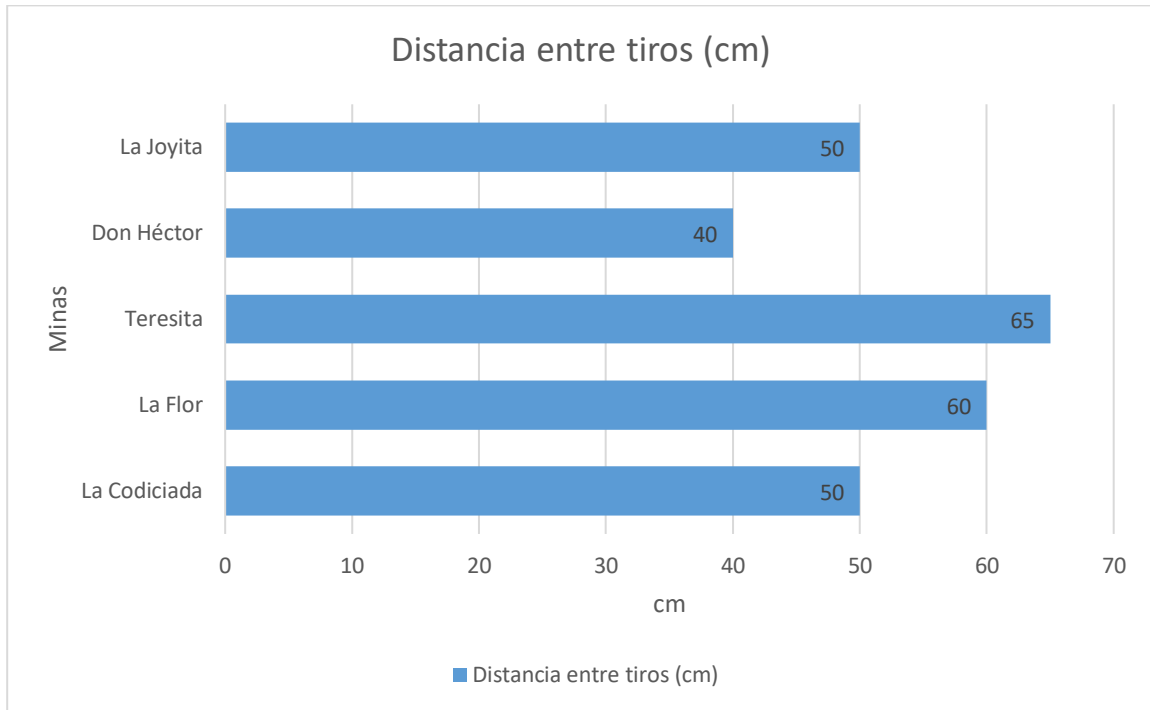


Figura 16 "Distancia entre tiros de cada faena minera en estudio"

La cantidad de tiros se estima dependiendo de las dimensiones de la frente de avance, así como también, de los diagramas de disparo propuestos antes de comenzar a operar. Los datos indican una variación respecto a los diagramas predefinidos, los cuales varían según las características de la frente al momento de efectuar cada disparo.

En la figura 17 se muestra la cantidad de perforaciones realizadas en promedio por cada una de las faenas mineras.

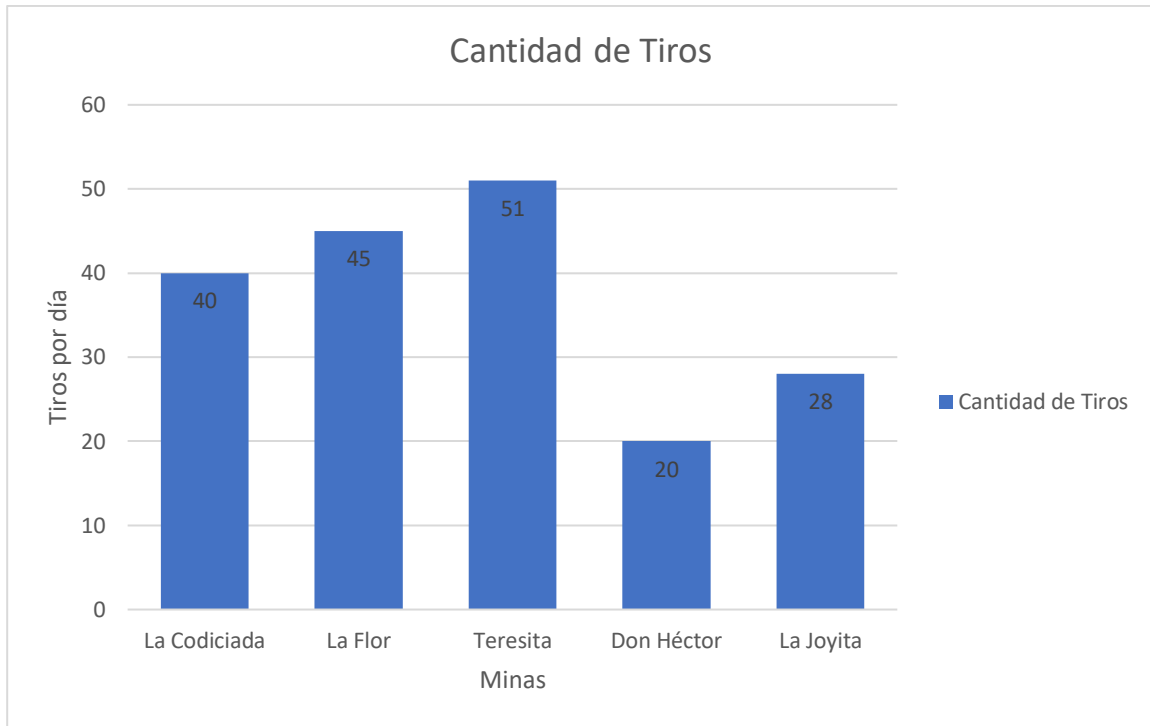


Figura 17 "Cantidad de tiros en faenas mineras en estudio"

4.2 Diagnóstico inicial casos de estudio

La propuesta para identificar la realidad en que se desenvuelven los diferentes casos de estudio y poder diagnosticar aquellas necesidades y actividades que generen valor agregado a las personas involucradas directamente en la pequeña minería es realizar un levantamiento general de información basado en: Revisión de documentos y antecedentes, entrevistas, visitas a terreno e información proporcionada con profesional de la Seremi de Minería quienes están en permanente contacto con el accionar del Distrito Minero Chancón, el que entrega un importante rol en la economía y el desarrollo de la región.

De esta forma en el balance y análisis se definen aquellos desperdicios y aspectos relevantes que requieran ser modificados para aumentar la eficiencia en los procesos y así promover que plan de acción implementar para mejorar la

productividad de aquellos casos de estudios pudiendo ser replicados en todo el Distrito minero de Chancón.

4.2.1 Principales problemas

4.2.1.1 Planificación

Entre los principales problemas que afectan a la pequeña minería subterránea la planificación es uno de los puntos más significativos debido a la poca o nula organización por parte de los operadores previo a realizar una labor o al iniciar sus actividades de carácter diario por ende no existe una estructura establecida de aquellas actividades realizadas en cada turno de trabajo.

El no existir un organigrama predeterminado, en su mayoría cada trabajador alude a una escala simétrica de jerarquía demostrando una clara falta de liderazgo que logre llevar a cabo un programa determinado en base a las demandas definidas como faena minera.

El traspaso de información se entrega de manera informal a través de la comunicación verbal, descartando la posibilidad de registro de información que detalle la realización de una actividad durante el día, la que no permite saber si la calidad de su ejecución es la óptima para cada proceso.

4.2.1.2 Sistemas de gestión

La problemática basada en los sistemas de gestión recae en la falta de procedimientos para llevar a cabo las actividades involucradas en la pequeña minería y en específico en la etapa de perforación y tronadura. Si bien, existen instructivos a nivel nacional para la pequeña minería subterránea muchos de estos no reflejan la realidad de lo que ocurre, ya que en el Distrito Minero de Chancón

cada labor y cada faena minera utiliza parámetros diferentes dependiendo de las características y equipos existentes en el lugar.

Un sistema de gestión con la falta de un propósito claro que pueda alcanzar un buen desempeño por parte de cada trabajador se ven limitados producto del nivel de organización correcto, desconociendo el propósito que tiene cada trabajador para que este pueda ser significativo y que estos a su vez estandaricen las mejores prácticas aludidas al área intervenida, definiendo la causa raíz de los problemas existentes en el procedimiento realizado de manera habitual.

4.2.1.3 Pérdidas de tiempo

El problema derivado del tiempo tiene directa relación con la mala o nula planificación por parte de cada trabajador de las faenas mineras generando desorden y poca claridad en las actividades que hay que realizar. Esta acción provoca ir realizando las actividades de manera espontánea existiendo vacíos que no generan valor al proceso de extracción.

Se reflejan desperdicios de tiempo condicionados por la disponibilidad de equipos al momento de ser utilizados, ya que al momento de comenzar a realizar labores de perforación y tronadura los equipos no están en condiciones de ser operados ya sea por falta de mantención o la falla de alguna de las piezas en períodos anteriores que no fueron solucionados a tiempo. Esto alude también, a traslados innecesarios de equipos a frentes de avance que no estaban destinadas hacer trabajadas.

Al no existir mantenciones programadas en algunas de las faenas mineras estudiadas, en donde solo 20% realiza mantenciones programadas a todos sus equipos se genera la posibilidad de existir una falla irreparable o que provoque largos tiempos de detención en la extracción de mineral lo que en términos económicos se ven afectados de manera importante debido a la variación en su producción mensual.

4.2.1.4 Seguridad

La pequeña minería presenta un déficit marcado respecto a la seguridad observados en las visitas a terreno y los riesgos asociados a labores subterráneas, puesto que además de aquellos factores característicos de una labor minera, se suma la escasa fortificación existente en el Distrito Minero Chancón. Las favorables características geomecánicas del sector y los altos gastos que genera la realización de fortificación hacen que esta etapa sea desestimada en el ciclo operacional.

La conciencia y falta de criterio en seguridad por parte de los trabajadores se ve reflejado en las etapas de perforación y tronadura, ya que existen situaciones en las que no se trabaja con los elementos de protección personal adecuados, o la utilización de éstos no son de la forma correcta incumpliendo a las normas vigentes en minería subterránea.

Muchos de los elementos de protección personal están deteriorados debido al constante uso lo que genera que no cumplan su función de forma óptima.

4.2.2 Principales oportunidades

4.2.2.1 Mejora la planificación operacional

La pequeña minería subterránea de Chancón requiere una mejora importante en el proceso de planificación de carácter operacional que logre hacer participativos a los diferentes entes involucrados.

Llevar un control de las actividades realizadas o aquellas que falta por realizar, de tal forma de llevar un orden operacional sin tener que desperdiciar tiempo o recursos en labores repetidas o vacíos para la realización de un proceso continuo.

Adicionalmente hay un alto potencial de mejora en el perfeccionamiento de la forma en que se traspasa la información. Si bien, la entrega puede hacerse de carácter

verbal es más factible que esté registrada sin pasar por alto algún detalle ocurrido durante las actividades. la coordinación diaria debe ser fluida y clara para una mejor toma de decisiones.

4.2.2.2 Mejora en los sistemas de gestión

Una de las formas de lograr mayor eficiencia a nivel productivo es la formación de un buen equipo de trabajo, por lo que la clave para lograrlo es incentivar el liderazgo del personal involucrado, reforzando el rol de cada individuo adquirido en los procesos mineros involucrados. A su vez, reforzar metas o aspiraciones trazadas que sirvan para motivar la capacidad de cada uno de los trabajadores logrando una oportunidad de mejora que beneficie la actividad.

La búsqueda de una mejora continua relaciona aquellas acciones que no se están realizando de buena forma pudiendo ser corregidas, permitiendo que no vuelvan a ocurrir. La forma de trabajar tiene como sustento el ir mejorando de manera paulatina aumentando cada vez las aspiraciones y objetivos trazados.

Otra forma de contribuir consiste en codificar las mejores prácticas conocidas en la etapa de perforación y tronadura de las faenas mineras en estudio pudiendo entrelazar los resultados y estandarizar la mejor forma de realizar las actividades con el menor desperdicio o pérdida posible.

4.2.2.3 Reducir las pérdidas operacionales

La calidad de los trabajos realizados es un tema constante que afecta de manera directa la eficiencia operacional, por lo que el trabajo realizado actualmente aparece como una gran oportunidad.

Otro aspecto relacionado con las pérdidas que se producen en los procesos productivos tiene relación con la disponibilidad y el uso de equipos, herramientas y

materiales. Lograr definir estrategias que mejoren la disponibilidad de los equipos claves de perforación y tronadura se observan como un punto que genere impactos relevantes al momento de ser abordados. Asimismo, el uso correcto y en óptimas condiciones de herramientas y materiales resulta fundamental para lograr mejorar las pérdidas actuales.

4.2.2.4 Fomentar la seguridad en la forma de trabajar

Para lograr implantar aspectos de seguridad en los trabajadores se requiere un plan de desarrollo que permita modificar el estilo para realizar las actividades. Es decir, cambiar el hábito que tienen los operadores, lo que resulta muy complejo al momento de implementar una forma establecida de trabajo y también modificar el proceso después de hacerse por tanto tiempo de la misma forma

Concientizar a cada trabajador sobre los riesgos existentes en una faena minera subterránea por medio de charlas que reflejen la necesidad de tomar los resguardos y el uso de elementos de protección personal, y que estos se encuentren en óptimas condiciones para que puedan cumplir su función.

4.3 Planes de acción

Luego de realizar el diagnóstico inicial y habiendo identificado los principales problemas y posibles oportunidades, se dan a conocer posibles acciones que puedan ser implementadas en un período determinado a través de un seguimiento de los parámetros analizados en la productividad del distrito minero.

Estos planes de acción van enfocados a las etapas de perforación y tronadura, pero que pueden ser utilizados en todo el ciclo minero característico de la zona de Chancón, por lo tanto, la resolución de posibles acciones se hará de manera general sin tener que aludir a las etapas unitarias mencionadas.

La necesidad de proponer planes de acción radica en una metodología que logre minimizar las pérdidas o desperdicios en cada una de las operaciones en las que se detecte un valor agregado significativo de la faena en general y que pueda llevarse a cabo al momento de ser implementado. La idea es poder monitorear constantemente cada uno de estos planes y que a su vez los cambios o mejoras puedan contribuir a una mayor eficiencia en los procesos y en el aumento de la productividad a nivel operacional.

Algunos de los planes recomendados para ser implementados son:

4.3.1 Reuniones efectivas

El objetivo es lograr la difusión y entendimiento del programa impulsado por la metodología *lean* por parte de todos aquellos que pertenezcan al área involucrada, ya sea, de forma directa (trabajadores) e indirecta (personal de Sernageomin, Seremi de minería).

La comunicación al interior de un equipo de trabajo se torna fundamental para contrarrestar una nula planificación y una mala gestión previa, durante y posterior a una actividad sin importar el rubro que sea.

Por esta razón las reuniones son una importante actividad que ayuda a resolver problemas y tomar decisiones que puedan ir en beneficio de una faena minera. Por esta razón, la implementación de reuniones estandarizadas dentro de un área de trabajo que permita llevar de mejor manera una planificación diaria teniendo claro aquellos puntos críticos en los cuales se deba tener mayor atención, así como también llevar un orden secuencial de aquellas actividades realizadas durante cada jornada de trabajo.

Para que exista una buena y eficiente comunicación, se deben presentar roles al interior del equipo de trabajo. es por esto, que el encargado de la faena debe adquirir un rol clave de líder de equipo, teniendo en cuenta las aspiraciones, los procedimientos y el desempeño de cada uno de sus trabajadores.

Una reunión efectiva debe estar parametrizada por medio de herramientas que permitan mejores resultados la que puede ser diálogos de desempeño. Estos tienen como objetivo revisar la aspiración de los compromisos generados y el desempeño de cada área, enfocándose en el análisis de prácticas de cumplimiento y las acciones futuras para alcanzar metas considerando riesgos y vulnerabilidades. Su estructura debe estar diseñada de tal forma que logra abordar reflexiones de seguridad y medio ambiente, compromisos, perdidas o desperdicios encontrados al interior del ciclo minero y en particular a la etapa de perforación y tronadura y, por último, dejar en claro la aspiración o meta a la cual se quiere llegar y los riesgos asociados a su cumplimiento. La tabla 11 muestra una pauta que presenta la forma de realizar un diálogo de desempeño en la localidad de Chancón.

Tabla 11 "Agenda diálogo de desempeño"

Reconocimiento	Reconocimiento a un participante del diálogo de desempeño.	2 min
Reflexión de seguridad	Reflexión de seguridad con enfoque a un acontecimiento de la semana o reciente.	5 min
Revisión de compromisos previos	Revisión de compromisos acordados la semana anterior, cumplimiento de compromisos en función del rol.	10 min
Desempeño de la faena minera	Revisión del frente de avance en función de los indicadores y metas definidos previamente.	23 min
Nuevos compromisos	Revisión de nuevos compromisos, asignando responsables, fechas y objetivos posteriores.	5 min

Logrando llevar a cabo de buena forma la comunicación entre cada trabajador se permite tener una visión clara de aquellos problemas pertenecientes a cada faena minera y así atacar los cuellos de botella, realizando seguimiento en la producción de cada área con el objetivo y asegurar una mejora continua.

4.3.2 Resolución de problemas

Para lograr encontrar la causa raíz de alguna situación que no genere valor al proceso productivo de la faena minera se debe definir el problema de forma simple en base a hechos objetivos, procurando comunicar claramente la brecha a resolver. Para esto se puede utilizar la herramienta de la metodología *lean* basada en el ciclo de Deming que sigue una estructura que se presenta en la figura 18 la que se debe aplicar en las faenas en estudio principalmente en las etapas de perforación y tronadura.

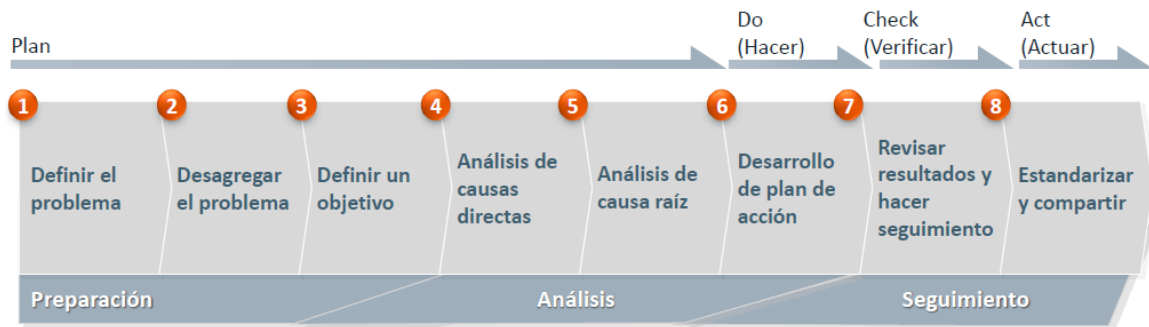


Figura 18 "Estructura de 8 paso del Ciclo de Deming"

La finalidad de llevar a cabo esta herramienta es entregar una metodología que ayude a los trabajadores a contribuir en el progreso individual y colectivo dando lugar a discusiones o ideas realizadas de manera constructiva que logren identificar posibles causas y a la vez que todos los trabajadores puedan entregar puntos de vista o hipótesis que consigan dar respuesta a cada problema ocurrido al interior de la faena minera.

Una vez definido el problema, la recomendación se realiza en base a la necesidad de hacer un seguimiento a las etapas de perforación y tronadura para revisar resultados que puedan ser favorables o modificar aquellos planes de acción que no tuvieron el impacto esperado al momento de ser implementados y una vez corregidos poder estandarizar y compartir lo realizado, logrando una mejora continua enfocada en los procesos de las faenas mineras.

4.3.3 Estandarización

Los estándares aseguran la eficiencia en la ejecución de un procedimiento, siendo la base para las mejoras futuras que puedan ir variando a través del tiempo.

Por esta razón, la realización de estándares en la etapa de perforación y tronadura implica registrar una serie de pasos claramente definidos de aquellas actividades realizadas frecuentemente en las faenas mineras. Además, logra verificar condiciones o parámetros de operación de un proceso o de un equipo en donde se requiere consistencia y exhaustividad en la verificación de cada condición. La estandarización en la etapa de perforación y tronadura es transferible a otros procesos pudiendo ser susceptible a interrupciones y reajustes que logren en todo momento una mejora continua mejorando su potencial y el impacto generado al interior de cada ciclo minero en el Distrito Minero de Chancón.

La metodología *lean* resalta esta herramienta puesto que una de sus principales fortalezas es que las mejoras queden implantadas en el proceso y no en las personas, es decir, hacer perdurar en el tiempo aquellas actividades que generan valor agregado y son potenciadas permanentemente independiente de las personas que puedan llevar a cabo las actividades.

Para llevar a cabo un estándar ya sea de perforación, tronadura u otra operación unitaria se menciona los siguientes principios que permitan ser formalizados de mejor forma, estos son:

- **Accesible:** Los estándares deben estar disponibles en el lugar de trabajo y en poder de cada trabajador.
- **Claro:** Su implementación debe ser clara simple y consistente destacando claramente el resultado que cada trabajador debe alcanzar en una tarea determinada.
- **Específico:** Un estándar se enfoca sólo en las tareas claves de un proceso aclarando la implementación de cada tarea requerida de manera uniforme y específica.

- Visual: Debe existir una misma estructura para cada tipo de estándar, simplificando la lectura y el entendimiento a través de íconos que sean significativos o diagramas de fácil comprensión.
- Actualizado: La implementación de los estándares debe estar adaptado a las tareas en función de su realización diario.

4.3.4 Confirmación de roles y procesos

Esta herramienta permite identificar brechas en competencias críticas a desarrollar llevándose a cabo en terreno con los operadores quienes ejecutan el proceso de manera constante. La confirmación de rol y visitas a terreno permiten identificar oportunidades en los sistemas de gestión que impactan los resultados retroalimentando todas las actividades realizadas, identificando aquellas oportunidades que puedan impactar de manera positiva en la realización de cada una de las tareas previamente estandarizadas.

Una de las formas para ser aplicado es realizando una tabla que represente los resultados obtenidos pudiendo observar el estándar comparado con lo realizado en tiempo real pudiendo así verificar la evidencia en terreno y dando la oportunidad de poder discutir algunas variables que puedan influir en la productividad y el buen desempeño de cada una de las actividades.

Para la confección de este tablero que cumpla con la confirmación de roles se pueden incluir los siguientes aspectos:

- Objetivo común: Presentar las aspiraciones u objetivos definidos revisando si es comprendida y sabida por cada uno de los trabajadores.
- Compromisos previos: Revisar las acciones con falencias realizadas anteriormente por cada trabajador verificando los problemas de alto impacto y más significativos surgidos en reuniones previas.
- Comportamiento y capacidades: Realizar un análisis en base a las virtudes y potenciales mejoras por parte de los trabajadores. Potenciar la aspiración

planteada por el encargado de cada faena y destacar el reconocimiento de buenas prácticas y el cumplimiento de objetivos trazados por parte del equipo de trabajo.

4.3.4 *Feedback* (Retroalimentación)

Esta herramienta promueve y habilita cambios positivos en el comportamiento siendo muy efectiva, ya que, es un componente vital de una comunicación práctica promoviendo tanto en el que entrega como en quien recibe esta retroalimentación entendiendo la situación en la que se ven enfrentados.

Entregar *feedback* es una oportunidad para expresar reconocimiento, inspirar un compromiso positivo y reducir las dudas sobre expectativas y desempeño alcanzado modificando comportamientos no deseados y actitudes esperadas que hacen al personal poder potenciarse a través del aprendizaje y mejora en su desempeño profesional asegurando un continuo desarrollo y enfocándose de forma efectiva en las oportunidades de mejoras observadas.

Toda persona involucrada en la faena minera puede llevar a cabo una retroalimentación siempre y cuando exista coherencia y respeto al momento de plantearla. La forma entregar un buen *feedback* es en base a la siguiente secuencia:

- Describir observación concreta
- Explicar la forma en que me afecta
- Escuchar dudas al respecto de la situación planteada
- Ofrecer sugerencias o reconocimientos

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

La escasa cantidad de recursos y la exigencia constante presente en la pequeña minería ha llevado a buscar mejoras enfocadas en el aumento en la eficiencia y calidad de cada una de sus operaciones, sin tener que disponer de grandes inversiones para lograrlo.

Dicho esto, la filosofía *Lean* ha ido escalando en el rubro minero de manera significativa en el último tiempo, puesto que se caracteriza en innovar los sistemas de gestión y operación, eliminando desperdicios o pérdidas. Por tanto, aunque el personal tenga un perfil profesional no es su obligación tener conocimientos en ella, por esto la organización debe entregarles la formación necesaria para que puedan implementarla en sus labores. Además, potenciar las habilidades blandas para lograr el cambio de conducta necesaria que permita derribar barreras culturales generando una transformación cultural en el estilo de vida de cada trabajador abocado a la pequeña minería subterránea del Distrito Minero de Chancón.

En términos prácticos y cumpliendo con el objetivo de esta investigación se obtiene como resultado la incorporación de la metodología *lean* y la propuesta de alguna de sus herramientas a partir de un diagnóstico para un grupo de faenas mineras y planes de acción que puedan llevarse a cabo a largo plazo por medio de un seguimiento constante en un periodo de tiempo más extenso. El diseño planteado se realiza en base a investigaciones de diversa índole que permitan evidenciar aquellas problemáticas existentes en la forma de realizar cada una de sus labores unitarias principalmente aquellas de perforación y tronadura.

El diagnóstico inicial realizado indica los parámetros más débiles de las faenas mineras en estudio como lo es la gestión y planificación al momento de ejecutar sus actividades de perforación y tronadura teniendo una visión más global de su funcionamiento y de la forma de llevar a cabo sus operaciones de perforación y tronadura.

El análisis cuantitativo deja en evidencia las diferencias en las cantidades de recursos utilizados variando en el doble de uso de explosivos desde 250 g a 500 g y generando pérdidas significativas de materiales y tiempos detenidos debidos principalmente a la nula mantención de los equipos utilizados que se ven reflejados en que menos del 40% de las faenas en estudio cuentan con mantenciones programadas.

El análisis cualitativo en tanto refleja la realidad vivida en faenas subterráneas relacionadas a la pequeña minería. Esto debido a la inexistente planificación previo a realizar una perforación o tronadura. También la gestión presenta un factor trascendente para realizar mejoras puesto que, no hay protocolos o parámetros formales en donde se deje registro de lo realizado previo o posterior a cada labor realizada identificando la necesidad de tener un plan de trabajo que permita clarificar los roles de cada trabajador y una confirmación de procesos que posea información cuantitativa de los avances para poder ir evaluando su desempeño.

Finalmente, los futuros estudios que se pueden desarrollar en base a la investigación realizada van a permitir aplicar los planes de acción propuestos pudiendo realizar un seguimiento detallado de la forma en que van desarrollando las mejoras y aquellas que puedan resultar no de la forma esperada y plasmar así una de las características de la metodología *lean* que es la mejora continua.

REFERENCIAS

- [1] Á. Videla, «El valor proporcionado por la minería a la sociedad,» *Minería Chilena*, 26 Noviembre 2019.
- [2] N. Rivera, «Escalas de producción en economías mineras. El caso de Chile en su dimensión regional,» *Scielo*, vol. 40, 2014.
- [3] Sociedad Nacional de Minería, «Caracterización de la pequeña y mediana minería,» 2014.
- [4] L. G. Galleguillos y J. Vallete Isla, «Estudio Mineralógico Distrito Minero de Chancón, Comuna de Rancagua, VI región del Libertador Bernardo O'Higgins,» La Serena, 2017.
- [5] F. I. V. Villalobos, «Propuesta metodológica de un modelo de negocio para pequeña minería de oro, en base a requerimientos técnicos de Enami; un caso aplicado en faena minera del sector Chancón en la región de O'higgins,» Santiago, 2017.
- [6] COCHILCO, «Monitoreo de variables e indicadores relevantes de la mediana y pequeña minería chilena. Santiago,» Santiago, 2016.
- [7] SERNAGEOMIN, «Anuario de la Minería de Chile,» Santiago, 2019.
- [8] SERNAGEOMIN, «Sernageomin.cl,» 14 Junio 2013. [En línea]. Available: <http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/mineria/G4PerforacionTronaduras.pdf>. [Último acceso: 06 Mayo 2019].
- [9] N. Pinto y A. López, «Achs.cl,» [En línea]. Available: <https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/equipos-de-proteccion-personal-en-minas-metalicas-subterranas.pdf>. [Último acceso: 07 Mayo 2019].

- [10] J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gomez y J. Herrera Herbert, *Perforación y Voladura de Rocas en Minería*, Madrid, 2013.
- [11] ENAEX, «Ficha Técnica Productos/Agentes de Voladura,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.enaex.com/wp-content/uploads/2017/11/ENAEX-FT-Anfo-a-Granel.pdf>. [Último acceso: 25 Junio 2019].
- [12] ENAEX, «Enaex.com,» 2014. [En línea]. Available: https://www.enaex.com/wp-content/uploads/2018/05/Folleto-Emultex_Original-Web.pdf. [Último acceso: 25 Junio 2019].
- [13] N. A. A. PAREDES, «Implementación de Lean Manufacturing para mejorar el sistema de producción de una empresa de metalmecánica,» Lima, 2018.
- [14] J. Womack, D. Jones y D. Ross, *The machine that changed the world: Based on the massachusetts institute of technology 5-million-dollar 5-year study on the future of the automobile*, New York: Rawson Associates, 1990.
- [15] J. Womack y D. Jones, *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*, New York: Simon & Shuster, 1996.
- [16] M. Sanchez, J. Gómez, L. González, M. Hidalgo y S. Sánchez, «Diseño de un modelo para implementar Lean con éxito,» de *6th International Conference on Industrial*, 2012.
- [17] K. L, *Application of the new production philosophy to construction.*, Stanford: Center for Integrated Facility Engineering, 1992.
- [18] A. Klipper, C. Petter y J. J. A. Valle , «Lean management implementation in mining industry.,» *DYNA*, 2008.
- [19] R. Yin, «Case study research,» de *Design and methods*, Los Angeles, Sage, 2009, p. 219.

- [20] Perfoexpress, «perfoexpress,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.perfoexpress.cl/productos/perforadoras/yt27.html>. [Último acceso: septiembre 2020].
- [21] P. Otniel, «Sonami.cl,» 06 Marzo 2016. [En línea]. Available: <http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-tronadura.pdf>. [Último acceso: 07 Mayo 2019].
- [22] Gobierno de Chile, «www.minmineria.gob.cl,» [En línea]. Available: <http://www.minmineria.gob.cl/mision-institucional/>. [Último acceso: 25 Junio 2019].
- [23] Gobierno de Chile, «<http://www.minmineria.gob.cl>,» [En línea]. Available: <http://www.minmineria.gob.cl/pamma/>. [Último acceso: 25 Junio 2019].
- [24] Gobierno de Chile, «<http://www.subdere.gov.cl>,» [En línea]. Available: <http://www.subdere.gov.cl/programas/divisi%C3%B3n-desarrollo-regional/fondo-nacional-de-desarrollo-regional-fndr>. [Último acceso: 25 Junio 2019].
- [25] Gobierno de Chile, «<http://www.minmineria.gob.cl/>,» [En línea]. Available: <http://www.minmineria.gob.cl/>. [Último acceso: 25 Junio 2019].
- [26] K. Dunstan, B. Lavin y R. Sabford, «The application of lean manufacturing in a mining environment.,» de *International Mine Management*, 2006, pp. 145-147.