

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Facultad de ingeniería
Departamento de Ingeniería Metalúrgica

Profesor Patrocinante

Sr. JORGE CUBILLOS MIRANDA

Ingeniero Supervisor

Sr. CLAUDIO ARELLANO VERGARA

**PROPUESTA DE SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL PROCESO DE
PERFORACIÓN DE PRODUCCIÓN EN COMPAÑÍA MINERA
CERRO COLORADO, BHP.**



MARÍA JESÚS MARTÍNEZ VALDÉS

Informe de Memoria de Título

para optar al Título de

Ingeniera Civil de Minas

ENERO 2021



*Para mi madre, Gisela Valdés Muñoz, por su
infinito esfuerzo, dedicación, y por siempre
impulsarnos a superarnos...*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios por siempre estar presente en mi vida y la de mi familia, entregándonos salud y unión para superar los obstáculos que se nos han ido presentando en el camino.

También a toda mi loca y linda familia, en especial a mi abuelita Graciela, mis padres Gisela y Mauricio y mis hermanas María Fernanda, María José y Javiera, sin dejar fuera a mis cuñados Pablo y Jorge, que son los hermanos mayores que nunca tuve. Gracias por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, gracias por la compañía, las risas y los consejos, que siempre fueron los mejores.

A mis padres, gracias por la educación que me entregaron con mucho esfuerzo, la que me permitió lograr cada objetivo que me he propuesto y llegar hasta esta etapa. Gracias por el amor entregado, y los valores que nos inculcaron, que me ayudan a ser mejor persona cada día.

Por otra parte quiero agradecer a Felipe, mi compañero de vida, quien se aventuró conmigo y me acompañó en este desafío. Gracias por tu amor, y tu inmenso e incondicional apoyo. También agradecer a mis amigas de siempre, mis amigos universitarios, y colegas memoristas y practicantes. Gracias por tantos lindos momentos, y por hacer más amenas esas largas noches de estudio y turnos en la mina.

Además, quiero agradecer a mis compañeros de oficina, tutor y supervisores, con quienes compartí durante el tiempo en faena y me entregaron un poco de sus conocimientos, y consejos para enfrentarme a los desafíos que se vienen en esta nueva etapa. Gracias por el buen recibimiento y la siempre buena disposición.

Finalmente, a mis profesores de comisión, quienes siempre tuvieron la dedicación para entregarnos sus conocimientos y guiarnos durante estos años, y a mi profesor patrocinante, quien me orientó y acompañó en este proceso final, brindándome su apoyo para la realización de este trabajo.

RESUMEN

Para lograr los objetivos de producción en minería, cumpliendo los estándares de calidad y seguridad, es importante contar con personal capacitado, y equipos de alta calidad y tecnología. A su vez, se requiere tener equipos humanos organizados que trabajen en conjunto para lograr un objetivo común, donde la disciplina operacional se torna fundamental para el cumplimiento de los planes. Es por esto que los mecanismos de gestión han ido tomando relevancia en la industria, pues permiten a las organizaciones identificar cada uno de los procesos involucrados en sus operaciones y cómo estos interactúan para conformar un sistema, y así lograr tener un control de estos garantizando principalmente la seguridad y excelencia operacional.

La organización internacional de estandarización establece distintas normas en las cuales se describen los requisitos que deben cumplir las empresas u organizaciones para garantizar la calidad de sus procesos productos y/o servicios. Algunas de estas normas son certificables, lo que le otorga a las empresas un valor por sobre la competencia. Además, cada empresa tiene su política interna de calidad, y define su carta de valores, desarrollando algunas veces manuales de operación o sistemas operativos que buscan la excelencia y el cumplimiento de los estándares de calidad.

El presente trabajo consiste en una propuesta de sistema de gestión, basado en el análisis del actual proceso de perforación de pozos de tronadura en Compañía Minera Cerro Colorado, determinando sus fortalezas respecto de los estándares de calidad y definiendo oportunidades de mejora, basándose en la norma internacional ISO 9001:2015 sobre sistemas de gestión de la calidad y en el actual sistema operativo de BHP.

La metodología investigativa de este trabajo consistió en visitas a terreno, entrevistas, encuestas y análisis de datos correspondientes al período comprendido entre septiembre del 2019 y febrero del 2020. Los principales desvíos identificados fueron relacionados con la calidad de los equipos de perforación y las prácticas y resultados operacionales, por lo que se elaboró un diagrama completo de procesos de perforación y tronadura donde se identificaron los procesos críticos para la operación, junto con una guía para la implementación de mejoras al proceso unitario de perforación de pozos de producción que tiene como principal enfoque la aspiración a la excelencia operacional, que corresponde al motor del mejoramiento del sistema operativo de BHP.

Finalmente, se establecieron los requisitos que ya cumplía el actual sistema de perforación para determinar aquellos que falta implementar para cumplir con los estándares establecidos en la norma y en el sistema operativo, utilizando todas aquellas herramientas aplicables al proceso de perforación de pozos de tronadura en la compañía en la propuesta del nuevo sistema de gestión.

ABSTRACT

In order to achieve production goals under the established standards of quality and security, having a trained staff and high quality and technology equipment is very important. At the same time, it is necessary to have organized human teams that work together to achieve a common goal, where operational discipline becomes fundamental for the fulfillment of the plans. That's why nowadays management tools have taken relevancy in the industry, because they help organizations to identify all of each process involved on their operations and how they interact to create a system so they can have a control of them guaranteeing mainly the safety and operational excellence.

The international organization for standardization sets different norms in which are described all the requirements that must fulfill the companies or organizations to guarantee the quality of their processes, products and/or services. Some of these norms are certifiable, which gives companies a value over the competition. Besides, each company has its own internal quality policy and defines its charter of values, drafting sometimes operation manuals or operative systems in order to reach the excellence and the achievement of quality standards.

The present project consists of a proposal for a management system, based on the analysis of the current process of blast hole drilling in Compañía Minera Cerro Colorado, deciding its strengths regarding to quality standards and defining improvement opportunities based on the international norm ISO 9001:2015 about quality management systems and on the current operating system of BHP.

The research methodology of this work consisted on field visits, interviews, surveys and data analysis for the period from September 2019 to February 2020. The main identified deflections were related to the drilling equipment quality and operative practices and results, so a complete process diagram of drilling and blasting was elaborated identifying critical process for the operation. Furthermore, a guide for the implementation of process improvements was drawn, having as the main focus the aspiration to the operational excellence, which belongs to one of the BHP operative system values.

Finally, the requirements that the current drilling system already fulfilled were established to determine those that need to be implemented to accomplish the standards established in the norm and in the BHP operating system, using all those tools applicable to the blast hole drilling process in the company in the proposal of the new management system.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Aspectos generales	1
1.2	Motivación del trabajo	2
1.3	Objetivos del trabajo	3
1.3.1	Objetivos generales	3
1.3.2	Objetivos específicos y operacionales	3
1.4	Alcances y limitaciones	4
1.5	Metodología de trabajo	5
1.5.1	Contextualización del sistema actual	5
1.5.2	Observación de prácticas operacionales	5
1.5.3	Recopilación de antecedentes	6
1.5.4	Identificación de falencias y oportunidades de mejora	6
1.5.5	Capacitación sobre interpretación de la norma ISO 9001:2015	6
1.5.6	Comprensión del sistema operativo de BHP	6
1.5.7	Desarrollo de la propuesta del sistema de gestión para el proceso de perforación	7
2	ANTECEDENTES	8
2.1	Estándares internacionales de calidad	8
2.1.1	Familia de normas ISO 9000	8
2.1.2	Norma ISO 9001:2015	8
2.1.3	Definiciones relevantes aplicables al proyecto	9
2.1.4	Principios de gestión de la calidad	10
2.2	Implementación de estándares de calidad en la minería Chilena	11
2.3	Minería metálica en Chile	12
2.3.1	Operaciones unitarias en la explotación a cielo abierto	13
2.3.2	Operación Unitaria de Perforación	14
3	ANTECEDENTES COMPAÑÍA MINERA CERRO COLORADO	17

3.1 Información general de la compañía	17
3.1.1 Localización.....	18
3.1.2 Geología del yacimiento	18
3.1.3 Estándares operacionales de la compañía	22
3.2 Operaciones mina en Cerro Colorado	22
3.2.1 Operación y equipos	22
3.2.2 Procesos involucrados en la operación minera	23
3.2.3 Proceso de perforación de pozos de producción	24
3.2.4 Indicadores de desempeño	27
3.3 Procedimientos estándar BHP	29
3.3.1 Procedimientos de gestión y procedimientos de operación	29
3.3.2 PRO-532 Liberación de polvorazos y generación de cartillas	29
3.3.3 PRG-133 Reglamento de perforación y tronadura	30
3.3.4 PRG-002 Administración de riesgos	30
3.4 Sistema operativo de BHP	31
3.4.1 Descripción general	31
3.4.2 Principios BOS: Servir a nuestros clientes	32
3.4.3 Principios BOS: Capacitar a nuestra gente	33
3.4.4 Principios BOS: Aspirar a la perfección operativa	33
3.4.5 Conceptos claves de BOS	34
4 DESARROLLO DEL PROYECTO	35
4.1 Descripción general del proyecto	35
4.2 Requisitos Norma ISO 9001:2015	35
4.2.1 Objeto y campos de aplicación, referencias normativas, términos y definiciones	35
4.2.2 Contexto de la organización	36
4.2.3 Liderazgo	36
4.2.4 Planificación	37
4.2.5 Apoyo	37

4.2.6 Operación.....	37
4.2.7 Evaluación del desempeño.....	38
4.2.8 Mejora	38
4.3 Requisitos del sistema operativo de BHP	38
4.3.1 Cultura del sistema operativo de BHP	38
4.3.2 Definición de roles y responsabilidades.....	39
4.3.3 Gestión de los riesgos	39
4.3.4 Prácticas BOS aplicables al SG para la perforación	40
4.4 Cumplimiento de requisitos en la gestión del proceso.....	42
4.4.1 Cumplimiento de los requisitos de la norma ISO	42
4.4.2 Cumplimiento de los estándares BOS	45
4.5 Análisis del sistema y prácticas actuales	46
4.5.1 Observación de prácticas operacionales.....	46
4.5.2 Entrevista a supervisores	47
4.5.3 Encuesta a Operadores.....	47
4.5.4 Análisis de datos	48
5 ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
5.1 Identificación de oportunidades de mejora para el sistema actual.....	49
5.1.1 Identificación de desviaciones del proceso según área	49
5.1.2 Resultados de entrevistas	49
5.1.3 Resultados de encuesta.....	50
5.4 Resultados del análisis de datos.....	51
5.2 Aspectos que debe incluir el sistema de gestión para cumplir con ISO.....	53
5.2.1 Contexto de la organización	53
5.2.2 Planificación	54
5.2.3 Apoyo	54
5.2.4 Operación.....	55
5.2.5 Evaluación del desempeño.....	55

5.2.6 Mejora	55
5.2.7 Procesos involucrados y su interacción en el sistema	55
5.3 Aspectos que debe incluir el sistema de gestión para cumplir con BOS	62
5.3.1 Mejoras a implementar para cumplir con los valores BOS	62
5.3.2 Prácticas BOS aplicables al sistema de gestión	64
5.4 Discusión de resultados	64
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
7 REFERENCIAS.....	68
8 ANEXOS	70
8.1 Carta Gantt del proyecto	70
8.2 Ejemplos de implementación de metodología Lean y certificación ISO 9001:2015 en la minería mundial	71
8.3 Parámetros de diseño del rajo y botaderos.	72
8.4 Guía para la implementación de mejoras al proceso de perforación en CMCC	73
8.5 Alcances del sistema de gestión para la operación de perforación	98
8.6 Disposición general del diagrama de procesos	99
8.7 Procesos de la operación de tronadura	100
8.8 Certificado curso ISO 9001:2015	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Parámetros del diseño de tronaduras.....	15
Figura 3-1: Plano rajo y zona de extensión.....	17
Figura 3-2: Localización del proyecto CMCC.....	18
Figura 3-3: Unidades de cobertura y roca del yacimiento cerro colorado	19
Figura 3-4: Diagrama de procesos CMCC.....	23
Figura 3-5: Esquema time usage model	27
Figura 3-6: Esquema de la estructura del sistema operativo de BHP	32
Figura 4-1: Ocho pasos para la resolución práctica de problemas	40
Figura 4-2: Proceso de evaluación de riesgos.....	43
Figura 4-3: Jerarquía de control de riesgos	43
Figura 5-1: Diagrama de causa raíz para malos resultados de tronadura.....	50
Figura 5-2: Resumen cumplimiento de planes.....	51
Figura 5-3: Demoras no programadas más frecuentes.....	52
Figura 5-4: Horas detenidas por tipo de demora	53
Figura 5-5: Simbología del diagrama de procesos.....	56
Figura 5-6: Actividades a cargo del área de planificación	56
Figura 5-7: Actividades a cargo del área de geomensura.....	57
Figura 5-8: Actividades a cargo de jefe/as de turno y supervisor/as P&T	59
Figura 5-9: Actividades a cargo del área de operaciones	60
Figura 5-10: Actividades a cargo del área de operaciones	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Clasificación unidades de roca y cobertura en yacimiento Cerro Colorado.....	20
Tabla 3-2: Mineralización y potencia de mantos en el yacimiento Cerro Colorado	21
Tabla 3-3: Indicadores de desempeño para equipos de perforación	28
Tabla 3-4: Conceptos claves de BOS.....	34
Tabla 5-1: Desviaciones del proceso identificadas	49
Tabla 5-2: Resultados de las preguntas más relevantes de la encuesta	51
Tabla 5-3: Lista de mejoras a implementar	62
Tabla 8-1: Parámetros de diseño de la mina	72
Tabla 8-2: Parámetros de diseño de los botaderos	72



NOMENCLATURA

Unidades de medida

m	Metro
m s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
m/min	Metro por minuto
m/h	Metro por hora
”	Pulgada

Siglas y abreviaturas

ISO	International Organization for Standardization
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
BHP	Broken Hill Proprietary
CODELCO	Corporación Nacional del Cobre
SERNAGEOMIN	Servicio Nacional de Geología y Minería
COCHILCO	Comisión Chilena del cobre
CMCC	Compañía Minera Cerro Colorado
SGC	Sistema de gestión de la calidad
SG	Sistema de gestión
PyT	Perforación y Tronadura
B	Burden
E	Espaciamiento
EPE	Empresa Proveedora de Explosivos
UPT	Unidad de Pozo de Tronadura
KPI	Key Performance Indicator
TUM	Time Usage Model
HSE	Health, Safety and Environment
PHVA	Planificar, Hacer, Verificar y Actuar
PRO	Procedimiento de Operación
PRG	Procedimiento de Gestión
PLS	Pregnant Leaching Solution

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Aspectos generales

La minería es una de las principales actividades que impulsa el desarrollo del país, representando el 9,9% del producto interno bruto el año 2019, correspondiendo el 8,9% a la minería del cobre. Además, el año 2019, la producción chilena de cobre de mina representó el 28% de la producción mundial, generando 5.787,4 miles de toneladas métricas de cobre fino, posicionando al país como el principal productor de cobre a nivel mundial (Cochilco, 2019).

Es por esto que la minería metálica, en particular del cobre, tiene un gran impacto en el ámbito económico, social, cultural y medioambiental de Chile. La implementación de faenas mineras cerca de comunidades en zonas rurales no sólo ha contribuido a disminuir la tasa de desempleo, sino a llevar educación, tecnología, establecimientos de atención sanitaria y mejores condiciones de vida para los habitantes de estas comunidades (Cochilco, 2013).

Al año 2019, en la industria minera chilena se han generado un total de 248.803 empleos, de los cuales el 27% corresponde a empleos directos y el 73% a empleos indirectos, siendo el 8,62% del total de los puestos ocupados por mujeres. Esta cifra va en aumento cada año, lo que visibiliza la empleabilidad que genera la minería y las políticas de inclusión y equidad de género que esta industria representa hoy en día. En los últimos años, el consumo energético y costos de la operación han ido incrementando por causa de cambios en los yacimientos, tales como heterogeneidad en la distribución de las leyes de mineral, aumento de la profundidad de los yacimientos y variabilidad en la dureza de los minerales a medida que se van extendiendo los sectores de explotación (Cochilco, 2019). La disminución de las leyes de corte y la escasez de agua, sobre todo en el Norte de Chile, han provocado un cambio en el enfoque del negocio, siendo este actualmente disminuir los costos y aumentar los beneficios, mediante mecanismos de optimización, automatización y mejoras en la gestión de las operaciones (Medina, 2017).

En un proceso de extracción de minerales metálicos, las operaciones de perforación y tronadura son fundamentales, debido a que son las encargadas de cambiar las condiciones físicas del material a extraer y entregar una granulometría óptima para las siguientes etapas de la cadena, comenzando por el carguío y transporte. Una mala operación de perforación trae consigo malos resultados en la tronadura, y por ende no se obtiene la fragmentación adecuada ni se cumple el diseño establecido en el plan minero. Estos problemas son transmitidos aguas abajo y pueden impactar drásticamente los costos de la operación.

Por otra parte, la disciplina operacional juega un rol fundamental en el cumplimiento de los estándares de calidad, pues son los actores directos de cada proceso los encargados de trabajar

bajo estos estándares, siguiendo los protocolos operativos y de seguridad definidos por la empresa y la normativa vigente. Las deficiencias o desvíos operacionales pueden poner en riesgo tanto a personas como equipos, siendo la seguridad un eje fundamental en la industria.

Por su parte, la gestión de los procesos es una herramienta que permite integrar cada actividad que forma parte de estos, definiendo también sus interacciones con el sistema en el que se encuentran. Existen numerosos métodos para implementar la excelencia operacional en cualquier tipo de actividad u organización, siendo una de las más utilizadas la metodología Lean, cuya implementación permite aumentar la producción manteniendo o disminuyendo los recursos empleados, pues su enfoque es la producción sin desperdicios, entendiendo estos como cualquier elemento o actividad que no le entregue valor al producto final.

A su vez, la organización internacional para la estandarización, ISO¹ por sus siglas en inglés, define estándares internacionales de calidad aplicables a cualquier industria u organización, con el fin de integrar sus actividades en un sistema que cumpla con los requerimientos establecidos. Obtener una certificación ISO otorga un valor agregado a las empresas, y la confiabilidad que requieren para que los clientes soliciten sus servicios. Para las actividades propias de la industria minera, son aplicables principalmente las normas de calidad, seguridad y medio ambiente.

En cuanto a la calidad de los procesos, servicios o productos, ISO desarrolló la norma 9001:2015, sobre sistemas de gestión de la calidad. En este documento se describen todos los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión para estandarizar sus procesos y certificarse de acuerdo a las normas internacionales definidas por esta organización.

El proceso de perforación no entrega un producto comercializable al proceso siguiente, más bien forma parte de una cadena de procesos integrados en un sistema. Es por esto que si bien una certificación en gestión de la calidad entregaría valor y una competencia adicional al proceso, esta no es necesaria para mejorar su rendimiento. Para disminuir los desvíos asociados a los procesos involucrados en la operación de perforación y mejorar la forma en la que estos se gestionan, basta con diseñar e implementar un sistema que defina todas las actividades involucradas en estos, junto con una metodología de gestión de los riesgos asociados y una definición clara de los roles y responsabilidades de cada uno de los participantes.

1.2 Motivación del trabajo

En particular, para el proceso productivo de un mineral, la perforación corresponde a la primera etapa de la cadena minera metalúrgica que debe atravesar una materia prima para convertirse en un producto comercializable. Para lograr los objetivos propuestos en cuanto a

¹International Organization for Standardization.

productividad y eficacia, es de suma importancia contar con los equipos e insumos adecuados, además del personal capacitado para cada tarea específica que forme parte del proceso.

Por otra parte, una adecuada disciplina operacional es fundamental para el correcto funcionamiento y cumplimiento de un plan minero, pues es lo que permite mantener altos estándares de seguridad y productividad. En relación a este concepto, se hallaron algunas deficiencias que serán detalladas más adelante. Junto con esto, la falta de documentación de resultados de tronaduras dificulta el análisis de las alternativas que se utilizan para la extracción de los minerales, en términos de diseño de mallas de perforación, configuraciones de carga de pozos y otros.

Es por esto que surge la idea de desarrollar un sistema de gestión para el proceso de perforación de pozos de producción en Compañía Minera Cerro Colorado (en adelante, CMCC), basándose principalmente en los requisitos expuestos en la norma internacional sobre sistemas de gestión de la calidad ISO 9001:2015 y en los conceptos y herramientas del sistema operativo de BHP², BOS³ por sus siglas en inglés.

1.3 Objetivos del trabajo

1.3.1 Objetivos generales

El presente trabajo consiste en la propuesta de un sistema de gestión que tiene como objetivo principal mejorar las prácticas operacionales y resultados de la perforación de pozos de producción en CMCC, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos generales:

- Determinar qué requisitos de la norma ISO 9001:2015 son aplicables a un sistema de gestión para el proceso de perforación.
- Seleccionar las prácticas y herramientas del sistema operativo de BHP aplicables al proceso.
- Establecer los elementos y actividades que debe considerar un sistema de gestión del proceso de perforación para garantizar su eficacia, relacionándolo con la norma ISO 9001:2015 y el sistema operativo de BHP.

1.3.2 Objetivos específicos y operacionales

Para dar cumplimiento a los objetivos generales planteados, se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Comprender los requisitos establecidos en la norma ISO 9001:2015
- Relacionar y aplicar cada capítulo de la norma en el sistema de gestión.
- Comprender el sistema operativo de BHP.
- Relacionar y aplicar los requisitos de BOS en el sistema de gestión para perforación.

² Broken Hill Proprietary.

³ BHP Operatig System.

- Conocer los principios, campos de aplicación y términos aplicados en los sistemas de gestión de la calidad.
- Analizar la estructura de la organización y los involucrados en cada proceso, identificar y relacionar los procesos y áreas involucradas en la operación.
- Determinar los requisitos que deben cumplirse en el nuevo sistema de gestión para cumplir con los estándares establecidos en la norma ISO 9001:2015 y el sistema operativo de BHP.

Por su parte, los objetivos operacionales son aquellas tareas ejecutables que deben llevarse a cabo para cumplir con cada objetivo específico y por consiguiente con los objetivos generales. Para planificar estas tareas, se elaboró una carta Gantt (ver anexo 8.1), donde se encuentra cada una de ellas según la fecha en la que se ejecutó.

1.4 Alcances y limitaciones

Para mejorar un producto, servicio u operación, debe diseñarse e implementarse un sistema de gestión, además de verificar constantemente su eficacia y realizar las mejoras y ajustes correspondientes para cumplir con los estándares y objetivos establecidos. Este trabajo no incluye la etapa de implementación, sino únicamente las etapas de diagnóstico y diseño. La razón principal de esta determinación es el tiempo dispuesto para el proyecto. La implementación de un sistema de gestión en una organización puede tardar de 12 a 15 meses, y en este caso debido a la contingencia internacional sólo se contó con 3 meses en terreno.

Los resultados analizados serán exclusivamente aquellos relacionados con la perforación de pozos de producción, excluyendo del sistema de gestión las actividades de perforación de sondajes, perforación de precorte y tronadura.

El período analizado para realizar la etapa de diagnóstico fue comprendido entre septiembre del 2019 y febrero del 2020. Esto con el fin de dejar fuera los efectos que ha tenido la pandemia en la operación, así como también los ajustes que deben hacerse al inicio y fin de un año fiscal para cumplir con las metas productivas. Un año fiscal está comprendido entre julio y junio del año siguiente, por lo que el período determinado da cuenta de las condiciones habituales de operación, siendo esta muestra más representativa.

El presente trabajo sólo desarrollará aquellos requisitos de ISO y BOS que sean aplicables a la organización y a los procesos específicos que formen parte del sistema.

El enfoque de esta propuesta de sistema de gestión es aspirar a la disciplina operativa, para así lograr el cumplimiento de los objetivos de la empresa. Los costos de la operación quedarán excluidos del análisis, debido a que se desarrollarán oportunidades de mejora que en su mayoría no requieran inversión de capital, para cumplir con el enfoque BOS de encontrar soluciones de bajo costo.

Las partes interesadas de este sistema de gestión son todos aquellos actores o componentes que se involucran directa o indirectamente con los procesos que forman parte de él. Enfocándose solamente en las personas como interesados, se encuentran dentro de los actores directos los operadores mina, los supervisores de perforación y tronadura, planificadores de perforación y tronadura y todos aquellos que participen en las actividades enfocadas en la planificación, ejecución y verificación del proceso de perforación como los supervisores, jefes de turno y colaboradores del área mina.

Por otra parte, como cliente del proceso de perforación se encuentra el proceso que le sigue aguas abajo, la tronadura. Esta actividad se lleva a cabo en su totalidad por la empresa externa proveedora de explosivos (en adelante, EPE), por lo que los clientes del proceso de perforación son los participantes directos e indirectos del proceso de tronadura. En este caso, se considerarán los asistentes técnicos de la empresa y todos sus colaboradores.

1.5 Metodología de trabajo

Para dar cumplimiento a los objetivos anteriormente mencionados, la metodología empleada siguió la secuencia de actividades detalladas a continuación.

1.5.1 Contextualización del sistema actual

La contextualización del sistema actual consistió en el análisis de los procedimientos relacionados con las operaciones de perforación y tronadura, además de la interiorización con respecto a los aspectos más relevantes del proyecto minero de CMCC. Se estudió además la geología del yacimiento y la cadena de procesos. Por último, se analizó la estructura de la organización, específicamente la superintendencia de planificación de producción, debido a que los involucrados en el proceso de perforación forman parte de esta.

1.5.2 Observación de prácticas operacionales

Para identificar las buenas y malas prácticas operacionales se realizaron visitas a terreno, donde se pudo observar a grandes rasgos la dinámica de los procesos y las actividades que forman parte de estos. Además, se dialogó con algunos operadores de perforadora, y de palas de extracción, siendo estos últimos los que entregaron información acerca de la consecuencia que tiene en el proceso de carguío la mala fragmentación de los materiales.

1.5.3 Recopilación de antecedentes

Los antecedentes recopilados para identificar deficiencias operacionales fueron datos de perforación, datos de detenciones de los equipos de perforación y resúmenes de gerente residente semanales. De estos últimos se obtuvo la información respecto del cumplimiento de los planes de perforación en cuanto a utilización y disponibilidad de los equipos, tasa de perforación y metros perforados. Por otra parte, se realizó una entrevista a representantes de diferentes áreas de la compañía, con el fin de identificar oportunidades de mejora y sugerencias para aumentar la eficacia y eficiencia del proceso de perforación. Si bien el tema de estas entrevistas fue la perforación y tronadura de roca ignimbrita en específico, que suponía ser el tema de este trabajo inicialmente, se recopilaron aquellos resultados que fueran aplicables a todo el proceso de perforación de forma general. Finalmente, se aplicó una encuesta a los operadores de los equipos de perforación para así extender la recopilación de antecedentes a todos los niveles de la compañía. De esta encuesta surgieron también varias oportunidades de mejora aplicables al sistema de gestión.

1.5.4 Identificación de falencias y oportunidades de mejora

En conjunto con el análisis de los antecedentes y las opiniones de supervisores y operadores, se identificaron numerosos puntos débiles de la operación, principalmente enfocados en la calidad de los equipos y en la disciplina operacional. El foco del sistema de gestión fue por consiguiente mejorar esos aspectos que impiden al proceso alcanzar la excelencia operacional.

1.5.5 Capacitación sobre interpretación de la norma ISO 9001:2015

Para poder diseñar un sistema de gestión de la calidad acorde a los estándares de la norma internacional ISO 9001:2015, se realizó un curso online certificable, (ver anexo 8.8) denominado “ISO 9001:2015 interpretación y guía para su implementación”⁴. El foco de esta capacitación fueron los aspectos relevantes para lograr la certificación en esta norma, sin embargo, el enfoque de este trabajo no es este, sino únicamente diseñar un sistema de gestión que incluya algunos de los requisitos expuestos en la norma. Este curso otorga la capacidad de aplicar los conocimientos adquiridos en este proyecto.

1.5.6 Comprensión del sistema operativo de BHP

Con el fin de poder identificar qué herramientas de BOS eran aplicables al sistema de gestión para la perforación es que se analizó exhaustivamente su doctrina⁵ y cada una de las prácticas que ahí se describen. Aquellas herramientas aplicables al sistema de gestión fueron incorporadas para dar cumplimiento a los estándares esperados por la empresa.

⁴ Curso disponible en la plataforma digital Udemy.

⁵ Documento facilitado por la superintendencia de mejoramiento continuo de CMCC.

1.5.7 Desarrollo de la propuesta del sistema de gestión para el proceso de perforación

Finalmente, se procedió a desarrollar la propuesta para el sistema de gestión, definiendo en primer lugar qué requisitos⁶ cumple el actual sistema, para luego establecer cuáles deben incorporarse, incluyendo todos aquellos requisitos de la norma que fueran aplicables al proceso de perforación y todas aquellas actividades que este involucra.

Los requisitos corresponden, en primer lugar, a los estándares establecidos en la norma ISO 9001, que explicita acciones que deben tomar las organizaciones para lograr la certificación en cuanto a la calidad de sus productos y/o servicios. En este caso, no se busca la certificación pero sí cada requisito fue utilizado para obtener algunas prácticas y requerimientos que ayuden a mejorar los resultados del proceso de perforación de pozos de tronadura en la compañía.

Además, en cuanto al sistema operativo de BHP, los requisitos corresponden a las prácticas que en este se definen, que buscan alcanzar los objetivos propuestos por la compañía. En este trabajo se identificaron aquellas prácticas aplicables al proceso en cuestión y cómo éstas podían incorporarse a la operación.

A su vez, se diseñó un diagrama de procesos (ver anexo 8.6) que explica paso por paso los procesos de perforación y tronadura, y cada una de sus etapas y actividades relacionadas, identificando aquellos procesos críticos y las áreas involucradas. Para implementar las oportunidades de mejora identificadas se desarrolló una guía práctica (ver anexo 8.4) revisada por personal del equipo de planificación de producción, donde se detalla cada actividad y una forma de llevarla a cabo. El sistema operativo de BHP fue incluido en esta guía entregando el enfoque o forma de realizar algunas actividades, siguiendo los principios ahí establecidos.

⁶ Requisitos según BOS y la norma ISO 9001:20015 para alcanzar la excelencia operacional.

2 ANTECEDENTES

2.1 Estándares internacionales de calidad

La organización internacional para la estandarización fue fundada el año 1947 por 65 representantes de 25 diferentes países en Ginebra, Suiza. Actualmente, cuenta con la participación de 165 organismos nacionales de estandarización⁷. Es un organismo independiente, no gubernamental cuyo objetivo principal es generar directrices para estandarizar los procesos de diferentes áreas desarrollando normas internacionales que se basan en la innovación y buscan solucionar problemáticas globales.

2.1.1 Familia de normas ISO 9000

Las normas ISO 9000 fueron diseñadas en 1957, con el fin de establecer los elementos que componen un sistema de gestión de la calidad (en adelante, SGC) y cómo este debe incorporarse a una empresa, independiente del rubro en el cual se desempeñe. En la norma ISO 9000:2015 se encuentran los fundamentos y vocabulario empleado en las demás normas de la familia. Por su parte, la norma ISO 9004:2010 define las directrices para gestionar los procesos buscando el éxito sostenido en una organización. Finalmente, la norma ISO 9001:2015 es aquella que establece los requisitos para garantizar la eficacia de un SGC y es la única certificable del conjunto ISO 9000.

2.1.2 Norma ISO 9001:2015

La norma ISO 9001:2015 fue redactada en primera instancia en 1987, y establece los requisitos para que un SGC sea eficaz. El año 1994, el comité técnico encargado realizó la primera revisión menor, que no tuvo mayores cambios en los requisitos, pero se agregaron elementos que facilitan la comprensión del documento. En el año 2000, se llevó a cabo la primera revisión mayor donde se introdujo el concepto de proceso, y se estableció esta norma como la única certificable de la familia ISO 9000. 8 años después se realizó la segunda revisión menor donde se aclaró la aplicación de algunos requisitos. Finalmente, se llevó a cabo la última revisión mayor el año 2015, en la que se estableció que debe hacerse un análisis del contexto de la organización e identificar los riesgos y oportunidades de mejora para poder asegurar la eficacia del SGC (Medic, Karlovic, & Cindric, 2016).

La estructura de esta norma es de alto nivel, es decir, define términos generalizados aplicables a todas las normas ISO junto con la coherencia y organización que estas deben tener. ISO 9001:2015 está compuesta por 10 capítulos sumados a una introducción que corresponde al

⁷ Más información disponible en la página web: <https://www.iso.org/about-us.html>.

capítulo 0. A lo largo de cada capítulo, se establecen sub-numerales que corresponden a los requisitos definidos por la organización para lograr la eficacia del SGC.

Además de los principios de la gestión de la calidad expuestos en el apartado 2.1.4, esta norma emplea el pensamiento basado en el riesgo. Este principio se compone de 5 etapas a las que debe hacerse seguimiento constante. En primer lugar, se debe establecer el contexto interno y externo de la organización, para luego identificar, analizar y evaluar los riesgos asociados al proceso en cuestión. Esta evaluación debe realizarse estableciendo una priorización de los riesgos significativos para la operación. Luego de esto, se deben tratar estos riesgos mediante planes de acción para evitar que estos se manifiesten y afecten el sistema de gestión.

2.1.3 Definiciones relevantes aplicables al proyecto

2.1.3.1 Procesos

Según la norma ISO 9000:2015⁸, un proceso es un “conjunto de actividades mutuamente relacionadas que utilizan las entradas para proporcionar un resultado previsto”. Esto se refiere a que las actividades agregan valor a los elementos de entrada transformándolos en elementos de salida, que pueden ser tanto procesos como algún producto o servicio que deba entregarse a un cliente.

Existen diversos elementos que ayudan a la transformación, como por ejemplo los insumos o materiales, la mano de obra, los equipos, el medio ambiente, los métodos de trabajo, los recursos, entre otros. Sin transformación no hay proceso, por lo que estos elementos y su relación deben tenerse en cuenta al momento de planificar las actividades.

Por otra parte, un diagrama de procesos es una representación gráfica del conjunto de las principales actividades que intervienen en la prestación de un servicio o elaboración de un producto. Este elemento ayuda a la comprensión global de la organización y del sistema de gestión, puesto que incluye las áreas involucradas, actividades y elementos de entrada y salida de estas. Las entradas y salidas pueden ser documentos, información, materiales, o cualquier elemento tangible o no tangible que sufra o haya sufrido una transformación.

2.1.3.2 Sistemas de gestión de la calidad

Según los términos y vocabulario establecidos en la norma ISO 9000, un sistema corresponde a un “conjunto de elementos que interactúan”. A su vez, la gestión corresponde a “actividades coordinadas para coordinar y dirigir una organización”. Por último, la calidad se define como el “grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto producto o servicio cumple con los requisitos”. Sumando estas tres definiciones, un SGC es entonces un “conjunto de elementos interrelacionados o que interactúan coordinadamente para dirigir y controlar una organización con el fin de cumplir con los requisitos de los productos y servicios”.

⁸ Definiciones disponibles en la página web: <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:es>.

Llevando esta definición al campo aplicable al proceso de perforación en minería, el sistema de gestión de la calidad que se desarrollará en este trabajo corresponde a todas aquellas actividades que deben llevarse a cabo para cumplir los objetivos de la empresa respecto a la operación, junto con las directrices correspondientes. Dichos objetivos están relacionados con los estándares y valores establecidos en BOS.

2.1.4 Principios de gestión de la calidad

La ISO establece 7 principios fundamentales de la gestión de la calidad, los que fueron también incorporados indirectamente en el sistema operativo de BHP, que busca principalmente alcanzar la excelencia operacional bajo estándares internacionales.

2.1.4.1 Enfoque al cliente

El enfoque al cliente corresponde a cumplir con los requisitos que este establezca e intentar exceder sus expectativas con respecto al servicio prestado o producto entregado. Este principio puede aplicarse en cualquier producto o servicio, y también en los procesos que forman parte de un sistema entendiendo que en ese caso, el cliente es el proceso que le sigue en la cadena productiva.

2.1.4.2 Liderazgo

Este principio hace referencia al compromiso que deben tomar los líderes con los objetivos de la compañía. Además, ellos son los encargados de motivar y generar condiciones para que todas las personas que conformen sus equipos de trabajo participen activamente de los logros y cumplimiento de los objetivos de calidad de la organización.

2.1.4.3 Compromiso de las personas

Para lograr implementar un SGC en una organización, el compromiso de las personas debe ser en todos sus niveles, partiendo por la alta gerencia que debe entregar la motivación y conocimiento a los demás para lograr que cada uno se sienta identificado con el proyecto, y así empoderarlos para aumentar la capacidad que tiene la organización de crear valor.

2.1.4.4 Enfoque a procesos

Este principio establece que las actividades deben gestionarse como procesos interrelacionados que en conjunto forman un sistema. Esto se refiere a que cada proceso tendrá como entrada las consecuencias del proceso anterior y como salida la entrada del proceso siguiente, entendiendo que si bien hay una relación lineal, debe generarse una sinergia en todas las direcciones para lograr la eficacia del sistema.

2.1.4.5 Mejora

El éxito de una compañía radica en enfocar sus actividades a la mejora continua, que obedece al principio del ciclo PHVA⁹. Para un determinado proceso, la planificación corresponde al establecimiento de los objetivos y actividades necesarias para cumplir con las metas o requisitos propuestos. Luego de esto, la etapa de hacer corresponde a la ejecución de lo que se planificó. A continuación, la etapa de verificación corresponde al aseguramiento del desempeño del proceso, que puede realizarse gracias a herramientas de medición y seguimiento. Finalmente, el actuar corresponde a la incorporación de mejoras cuando en la etapa de verificación se identifique deficiencias.

2.1.4.6 Toma de decisiones basada en la evidencia

Este principio corresponde a mantener la documentación necesaria para poder analizar datos y resultados y en base a esto tomar las decisiones correspondientes. Además, los conocimientos adquiridos por la experiencia de algunos trabajadores deben entregarse a los más nuevos, y así generar en conjunto un mayor valor a los procesos.

2.1.4.7 Gestión de las relaciones

Finalmente, la gestión de las relaciones corresponde a mantener una comunicación efectiva entre las partes interesadas. Estas son tanto el personal de la organización como los involucrados ajenos a esta, que pueden ser proveedores, clientes u otras organizaciones del mercado, entre otros.

2.2 Implementación de estándares de calidad en la minería Chilena

En Chile y el mundo se intentan alcanzar altos estándares de calidad, seguridad y gestión, tanto en la industria minera como en cualquier otro rubro. La certificación en normas ISO o la implementación de filosofías de gestión como Lean¹⁰ son frecuentes y cada vez más requeridas para mejorar la apreciación y satisfacción de los clientes y el prestigio de las empresas en general (ver anexo 8.2).

La implementación de la metodología Lean a los procesos de perforación y tronadura en el rajo sur de la División El Teniente de CODELCO¹¹ permitió aumentar la utilización efectiva de los equipos de perforación, lo que condujo a un incremento de las tasas de producción. Junto con esto, en las operaciones de tronadura se logró un ahorro de los costos unitarios, lo que generó aún mayor beneficio para la compañía (Cisternas, 2016).

También en CODELCO, el año 2016 luego de la certificación de calidad ISO 9001, la división Gabriela Mistral logró registrar sus cátodos en la bolsa de comercio de futuros metales como “good

⁹ Planificar, Hacer, Verificar y Actuar.

¹⁰ Lean management: metodología orientada hacia la mejora continua.

¹¹ Corporación Nacional del Cobre.

delivery”¹² en cuanto a la calidad. Esto fue permitido gracias a la estandarización de sus procesos y le otorgó valor a la compañía y al producto entregado, y un reconocimiento por sobre la competencia del mercado internacional (Revista Minería Chilena, 2016).

Por otra parte, la empresa QUANT dedicada a prestar servicios de mantenimiento en la industria minera implementó un sistema integrado de gestión certificándose en la norma ISO 45001 sobre salud y seguridad en el trabajo, validando también su certificación ISO 9001 de gestión de la calidad, ISO 14001 de gestión medio ambiental e ISO 55001 sobre la gestión de activos. Con este sistema integrado la empresa ha logrado posicionarse en la industria, siendo la primera en Chile en obtener la certificación 45001. De esta forma, implementaron una cultura de excelencia operacional reduciendo significativamente los accidentes y enfermedades asociadas al trabajo de sus empleados (Reporte Minero, 2019).

Como ejemplo de otro tipo de minería metálica, la empresa minera Meridian El Peñón opera bajo altos estándares de calidad, aplicando desde el año 2015 la metodología Lean. Además, cuenta con certificación ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS¹³ 18000. Gracias a este enfoque es que actualmente se posicionan dentro de las empresas con más altos estándares de seguridad y calidad, adjudicándose el premio del comité regional de seguridad minera el año 2019 (Revista Minería Chilena, 2019).

En febrero del 2020, delegados de Minera Escondida, Minera Spence y División Chuquicamata visitaron la División Radomiro Tomic de CODELCO para observar cómo se estaba llevando a cabo su sistema de gestión basado en la metodología Lean. Esta práctica se denomina ‘ir y ver’, y consiste en visualizar en terreno los mecanismos de adopción de estas nuevas culturas en otras empresas y aplicarlas, compartiendo experiencias y resultados, en pos del progreso de la industria (Reporte Minero, 2020).

2.3 Minería metálica en Chile

La minería metálica a gran escala se centra principalmente en la zona norte del país, donde se encuentran importantes faenas que extraen cobre mediante métodos subterráneos o a cielo abierto. Es este último método el más utilizado en Chile, representando aproximadamente el 88% de las operaciones. A pesar de que los yacimientos se están profundizando y los minerales superficiales se han ido agotando, y con esto podría esperarse que el porcentaje de operaciones subterráneas aumentara con respecto a las superficiales, según un estudio de COCHILCO¹⁴, esta razón se mantendría relativamente estable en la próxima década (González, 2018).

¹² Definición de una marca como buen producto.

¹³ Occupational Health and Safety Assessment Series.

¹⁴ Comisión Chilena del Cobre.

Los métodos de explotación subterránea se emplean cuando los costos de la extracción del material estéril que se encuentra sobre el mineral de interés superan los beneficios de la explotación del mineral de mena. Esto ocurre cuando los cuerpos mineralizados, generalmente sulfuros de cobre, se encuentran a mayores profundidades, y para hacer viable el proyecto, debe optarse por mecanismos que no requieran la extracción de todo el material de cobertura. En Chile, la operación subterránea más importante es división el teniente de la empresa estatal CODELCO, que produjo un total de 459,7 miles de toneladas métricas de cobre fino el 2019 (Cochilco, 2019).

Cuando el cuerpo mineralizado de interés se encuentra próximo a la superficie (generalmente minerales oxidados de cobre), y el beneficio obtenido luego de su comercialización supera los costos asociados a la operación y a la remoción del material estéril que se encuentra sobre el yacimiento, el método seleccionado es el rajo a cielo abierto. Este método consiste en la construcción de una especie de anfiteatro que se divide en diferentes fases o sectores según la mineralización de la zona.

El rajo se compone de diferentes bancos, distribuidos por niveles, y van siendo extraídos a medida que se avanza en la operación. Para la extracción de los minerales mediante cielo abierto, la roca caja debe ser perforada y tronada, para luego cargar y transportar el material fragmentado hacia la planta de tratamiento, donde se concentrará el mineral de interés para luego ser procesado y permitir la obtención del producto comercializable.

En Chile, el mayor porcentaje de las faenas mineras de cobre utilizan este método de explotación, siendo Minera Escondida la que presentó la mayor producción el año 2019, procesando un total de 1.187,8 miles de toneladas métricas (Cochilco, 2019).

Al igual que Minera Escondida y Minera Spence, Cerro Colorado pertenece al grupo minero BHP, y procesa en su mayoría minerales oxidados de cobre que son tratados mediante lixiviación en pilas para la posterior obtención de cátodos mediante extracción por solventes y electro-obtención.

2.3.1 Operaciones unitarias en la explotación a cielo abierto

En una operación a gran escala mediante el método de cielo abierto, específicamente para la explotación de minerales metálicos como el cobre, existe una serie de macro-procesos que deben llevarse a cabo en un orden secuencial, lo que permitirá la obtención de un producto comercializable. En primer lugar y a grandes rasgos, se encuentra la perforación y tronadura, que permiten fragmentar el macizo rocoso hasta un tamaño apto para su manipulación. Una vez obtenida la granulometría adecuada, el material es cargado, generalmente mediante palas eléctricas, y depositado en camiones de extracción. Los camiones son operados para conducir el material fuera del rajo, llegando así al último proceso de la cadena minera, que consiste en el chancado primario. Esta etapa tiene como objetivo volver a fragmentar la roca hasta un tamaño óptimo para pasar al

siguiente proceso, que pueden ser etapas de chancado secundario o directamente a la planta de procesamiento metalúrgico.

Para los minerales procesados mediante hidrometalurgia, el proceso que viene luego del chancado es el apilamiento, para su posterior lixiviación, y para aquellos procesados por piro-metalurgia la molienda, que otorgará la fragmentación necesaria para el proceso de flotación.

Si bien la cadena productiva de los minerales incorporan etapas geológicas, mineras y metalúrgicas, el enfoque de este proyecto es únicamente el proceso mina de perforación de pozos de tronadura.

2.3.2 Operación Unitaria de Perforación

La perforación consiste básicamente en generar y habilitar pozos para poder cargar explosivos, con un diseño nominal definido por un patrón burden x espaciamiento (en adelante, BxE), donde el burden corresponde a la distancia entre dos filas consecutivas del patrón y el espaciamiento corresponde a la distancia entre dos pozos consecutivos de una misma fila. Además del patrón BxE, debe estar definida la longitud a perforar, profundidad diseñada para lograr tronar el material hasta el banco que se quiere alcanzar por diseño, y que corresponde a la altura del banco esperado sumado a la pasadura, que es una holgura en la profundidad de diseño que tiene como objetivo la obtención de buenos resultados en la tronadura, asegurando la fragmentación en la zona del fondo del pozo para lograr la tronadura de diseño. En la siguiente figura se muestra en un esquema una malla de perforación, con los parámetros básicos de diseño de una tronadura a cielo abierto.

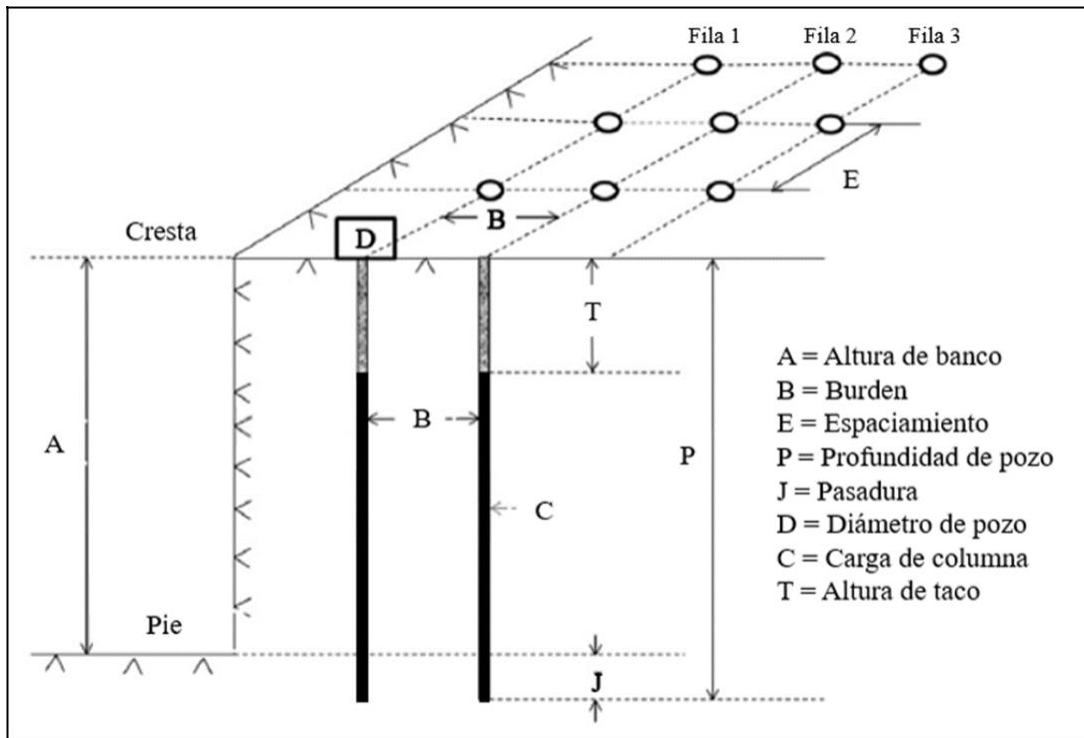


Figura 2-1: Parámetros del diseño de tronaduras

(Fuente: modificado de Singh et al. (2016))

Los resultados de tronadura, proceso inmediatamente consecutivo a la perforación, dependen tanto de las técnicas de tronadura, el tipo y configuración de carga de los explosivos, como de los parámetros de perforación, en términos de fragmentación y control de daño del macizo rocoso. Por lo tanto, es fundamental el cumplimiento del diseño de perforación, pues de lo contrario, debe recurrirse a técnicas de fragmentación secundaria.

Dentro de estas técnicas, se encuentra la tronadura secundaria, que consiste en perforar y tronar con un diámetro menor al diámetro de producción los sobre-tamaños o bolones, y el cachorreo o boloneo¹⁵, que consiste en reducir de tamaño los bolones mediante un pica-rocas hasta una granulometría óptima para ser cargado.

En general, los mecanismos de perforación, se clasifican en vibratorios, hidráulicos, calóricos y mecánicos. Para la excavación de rocas mediante perforación y tronadura, se utilizan métodos mecánicos, que se subdividen en perforación rotativa y perforación roto-percutiva.

El método más utilizado en minería metálica a cielo abierto es la perforación rotativa con triconos, que consiste en una fuente de energía acoplada a una batería de barras, que transmiten a la boca de perforación¹⁶ el peso, rotación y aire de barrido. Este sistema además puede aportar agua, que ayuda a compactar los bodes del pozo que está siendo perforado, lo que se utiliza

¹⁵ Términos mineros que refieren a fragmentar rocas sobre el tamaño planificado.

¹⁶ Término minero que refiere a la herramienta de perforación.

generalmente al comienzo de la perforación para estabilizar el cuello del pozo, o cuando el material que está siendo perforado está poco consolidado, y puede generar derrumbes hacia el fondo. El diseño del tricono incorpora dientes de acero o insertos de carburo de tungsteno, que son las herramientas triturantes que provocan la fragmentación de la roca. A su vez, además de la rotación del tricono en el eje de las barras, sus tres partes rotan independientemente, para lograr a una mejor fragmentación, y así expulsar fuera del pozo los detritos¹⁷ de perforación mediante el aire de barrido.

El rendimiento o tasa de avance de la perforación se mide en metros perforados por minuto [m/min] y depende de numerosos factores, dentro de los cuales se encuentran la potencia de la máquina, la geometría de la boca de perforación, el mecanismo utilizado y las propiedades de la roca, tales como dureza, mineralogía y consolidación de sus partículas. Para lograr una buena perforación de pozos, es fundamental tener una caracterización de la roca, debido a que con esto se pueden planificar los parámetros operacionales a aplicar, como la velocidad de rotación y la fuerza de empuje o pull down¹⁸ (C. Lopez Jimeno; E.Lopez Jimeno y F. Ayala Carcedo, 1995).



¹⁷ Pequeños fragmentos de roca producidos al perforar un pozo.

¹⁸ Fuerza de empuje.

3 ANTECEDENTES COMPAÑÍA MINERA CERRO COLORADO

3.1 Información general de la compañía

Compañía Minera Cerro Colorado pertenece a la empresa anglo-australiana BHP Billiton, específicamente a la división Pampa Norte, compuesta también por Minera Spence. La faena comenzó sus operaciones el año 1994, y actualmente cuenta con la resolución de calificación ambiental que le permite extender sus operaciones hasta el año 2023, con el proyecto denominado ‘Continuidad Operacional Cerro Colorado’.

Este proyecto representa una inversión estimada de 467,2 millones de dólares y pretende además de otras mejoras, extender y profundizar el rajo manteniendo el ritmo de movimiento de material diario de alrededor de 217.000 toneladas entre lastre y mineral. El diseño actual del rajo consta de bancos de 15 y 20 metros de altura, y ángulos globales de talud de 38° para rocas poco competentes hasta 44° para las rocas de mejor calidad (ver anexo 8.3). La tasa de extracción de aguas también se pretende mantener en 150 litros por segundo (Illanes, 2013). En la figura 3.1 se observa la localización del rajo y la zona que se busca extender con el proyecto.

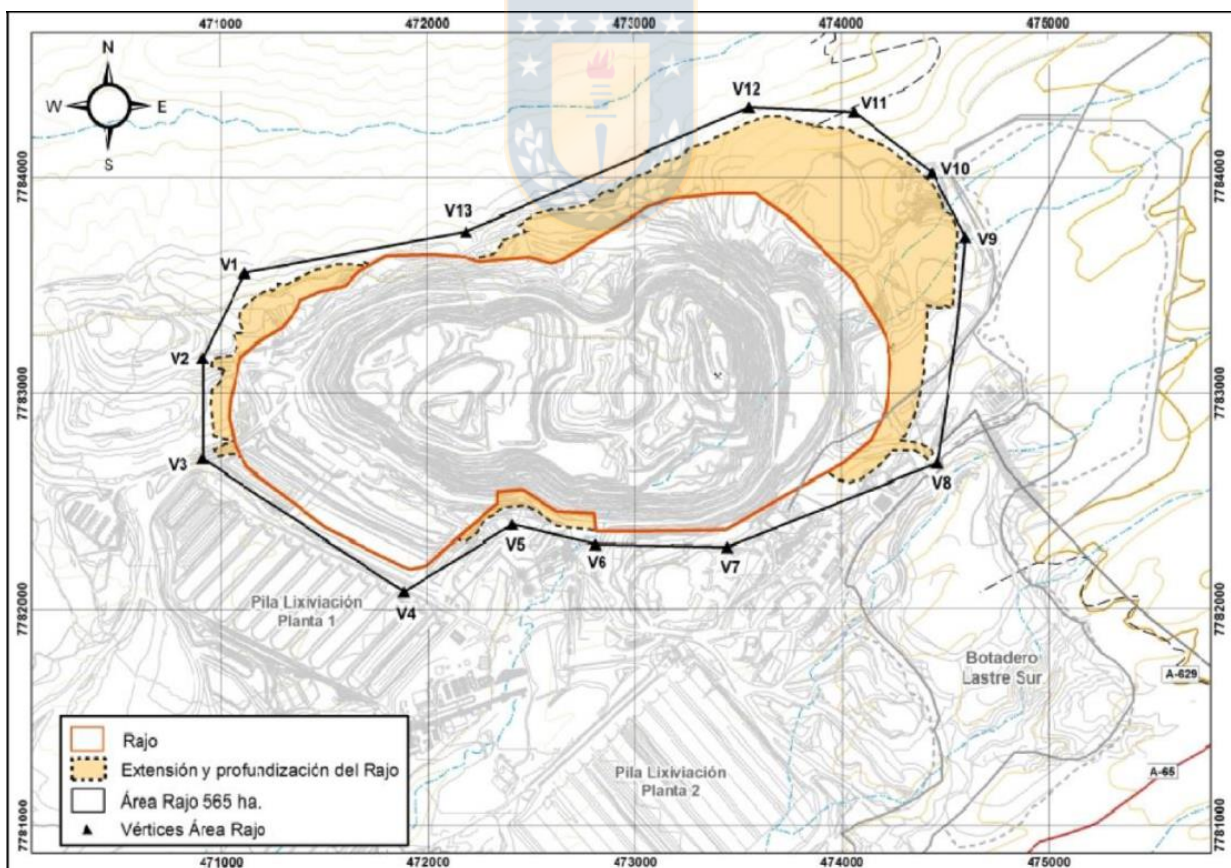


Figura 3-1: Plano rajo y zona de extensión

(Fuente: resumen ejecutivo EIA¹⁹ Proyecto “Continuidad Operacional Cerro Colorado”)

¹⁹ Disponible en https://seia.sea.gob.cl/archivos/Resumen_Ejecutivo_EIA.pdf.

3.1.1 Localización

El yacimiento Cerro Colorado se ubica en la región de Tarapacá, específicamente en la comuna de Pozo Almonte, al Noreste de Iquique, a 2.600 m s.n.m²⁰. En la figura 3.2 se muestra la localización del proyecto y del campo de pozos del Sector Lagunillas, desde donde se extrae el agua para la operación.

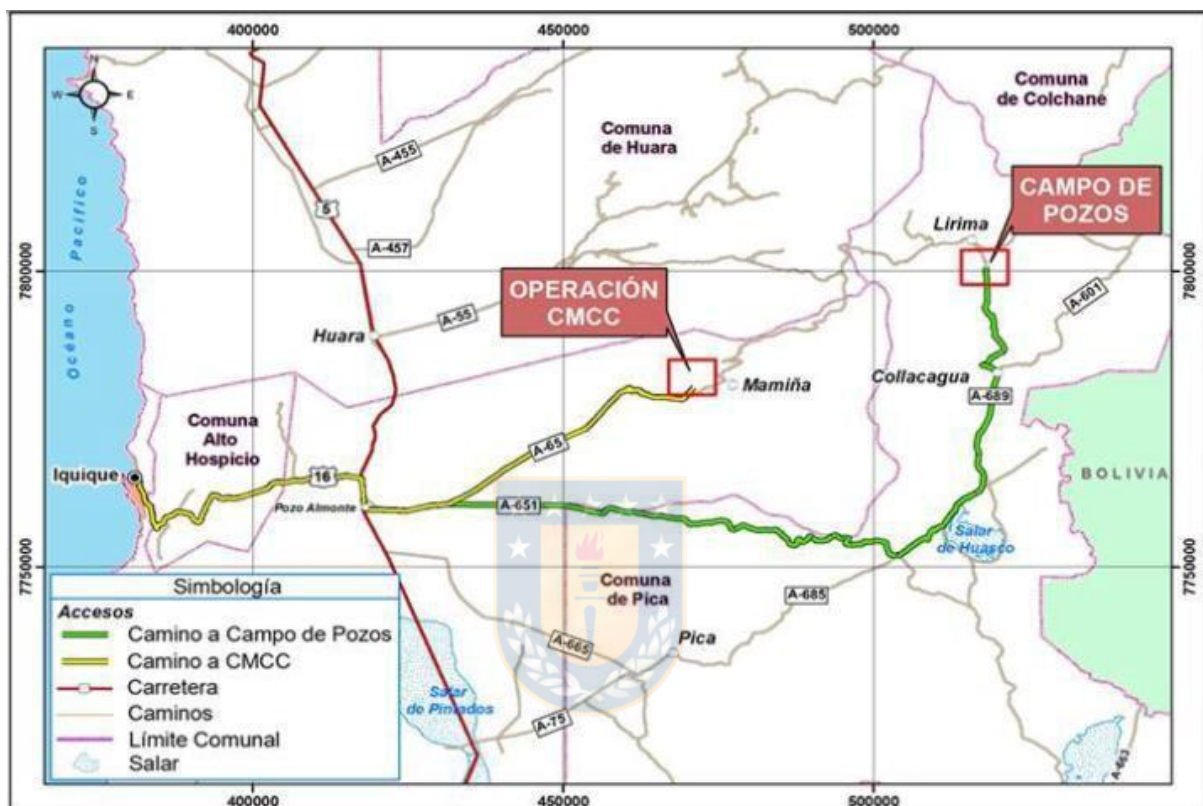


Figura 3-2: Localización del proyecto CMCC

(Fuente: resumen ejecutivo EIA Proyecto “Continuidad Operacional Cerro Colorado”)

3.1.2 Geología del yacimiento

Las unidades litológicas del yacimiento Cerro Colorado se dividen en unidades de cobertura y unidades de roca, que pueden presentar alteraciones argílica, potásica, fílica y/o fílica verde²¹. En la figura 3-3 se muestra la distribución vertical de las unidades de cobertura y de roca en una representación esquemática, y en la tabla 3-1, la clasificación de los tipos de roca presentes en el yacimiento.

²⁰ Metros sobre el nivel del mar.

²¹ Información otorgada por el área de geología de producción de la compañía.

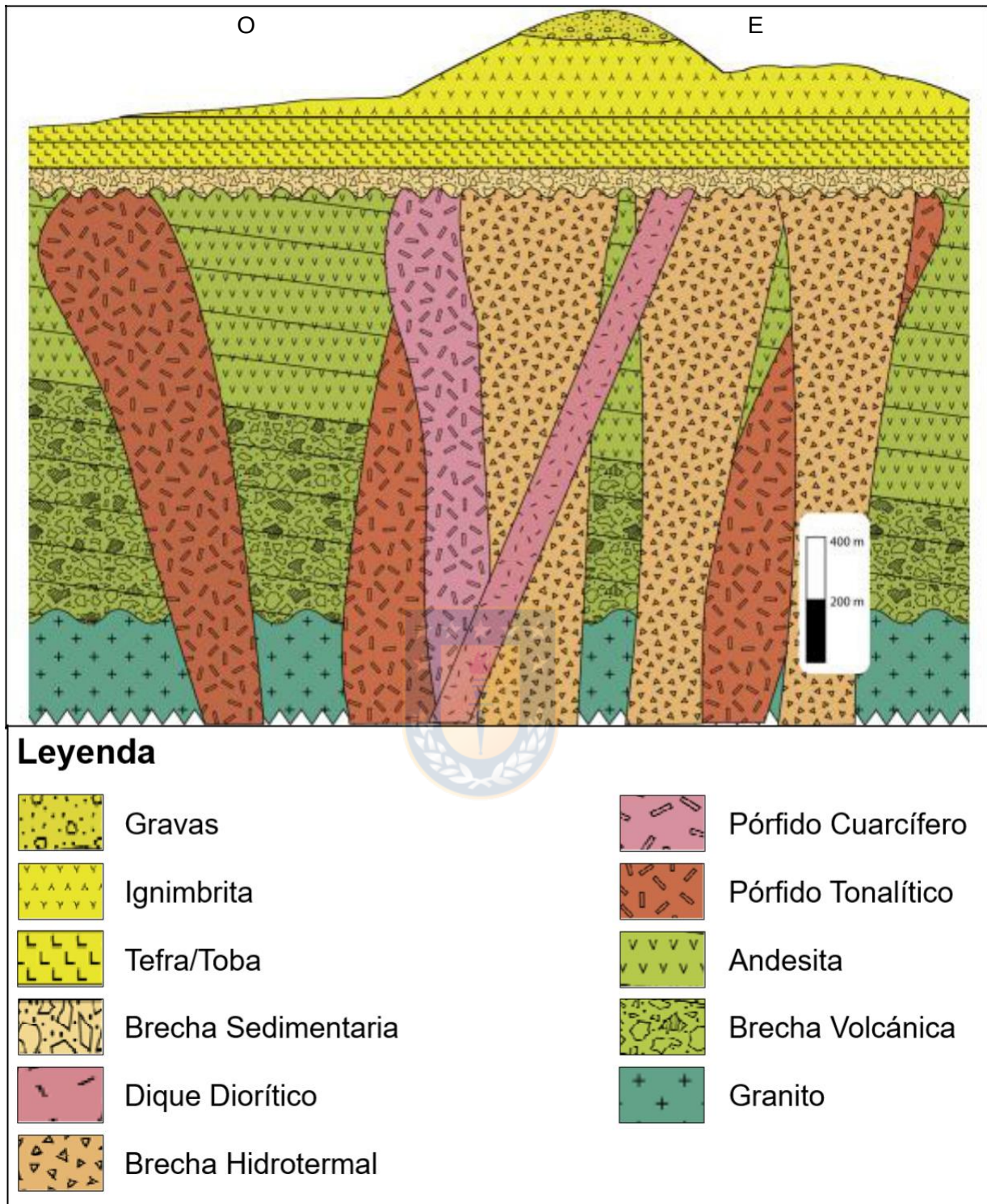


Figura 3-3: Unidades de cobertura y roca del yacimiento cerro colorado
 (Fuente: modificado de PRO 523²², geología de producción, CMCC)

²² Procedimiento de operaciones 'Mapeo geológico de polvorazos'.

Tabla 3-1: Clasificación unidades de roca y cobertura en yacimiento Cerro Colorado

Unidades de Cobertura	Unidades de Roca
Relleno artificial	Dique diorítico
Gravas	Brecha hidrotermal • Brecha hidrotermal temprana • Brecha hidrotermal tardía
Unidad piroclástica • Ignimbrita superior • Ignimbrita inferior • Vitrófiro • Toba/Tefra • Ceniza Volcánica	Intrusivos porfídicos • Pórfido tonalítico temprano • Pórfido tonalítico tardío • Pórfido cuarcífero
Unidad no consolidada sagasca • Arena • Grava arenosa • Ferricreta • Ferricreta con matriz arenosa	Rocas volcánicas • Brecha volcánica • Andesita
	Intrusivos faneríticos • Granito

Los tipos de ignimbrita que generan desvíos operacionales en los procesos de perforación y tronadura son la Ignimbrita Superior, Vitrófiro e Ignimbrita Inferior, debido a su bajo índice de fragmentación. Estos tipos de ignimbrita son rocas masivas casi sin fracturas pre-existentes, lo que dificulta su reducción de tamaño debido a que los gases del agente explosivo deben expandirse en estas fracturas para lograr fragmentar las rocas, y al no presentarse naturalmente, este se escapa por otras estructuras arrojando sobre-tamaños como resultado luego de la tronadura. Además de no presentar fracturas, la ignimbrita tiene una dureza mayor a todos los materiales que existen en el yacimiento, por lo que la velocidad de perforación disminuye y por consiguiente el costo de la operación aumenta, debido a que el equipo está operativo por más tiempo.

La extracción de las unidades de cobertura tiene como objetivo lograr exponer la mineralización de interés, por lo que tanto zonas de mineral como de lastre deben ser fragmentadas para su posterior manipulación.

Luego de la caracterización de la litología y alteración de cada zona, se define la unidad geológica mineralógica. Actualmente, hay 7 unidades que son extraídas, tratadas o almacenadas, las cuales se describen a continuación:

-Lastre: zonas con ley de cobre total menor a 0.3%, cuyo destino es botadero.

-OXSI: zonas oxidadas de cobre con ley mayor o igual a 0.3% y razón de solubilidad mayor o igual a 0.5, de calidad buena cuyo destino en general es chancado o stock de óxidos.

-OXSA: zonas de óxidos de cobre con ley mayor o igual a 0.3% y razón de solubilidad mayor o igual a 0.5, de calidad regular o mala cuyo destino al igual que OXSI es chancado o stock de óxidos.

-SNSI: zonas de sulfuros con ley de cobre total mayor o igual a 0.3%, y razón de solubilidad menor o igual a 0.5, de calidad buena cuyo destino es chancado o stock de sulfuros.

-SNSA: zonas de sulfuros con ley de cobre mayor o igual a 0.3%, RS menor o igual a 0.5 y calidad regular a mala, cuyo destino es generalmente stock de baja ley.

-MSH: corresponde a sulfuros transicionales entre supérgeno e hipógeno, con ley de cobre mayor o igual a 0.3%, cuyo destino es stock hipógeno o alimentación a chancado con adición de cloruro de sodio, según sus concentraciones de calcosina. Este grupo se subdivide en MSHA MSHM y MSBH, cuyas siglas significan mixto sulfuro hipógeno alto, medio y bajo, respectivamente.

-HYP: zonas de sulfuros primarios con ley de cobre mayor o igual a 0.3% cuyo destino es stock de hipógeno.

La mineralización de yacimiento Cerro Colorado es la clásica zonación determinada en los pórfidos cupríferos del norte de Chile. Los mantos de mineral son semi-horizontales, y presentan diferentes potencias o espesores. En la tabla 3-2 se muestra la mineralización del yacimiento junto con la potencia de cada manto.

Tabla 3-2: Mineralización y potencia de mantos en el yacimiento Cerro Colorado

Tipo de mineralización	Potencia [m]
Lastre	25-75
Óxidos de Hierro	30-50
Óxidos de Cobre (OXSI-OXSA)	25-125
Sulfuros secundarios de Cobre (SNSI-SNSA)	10-100
Sulfuros transicionales de Cobre (MSH)	10-30
Sulfuros primarios de Cobre (HYP)	>200

3.1.3 Estándares operacionales de la compañía

Actualmente, la compañía cuenta con la certificación ISO 14001, sobre gestión ambiental y la certificación en sistemas de gestión de la calidad ISO 9001 para los procesos involucrados desde la extracción por solventes hasta el almacenamiento de los cátodos en el puerto de Iquique.

Además, se está implementando el sistema operativo de BHP, bajo la responsabilidad de la superintendencia de mejoramiento continuo, el cual pretende desarrollar en todos los niveles de la organización una cultura basada en la excelencia operacional y la mejora continua de los procesos.

En cuanto a la gestión de los riesgos materiales, BHP establece mecanismos de evaluación, control y monitoreo de estos, basados en la jerarquía de controles del Artículo 6 del Convenio 176 de la organización internacional del trabajo, sobre seguridad y salud en las minas. El sistema de administración de riesgos para Cerro Colorado está descrito en el PRG-002²³.

3.2 Operaciones mina en Cerro Colorado

3.2.1 Operación y equipos

El recinto de CMCC consiste en un yacimiento explotado a cielo abierto, que actualmente tiene 4 fases activas, 2 botaderos de estéril, 2 botaderos de ripios y 6 reservas. Las fases activas son la 122, 123, 125 y 150 de las cuales las primeras 3 se encuentran al este y la 150 al oeste, con una reserva de material hipógeno depositado en medio del rajo.

La operación cuenta con una flota de 41 camiones de extracción, 4 palas eléctricas, 6 perforadoras de producción, 1 de precorte y 8 cargadores frontales destinados generalmente a descargar pilas de lixiviación. Además, los equipos de apoyo destinados a mejorar las condiciones de caminos y patios de extracción para optimizar y facilitar la operación son 11 bulldozers, 4 wheelozers, 3 camiones aguateros, 4 motoniveladoras, 2 excavadoras, 1 retroexcavadora, 1 enrrolla cables y 1 manipulador de neumáticos.

Esta faena comercializa cátodos de cobre, que se obtienen mediante procesos de lixiviación en pilas, extracción por solventes y finalmente electro-obtención. La figura 3.4 muestra un diagrama simplificado del proceso de extracción de la compañía y el destino final del material según su mineralogía.

²³Procedimiento de gestión 'Administración de riesgos', Superintendencia HSE.

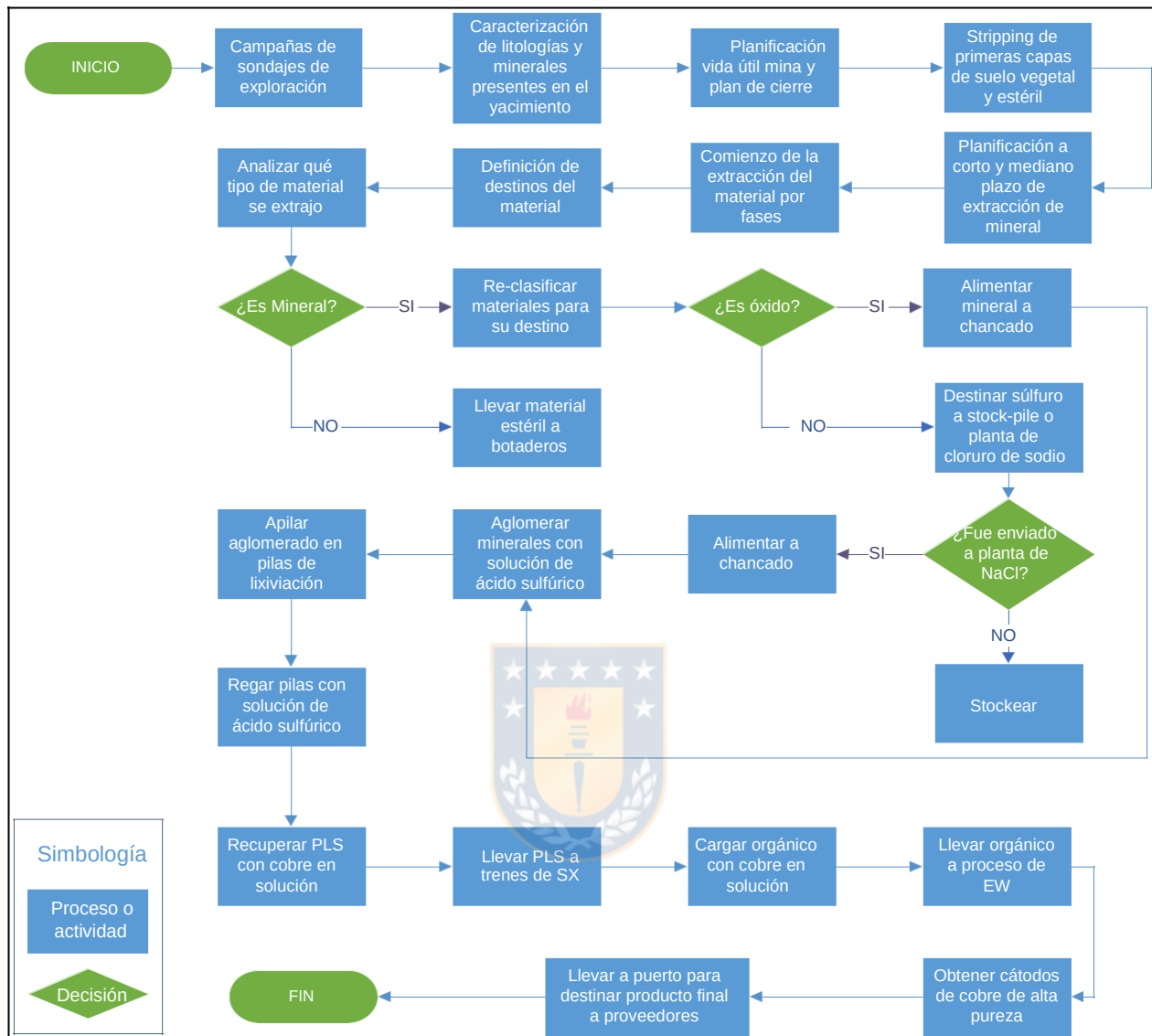


Figura 3-4: Diagrama de procesos CMCC

(Fuente: elaboración propia)

3.2.2 Procesos involucrados en la operación minera

Las operaciones a cielo abierto en la minería del cobre cumplen con la misma cadena productiva. En primer lugar, el modelo de bloques define la localización del cuerpo mineralizado y la distribución de las leyes, con las cuales se definirán las fases en las que el yacimiento será extraído. La primera etapa consiste en la planificación de largo, mediano y corto plazo de la extracción del mineral. Los planes de corto plazo son generalmente diarios y determinan exactamente la cantidad de material que será movilizado, haciendo ajustes que se adhieran a los planes semanales y mensuales para cumplir con los principales planos de largo plazo, que generalmente se construyen para 2 o 5 años.

Luego de la planificación, se procede a la operación, donde en primer lugar el mineral es perforado y tronado para obtener una granulometría óptima para ser transportado a las plantas de procesamiento. Una vez fragmentado el mineral, es cargado por palas eléctricas sobre camiones de extracción. Estos viajan hacia la zona de chancado de material, donde el tamaño es reducido aún más hacia el óptimo para entrar al proceso de aglomerado.

El material chancado se aglomera en tambores para luego ser transportado mediante un sistema de correas hacia el sector de apilamiento. Aquí, con la ayuda de un equipo llamado stacker²⁴ junto con una seguida de correas móviles que se van configurando, se va depositando el material fragmentado de forma que se cumpla el diseño planificado de las pilas.

Una vez armadas las pilas, estas se proceden a regar con una solución de ácido sulfúrico que al cabo de unos días será recuperada cargada con un alto contenido de cobre y se denominará PLS²⁵. Esta solución será tratada mediante los procesos de extracción por solventes y electro-obtención hasta lograr el cátodo de cobre que será comercializado.

3.2.3 Proceso de perforación de pozos de producción

Específicamente, el proceso de perforación de pozos de producción en CMCC se lleva a cabo por personal de la empresa mandante, a diferencia del proceso de tronadura que está a cargo de una empresa colaboradora.

Debido a que no existe un área destinada exclusivamente a los procesos de perforación y tronadura, el diseño y ejecución de la perforación de los pozos está bajo la supervisión de la superintendencia de planificación de producción. Además del encargado de diseñar las mallas de perforación y de realizar el seguimiento y cumplimiento de los planes, en terreno se encuentran los equipos de trabajo de perforación, liderados cada uno por un supervisor. Estos grupos son denominados E/F y G/H, y se van turnando cada 7 días cumpliendo los turnos de día y de noche.

El proceso de perforación tiene una etapa de planificación, que consiste en el diseño de las mallas, y luego se procede a la ejecución y a la revisión de la calidad del trabajo. A continuación se detallan las actividades involucradas en el proceso y cómo estas se llevan a cabo en CMCC.

3.2.3.1 Diseño de mallas de perforación

Para diseñar las mallas de perforación en CMCC, el planificador de perforación y tronadura (en adelante, PyT) debe cargar en vulcan²⁶ un modelo litológico facilitado por el área de geología, en conjunto con la zona que el área de planificación decide que debe ser extraída para continuar la producción. En el modelo aparecen las unidades de pozo de tronadura (en adelante, UPT), que

²⁴ Apiladora de material.

²⁵ Pregnant Leaching Solution por sus siglas en inglés.

²⁶ Aplicación informática de diseño minero en 3 dimensiones.

tienen características definidas a las cuales se les asigna una unidad geotécnica definida por su litología, mineralización y alteración.

Cada UPT tiene su configuración BxE de malla, y de carga de explosivo, dependiendo de sus propiedades y de la altura del banco de diseño, valor que ha ido variando con el tiempo. Inicialmente, los bancos se diseñaban de 10 metros de alto, pero actualmente son de 15 o 20 metros en caso de rocas más competentes (ver anexo 8.3), con pasaduras de pozo de 1.5 a 2 metros respectivamente. Generalmente, la profundidad de la pasadura es de 1.5 a 2 metros como máximo, dependiendo del tipo de roca y las condiciones del terreno. Por su parte, los diseños de malla en CMCC consideran 2 filas de pozos amortiguadas, que tienen como función proteger la estructura de la roca caja y las filas de pozos de producción que se estimen necesarias para cumplir con el volumen esperado de material fragmentado. Cada tipo de filas tiene su configuración de diseño y en conjunto se aplican para lograr fragmentar el material.

El explosivo utilizado es ANFO²⁷ pesado vaciable en distintos porcentajes de nitrato de amonio, y para el taco se utiliza una gravilla fabricada por la EPE.

3.2.3.2 Equipos de perforación

Para perforar los pozos de producción se utilizan equipos Pit Viper 271²⁸, que utilizan una herramienta triturante denominada tricono, que junto con un mecanismo rotativo van generando la ruptura de la roca y por consiguiente el avance vertical en la perforación del pozo creando diámetros de entre 9" 7/8 y 10" 5/8. En general, estos equipos presentan un sistema de toma de datos que recopila la información con respecto a los parámetros de perforación y las profundidades alcanzadas. Sin embargo, los equipos de Cerro Colorado demostraron tener numerosas deficiencias en la toma de datos, que se vieron reflejadas en el análisis realizado, por lo que muchas veces los datos deben ser ingresados manualmente, lo que puede generar errores de digitación.

Por otra parte, los equipos Pit Viper 271 cuentan con un sistema de navegación que permite cargar los diseños de las mallas de perforación para localizar su ubicación exacta mediante un sistema de posicionamiento global, para poder ubicar los equipos en los puntos exactos donde se desea perforar el pozo. En la compañía, estos mecanismos fueron siendo extraídos a lo largo del tiempo para utilizarlos en otros equipos como camiones de extracción o palas eléctricas. Es por esto que actualmente ninguno de los equipos de perforación cuenta con un adecuado sistema de alta precisión, lo que dificulta el posicionamiento de los equipos para el cumplimiento de los diseños de malla planificados.

²⁷ Amonium Nitrate Fuel Oil.

²⁸ Más información en <https://www.yumpu.com/es/document/read/14763124/pit-viper-271-atlas-copco>.

3.2.3.3 Operación de perforación

En el plan semanal de extracción se determina qué fases de la mina serán explotadas, y con ello se definen los polígonos de perforación, que corresponden a sectores determinados donde deben ser diseñadas las mallas de pozos de tronadura. Un polígono se sitúa en una fase y un banco determinado, y puede tener varias configuraciones de malla distintas, que se determinan según la mineralogía que allí se encuentre. El plan semanal de perforación y tronadura define qué día deberá perforarse cada malla, junto con el día en el que se llevará a cabo la tronadura. Además, este tiene una proyección para la semana siguiente, donde también se definen sectores a perforar y tronar, pero que deben evaluarse según el desempeño y avance logrado en la primera semana.

El procedimiento para la perforación de pozos en CMCC consiste en primer lugar en marcar a piso la malla, guiándose con un sistema de posicionamiento de alta precisión manual, y pintando en el suelo con tintura en spray cada pozo que debe ser perforado. Luego de marcar unos cuantos pozos, el operador debe poner en marcha el equipo y posicionarse encima de cada pozo a perforar, siguiendo una secuencia que le permita perforar toda la malla sin pasar a tapar ninguno con el equipo. Mientras se van perforando algunos pozos, el operador debe descender del equipo a marcar otros pozos hasta completar el diseño de la malla. Esta práctica está permitida según el procedimiento²⁹, a pesar de ser una conducta riesgosa. Además del riesgo que conlleva descender de un equipo de tales magnitudes encendido, cuando las condiciones climáticas son desfavorables, ya sea por lluvia o corrientes de viento muy potentes, este procedimiento se vuelve complicado, debido a la baja visibilidad que tienen los operadores y a las condiciones del terreno que muchas veces no son las adecuadas para transitar. En los turnos de noche esta práctica se hace aún más riesgosa y difícil de ejecutar, por lo que la incorporación del sistema de navegación de alta precisión en los equipos de perforación es fundamental para lograr el diseño de malla esperado protegiendo la integridad de los operadores y equipos.

En CMCC pocas veces se utiliza el precorte, es más común la utilización de dos filas amortiguadas, la más cercana la pared denominada 'buffer' y la otra 'segunda buffer' o 'amortiguada'. Cada compañía debe definir sus propios criterios para el cumplimiento de las profundidades de pozo diseñadas. Para Cerro Colorado, si un pozo está pasado más de 30 centímetros se clasifica como largo y debe taparse el restante con gravilla para lograr el diseño. Si al pozo le faltan 2 metros o más de profundidad, este se debe calificar como pozo corto y tapar con gravilla o con el mismo detrito de perforación. El nuevo pozo se debe perforar a un metro de distancia del pozo tapado en el sentido del espaciamiento. Esto genera un considerable aumento en los costos de perforación y un retraso en el cumplimiento de los planes de desarrollo.

²⁹ PRG-133: 'Reglamento de perforación y tronadura', Superintendencia de Operaciones mina.

La configuración de carga de los pozos es otro parámetro que puede irse modificando a lo largo del proceso, debido a que este dependerá de los materiales que se hayan perforado y las zonas de contacto entre distintas mineralogías. Los encargados de confeccionar la propuesta de carga son los asistentes técnicos de la EPE junto con el planificador de PyT. Luego de este proceso, la responsabilidad de la tronadura pasa a ser exclusivamente de la EPE y termina el proceso de perforación de los pozos junto con todas las actividades asociadas a este.

3.2.4 Indicadores de desempeño

Para poder definir los indicadores de desempeño de los equipos de la compañía, estandarizar los tiempos empleados en cada proceso de la operación y gestionar la eficiencia de los diferentes equipos, BHP utiliza el sistema TUM³⁰. Este se representa gráficamente en la figura 3-5, donde cada una de las categorías tiene una definición y los procesos que considera.



Figura 3-5: Esquema time usage model
(Fuente: modificado de BHP Billiton, (2016))

El tiempo calendario corresponde al tiempo total anual, considerando 24 horas al día y 365 días al año, o 366 para años bisiestos. Si al tiempo de calendario se le resta el tiempo 'stand by'³¹, se obtiene el tiempo requerido, que corresponde a aquel en el que el personal o el equipo se encuentra disponible para operar o ingresar a una mantención. Por su parte, el tiempo 'stand by' se define como el tiempo en que el equipo o persona no se encuentra disponible para la operación o mantención, debido a factores externos de los cuales la empresa no tiene el control. Estos factores pueden ser días festivos, desastres naturales, decisiones económicas, u otros. El tiempo requerido a su vez se divide en tiempo disponible y demoras de equipos. Estas demoras pueden ser programadas o no programadas, y corresponden al tiempo en que los equipos se encuentran inhabilitados para operar, ya sea por actividades de mantención programadas o por alguna falla inesperada o demora excesiva de la mantención. Dentro del tiempo disponible, que corresponde al tiempo en el que los equipos están preparados para ser operados, se encuentra el tiempo de

³⁰Time Usage Model.

³¹'En espera': días del año no disponibles para operar.

producción y las demoras de procesos. Como su nombre lo dice, el tiempo de producción es aquel en que el equipo está siendo efectivamente operado y está contribuyendo al cumplimiento de los planes de producción. A su vez, las demoras de procesos pueden ser también programadas o no programadas y corresponden a actividades que impiden la continuidad operacional. Dentro de las demoras de proceso no programadas se encuentran la falta de operadores, esperas por clima desfavorable, y esperas por combustible, limpieza de banco, agua u otras.

Por otro lado, las demoras de proceso programadas pueden asociarse por ejemplo a los eventos de tronadura, donde la actividad en el radio de influencia de esta debe cesarse, el traslado de equipos entre las diferentes fases de la mina, períodos de entrenamiento y capacitación, entre otros. Estas demoras programadas contribuyen de forma indirecta a la operación porque si bien son demoras, se traducen en productividad, porque son actividades necesarias para asegurar la continuidad operacional. Finalmente, dentro del tiempo de producción se encuentran el tiempo efectivo y las demoras o pérdidas operacionales. El tiempo efectivo corresponde a aquel donde el equipo está operativo en su estado óptimo, y las pérdidas operacionales corresponden a momentos en que el equipo está en modo de producción pero no está cumpliendo su función, por ejemplo, cuando la perforadora se traslada de un pozo a otro.

Los indicadores de desempeño definidos para el proceso de perforación se describen en la siguiente tabla:

Tabla 3-3: Indicadores de desempeño para equipos de perforación

Indicador	Definición	Unidad
Disponibilidad	Razón entre el tiempo disponible y el tiempo requerido	Porcentaje [%]
Utilización	Razón entre el tiempo de producción y el tiempo disponible	Porcentaje [%]
Tasa de producción	Razón entre unidad de producción y tiempo de producción	Unidad de producción/Unidad de tiempo [m/h]
Metros perforados	Total de metros perforados en un turno de 12 horas	Metro [m]

3.3 Procedimientos estándar BHP

3.3.1 Procedimientos de gestión y procedimientos de operación

La empresa tiene un documento para cada actividad que se realiza dentro de la faena, denominados PRG y PRO. Los PRG son procedimientos de gestión, y son enfocados en realizar las actividades de la operación de acuerdo a la legislación vigente, para cumplir estándares de calidad y seguridad. Por su parte, los PRO son procedimientos de operación, donde se detalla cada etapa de una actividad, junto con sus riesgos asociados y medidas de control para estos.

Para analizar el mecanismo de operación, estos documentos son fundamentales, porque consideran todos los criterios y aspectos que deben tenerse en cuenta para efectuar una operación de acuerdo a los estándares BHP. Si ocurre algún evento significativo o accidente, se revisan estos procedimientos para analizar si la acción que llevó al accidente estaba dentro del procedimiento o no, y en caso de estarlo, debe evaluarse y modificarse. Estos procedimientos una vez elaborados deben ser revisados y aprobados, y luego actualizados cada 2 años. Los documentos asociados al proceso de perforación que serán utilizados para identificar las prácticas operacionales relacionadas con el sistema de gestión son el procedimiento operacional PRO-532 sobre liberación de polvorazos y generación de cartillas y el procedimiento de gestión PRG-133 que corresponde al reglamento de perforación y tronadura.

Por otra parte, el procedimiento de gestión PRG-002 que corresponde a la administración de riesgos también será analizado y utilizado para identificar de qué forma se gestionan los riesgos asociados al proceso de perforación en la compañía.

3.3.2 PRO-532 Liberación de polvorazos y generación de cartillas

El objetivo principal de este procedimiento es describir paso a paso las actividades relacionadas con la liberación de los polvorazos³² y las cartillas de perforación. Los involucrados en estas actividades son todos aquellos que cumplan roles en las áreas de planificación y operaciones mina, y que intervengan en los procesos antes mencionados. Además, este documento presenta la tabla de riesgos y peligros no tolerables, junto con los aspectos ambientales significativos y los controles operacionales para cada uno de ellos.

Las actividades descritas en este procedimiento corresponden a la liberación de los patios de producción y contorno, junto con la planificación y generación de las cartillas de perforación de pozos de producción. Además, se detallan los documentos de control asociados a estas actividades junto con los responsables asociados a cada uno de ellos.

³² Término minero que hace referencia a un sector que será tronado.

3.3.3 PRG-133 Reglamento de perforación y tronadura

Este procedimiento corresponde a una fusión entre los antiguos documentos PRO-102 de perforación y el PRG-133 de tronadura, que se realizó el 2019 para cumplir con la normativa exigida por el SERNAGEOMIN³³. El objetivo de este procedimiento es dar cumplimiento a la normativa chilena vigente, el reglamento de seguridad minera DS N° 132 en su artículo 239, título cuarto, y establecer las normas para garantizar la seguridad los trabajos relacionados con el traslado y manejo de explosivos, y la operación de perforación. El reglamento se aplica para colaboradores de la empresa mandante y personal de las empresas externas que estén involucradas en las actividades descritas en él.

A diferencia de los PRO, este documento es un procedimiento de gestión. En él se definen los conceptos asociados a los procesos de perforación y tronadura, además de una ficha resumen al final de este, donde se destacan nuevamente los parámetros que deben considerarse en los estándares de cierres y distancias de seguridad para zonas donde se manejen explosivos, las distancias de evacuación por tronaduras, el protocolo a seguir en las tronaduras, el proceso de tronadura y la prevención y manejo de tiros quedados.

Al igual que en los procedimientos operacionales, en este documento se detallan todas las actividades asociadas a los procesos de perforación y tronadura, junto con los riesgos y peligros asociados, los aspectos ambientales significativos y su respectivo control operacional. En este se describen todas aquellas relacionadas con los procesos de perforación de pozos de producción y de pozos de sondajes. Estos últimos no serán utilizados debido a que este tipo de perforación queda fuera del alcance del sistema de gestión.

En relación a la perforación, las actividades descritas son el traslado y posicionamiento de los equipos, junto con la interacción de estos entre ellos y con otros equipos, el salto de cables eléctricos con perforadoras, actividades de mantenimiento que se realizan en el rajo tales como cambios de herramientas, abastecimiento de combustible agua y lubricantes, entre otros. Además, se detalla el proceso de perforación y los estándares establecidos para la construcción y preparación de los patios de perforación que deben generarse previo a la operación.

3.3.4 PRG-002 Administración de riesgos

Este procedimiento pertenece al área HSE³⁴ de la compañía, encargada de velar por la seguridad y salud de los trabajadores, cumpliendo con la normativa vigente relacionada a los aspectos ambientales de la industria. Su objetivo principal es establecer los mecanismos de identificación, evaluación, y administración de los riesgos de salud, seguridad y medio ambiente,

³³ Servicio Nacional de Geología y Minería.

³⁴ Health Safety and Environment.

aplicándose a todas las áreas y actividades de la compañía, tanto para personal propio como aquellos de las empresas colaboradoras y proveedoras de servicios.

Junto con las herramientas para la gestión de los riesgos, en este documento se presentan algunas definiciones aplicables a la seguridad salud, y medio ambiente, además de los roles y responsabilidades que tienen los representantes de cada nivel de la organización con respecto al cumplimiento de este procedimiento.

3.4 Sistema operativo de BHP

3.4.1 Descripción general

Este sistema operativo es aplicable a todos los empleados BHP, sus activos, funciones, y productos, en todos los niveles de la organización. Algunas veces también se aplica a proveedores y colaboradores.

BOS se basa en dos teorías de la gestión de procesos, Lean y Agile. Cada una de ellas tiene sus propios principios, pero ambas se enfocan principalmente en la potenciación organizativa, la colaboración del cliente, el aprendizaje rápido y el mejoramiento continuo. Si bien el sistema operativo de BHP incorpora algunos conceptos y elementos de la gestión Agile, es en la metodología Lean que se basan la mayor parte de las herramientas y prácticas definidas por la empresa para gestionar sus operaciones (BHP, 2019).

La metodología Agile surgió el año 2001 en Estados Unidos, gracias a un grupo de expertos en el desarrollo de aplicaciones informáticas. El enfoque principal de este mecanismo de gestión es la entrega de alternativas y soluciones rápidas frente a problemas y obstáculos que vayan presentándose a lo largo de un proceso o actividad. Las metodologías Agile más populares son Scrum y Kanban. La primera se centra en el trabajo por iteración y en la mejora continua de los procesos individualmente, mientras que la segunda tiene como enfoque la mejora en el sistema completo centrándose en el flujo de trabajo (Emprendedores, 2016).

La gestión Lean es un concepto que surgió a fines del siglo XIX en la industria automotriz japonesa de Toyota. Esta metodología tiene como enfoque principal la producción sin desperdicios, que si bien generalmente se aplica en la industria manufacturera, se fundamenta en principios que son aplicables en cualquier industria. Los desperdicios pueden ser recursos, insumos, mano de obra, tiempos de detención o todo aquello que no le otorgue valor al proceso (Progressa Lean, 2015).

Según esta lógica de gestión, los problemas son interpretados como oportunidades de mejora que favorecen el aprendizaje, enfocándose en el liderazgo activo y la consideración de todos los niveles de la organización en la resolución de los problemas. Además, se incorpora el concepto de mejora continua como otro eje fundamental de la gestión Lean, junto con buscar satisfacer las

necesidades del cliente, aumentando el valor del producto entregado y utilizando eficientemente los recursos.

Los principios fundamentales de BOS son ‘servir a nuestros clientes’, ‘capacitar a nuestra gente’ y ‘aspirar a la perfección operativa’. En la figura 3-6 se muestra la estructura del sistema operativo, donde se detalla a qué corresponde cada nivel del esquema.



Figura 3-6: Esquema de la estructura del sistema operativo de BHP
(Fuente: modificado de BHP, (2019))

3.4.2 Principios BOS: Servir a nuestros clientes

El primer principio del sistema operativo de BHP tiene relación con la satisfacción de los clientes en cuanto al servicio o producto entregado. Para cumplir con estos requisitos, se debe tener claro quién es el cliente de cada producto o proceso, y enfocarse en satisfacer en un 100% sus necesidades siempre teniendo en cuenta que se puede mejorar y aumentar dicha satisfacción. Además, se debe mantener la comunicación con el cliente, permitiéndole tomar decisiones con respecto al producto o servicio que recibirá, entregándole opciones que tengan la mejor relación entre calidad y costos.

Las prácticas relacionadas con la satisfacción del cliente son el mapeo de la cadena de valor y la voz del cliente. Ambas herramientas ayudan a comprender en profundidad las necesidades del cliente para así gestionar las operaciones en búsqueda de cumplir y superar sus expectativas. Otro concepto importante es establecer mecanismos de evaluación de la satisfacción del cliente, lo que permite mantener un mejoramiento continuo y con ello los estándares de calidad establecidos por la empresa.

3.4.3 Principios BOS: Capacitar a nuestra gente

Este principio aplica para todos los participantes de cada proceso, en todos los niveles de la organización. Se destaca la importancia de liderar con humildad y respetar a cada individuo, confiando y respetando la opinión de los empleados de primera línea, quienes con su experiencia y competencias pueden aportar ideas y oportunidades para el mejoramiento continuo de los procesos.

Por otra parte, los líderes deben otorgar un contexto y ambiente grato y abierto al diálogo, apoyando la resolución de problemas y el aprendizaje continuo del personal que tienen a cargo. Ellos son los encargados de buscar junto con su equipo la causa raíz de los problemas para poder definir las soluciones, construyendo a su vez una competencia técnica que les permita tomar decisiones. Además de motivar a su equipo en la participación activa, los líderes deben planificar el desarrollo de las competencias de los empleados para así potenciar a cada individuo según sus propias capacidades, proporcionando actividades de capacitación y retroalimentación con respecto a su desempeño en relación con los objetivos de la empresa.

Las principales prácticas definidas para mantener este principio son el liderazgo en terreno, el estándar de trabajo del líder, y las caminatas gamba 'ir y ver'. Todas estas herramientas permiten a los líderes tener un control directo de los procesos evidenciando por si mismos cada una de las prácticas operacionales y desvíos que puedan surgir en estas.

3.4.4 Principios BOS: Aspirar a la perfección operativa

Este principio es aquel que contiene la mayor cantidad de prácticas y herramientas aplicables a la operación. Junto con él, se definen tres objetivos principales: garantizar la seguridad de los trabajadores, generar un 100% de valor para el cliente y trabajar sin generar desperdicios en la operación. En esta aspiración es que se pueden encontrar oportunidades de mejora, para siempre ir superando las expectativas y estándares definidos.

Dentro de las prácticas que pueden aplicarse para identificar y eliminar los desperdicios se encuentra el análisis causa raíz, la estandarización de los procesos, y el método 5S. Además, se define el uso de capital como el último recurso para la resolución de problemas, priorizando combinar el ingenio con la creatividad para encontrar soluciones de bajo costo que permitan mejorar los procesos. Las personas deben ser parte de la solución, sobre todo el personal de primera línea³⁵, quienes son los dueños de los procesos y saben cómo hacerlos más eficientes, sin recurrir a soluciones que impliquen gastos monetarios. Para cumplir con este principio, la excelencia debe estar en el centro de la empresa, tanto en ámbitos productivos como medio ambientales y de seguridad.

³⁵ Término de BOS que hace referencia a los operadores de la compañía.

3.4.5 Conceptos claves de BOS

Apoyándose en las herramientas de gestión y control de procesos, es que el sistema operativo de BHP desarrolló una lista de conceptos claves que representan sus tres principios fundamentales. En la siguiente tabla se enumeran estos conceptos identificando cuál de los principios representa cada uno.

Tabla 3-4: Conceptos claves de BOS

Concepto clave	Principio que representa
1.Crear valor para el cliente	Servir a nuestros clientes
2.Cumplir niveles apropiados de servicio	Servir a nuestros clientes
3.Operación 100% segura	Aspirar a la perfección operativa
4.Enfoque en los procesos	Aspirar a la perfección operativa
5.Abrazar la resolución de problemas	Aspirar a la perfección operativa
6.Flujo estable	Aspirar a la perfección operativa
7.Garantizar la calidad en el origen	Aspirar a la perfección operativa
8.Siempre aprender y mejorar	Aspirar a la perfección operativa
9.Usar prudentemente el capital	Aspirar a la perfección operativa
10.Crear constancia en los objetivos	Aspirar a la perfección operativa
11.Pensar de forma sistemática	Aspirar a la perfección operativa
12.Liderar con humildad	Capacitar a nuestra gente
13.Respetar a cada individuo	Capacitar a nuestra gente

El presente sistema de gestión se enfocará principalmente en la aspiración a la perfección operativa, garantizando a su vez la seguridad y el mejoramiento continuo de los procesos. Este principio tiene directa relación con el cumplimiento de los estándares de calidad, por lo que se incluirá a los requisitos del sistema de gestión junto con aquellos establecidos por la norma ISO 9001. El servicio al cliente en este contexto corresponde a entregar el patio perforado cumpliendo con los requisitos que permitan realizar una buena tronadura, que es el primer proceso aguas abajo. Este no se aplicará en el trabajo debido a que los requisitos y expectativas del cliente deben ser definidos por la entidad responsable de la tronadura que en este caso es la empresa proveedora de explosivos, y esta definición queda fuera del alcance el trabajo. A su vez, los conceptos relacionados con la capacitación y métodos de liderazgo son definidos internamente por la empresa, por lo que también quedarán excluidos del enfoque principal del trabajo.

4 DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Descripción general del proyecto

El desarrollo de este proyecto consistió en definir en primer lugar los estándares y prácticas aplicables al proceso de perforación que debiera considerar el sistema de gestión para cumplir con los estándares ISO y BOS. Esto se efectuó luego de analizar cada requisito de la norma ISO 9001:2015 y la doctrina del sistema operativo de BHP, documento donde se indican todas las prácticas que este incorpora para así determinar cómo aplicarlas en cada etapa o actividad del proceso. En segundo lugar, se realizó un análisis de datos y de prácticas operacionales, donde se incorporó la opinión de personal de la empresa en relación con los procesos involucrados en el sistema. Estas opiniones se incorporaron realizando entrevistas y encuestas a los supervisores y operadores que tuvieran relación con el proceso de perforación. Finalmente se determinó qué estándares ya estaban incorporados a la gestión de los procesos, y así se definió en los resultados del proyecto cuáles serán las modificaciones que deberán implementarse para lograr los estándares y requisitos establecidos en los objetivos de este trabajo.

4.2 Requisitos Norma ISO 9001:2015

La norma internacional ISO 9001:2015 se estructura en 10 capítulos, donde los primeros 3 corresponden a aspectos generales y los otros 7 son aquellos donde se establecen los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión de la calidad para poder certificarse mediante esta organización internacional. Además de esos 10 capítulos, cuenta con un capítulo cero, que corresponde a una introducción donde se explican y describen algunos términos que se utilizan en los sistemas de gestión de la calidad. En esta misma introducción se describen los 7 principios de la gestión de calidad que fueron descritos anteriormente.

A continuación, se detallará el contenido de cada capítulo, junto con una evaluación que determinará si los requisitos que se definen son aplicables o no al sistema de gestión para la operación de perforación en Compañía Minera Cerro Colorado.

4.2.1 Objeto y campos de aplicación, referencias normativas, términos y definiciones

En el primer capítulo de la norma, se describe como objetivo principal el establecimiento y especificación de los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión de la calidad, junto con la definición de sus alcances. Estos requisitos son aplicables a cualquier tipo de organización que requiera demostrar su capacidad de satisfacción del cliente, aumentar este nivel de satisfacción, o cumplir con estándares internacionales de calidad mediante la certificación en esta norma. El segundo capítulo corresponde a las referencias normativas, donde se presenta la norma ISO 9000:2015, 'Sistemas de gestión de la calidad, fundamentos y vocabulario'. En esta norma se

definen algunos conceptos aplicables a los SGC. Finalmente, el tercer capítulo corresponde a los términos y definiciones aplicables a los SGC.

Si bien estos tres primeros capítulos contienen información relevante para el presente proyecto, no se clasifican dentro de los requisitos que debe cumplir el sistema de gestión (en adelante, SG). Es por esto que se determinaron los seis capítulos restantes como aquellos que definirán qué prácticas y procesos deberán incluirse o excluirse del nuevo sistema de gestión para el proceso de perforación de pozos de producción en CMCC.

4.2.2 Contexto de la organización

Con respecto a la organización, la norma establece la importancia de la comprensión de las expectativas y necesidades de las partes interesadas. Como se mencionó anteriormente en el capítulo 1.4, las partes interesadas del presente sistema de gestión son todas aquellas que actúan directa o indirectamente en sus actividades y procesos. En este caso, puede analizarse la satisfacción de los clientes o de los actores directos del proceso, que corresponderían al personal de la EPE o a los operadores, respectivamente. Para estos últimos, el análisis de su satisfacción puede enfocarse directamente en el ambiente laboral y las condiciones de trabajo a las que se ven expuestos. Al ser ellos los principales ejecutores de la tarea fundamental en la perforación, es necesario que se sientan cómodos y seguros en su lugar de trabajo.

Por otra parte, los últimos requisitos de este capítulo indican la relevancia de establecer los alcances (ver anexo 8.5) y limitaciones³⁶ del SG, antes de comenzar a desarrollarlo. En último lugar, la norma establece que cada proceso perteneciente al SG debe tener definidas sus características, en cuanto a los recursos que requiere, la interacción con otros procesos, sus salidas y entradas, y todos aquellos aspectos relevantes para su correcta ejecución.

4.2.3 Liderazgo

El objetivo de este requisito es establecer el compromiso que deben adoptar todos los niveles de la organización para con el sistema de gestión que se implementará, partiendo por la alta gerencia. Debido a que esta norma se enfoca en aquellas empresas que quieren certificarse en estándares de calidad, este requisito no es aplicable al presente sistema de gestión, que involucra únicamente la etapa de diseño del mismo. De todas formas, si este SG llegara a implementarse, este compromiso debe asegurarse definiendo claramente las autoridades y responsables de cada actividad que se requiera llevar a cabo. En cuanto a la política de calidad que debe definirse previa implementación de un SGC, se establece que debe redactarse por la misma empresa, y los encargados del proceso o producto en cuestión.

³⁶ Definidos en el capítulo 1.4.

4.2.4 Planificación

Este requisito hace hincapié en la relevancia que tiene la planificación de las acciones para abordar los riesgos y oportunidades que se presenten para el SG. A su vez, aborda la planificación de los objetivos de calidad y cómo estos pueden lograrse, junto con la planificación de los cambios que puedan hacerse al SG a lo largo del tiempo. Esta última quedará fuera del alcance del trabajo, debido a que debe ser definida por el encargado de implementar el sistema de gestión.

4.2.5 Apoyo

En este capítulo se establecen todos los componentes requeridos por la organización para diseñar, implementar, mantener y mejorar constantemente un sistema de gestión. En cuanto a los recursos necesarios, deben definirse las personas, infraestructura, equipos, ambiente, conocimientos y un método para mantenerlos, favoreciendo así que todo conocimiento que vaya surgiendo a través de experiencias pasadas quede registrado y pueda transmitirse a todos los niveles de la organización.

En cuanto a las competencias del personal directo de la operación, la norma establece que debe definirse un perfil que incorpore educación, formación, experiencia y otras habilidades requeridas para el puesto. Este requisito queda excluido del sistema de gestión debido a que hay un área externa de recursos humanos quienes se encargan de que las personas que se incorporen a la organización cumplan con las competencias requeridas para cada cargo.

En el mismo capítulo se definen estrategias de comunicación efectiva entre el personal de la empresa y también con personal de empresas colaboradoras, junto con la sensibilización de las personas respecto al SG que se implementará. Este último requisito queda fuera del alcance debido a que debe aplicarse en la etapa de implementación del SG.

Finalmente, se establece la importancia de la información documentada y cómo debe gestionarse la accesibilidad a ella. A pesar de que la compañía tiene su propio protocolo de gestión de la información y documentos, a lo largo del diseño de este SG pueden surgir algunos que no existan y que se requieran para lograr la implementación y mejora continua.

4.2.6 Operación

El octavo capítulo de la norma hace referencia a la operación y sus mecanismos de control. En este apartado deben definirse todos los procesos y actividades que formen parte del sistema en cuestión, estableciendo también la relación entre ellos. Para abordar este requisito, se analizará el procedimiento de gestión PRG-133 'Reglamento de perforación y tronadura'. Además, en este capítulo puede incorporarse la estandarización de procesos como mecanismo de control para la operación.

4.2.7 Evaluación del desempeño

Este requisito presenta los mecanismos de seguimiento, medición, análisis y evaluación del sistema de gestión implementado. Como este trabajo alcanza únicamente la fase de diseño del SG, es que no se aplicará mientras no sea implementado, y la responsabilidad de esto recaerá sobre personal designado por la propia organización. Sin embargo, en esta categoría también se encuentran aquellos mecanismos de seguimiento al cumplimiento de los planes y objetivos de la empresa, lo que será incluido en las mejoras propuestas al sistema actual.

4.2.8 Mejora

El último capítulo de la norma establece que deben diseñarse mecanismos de mejora continua de los procesos. Para aplicar este requisito se utilizarán las herramientas definidas por el sistema operativo de BHP, que sean aplicables al sistema de gestión para el proceso de perforación.

4.3 Requisitos del sistema operativo de BHP

Si bien el sistema operativo de BHP no se presenta de la misma forma que la norma ISO 9001:2015, que define explícitamente requisitos a cumplir, este contiene varias herramientas que pueden utilizarse y aplicarse para gestionar los procesos dentro del sistema de gestión. Además, se establecen algunos requisitos explícitos, como la importancia de definir nuevas expectativas y roles en cuanto a los actores de cada proceso, junto con desaprender conceptos pasados de cómo gestionarlos, generando ahora estándares en base a las nuevas experiencias. En este capítulo se desarrollarán las principales condiciones que deben cumplirse en el sistema de gestión para alinearse con los estándares definidos en el sistema operativo de BHP, junto con aquellas herramientas que son aplicables al proceso de perforación y las actividades que este involucra.

4.3.1 Cultura del sistema operativo de BHP

La cultura de este sistema coincide con los valores de la empresa, que consisten en la sostenibilidad, integridad, simplicidad, responsabilidad, respeto y desempeño. En el caso particular del proceso de perforación, los últimos cuatro valores son aplicables directamente. La simplicidad se ve reflejada en la forma de comunicar resultados a las personas involucradas en cada actividad. Estos deben ser comprensibles y estar al alcance de todos, a pesar de que para analizar los indicadores de desempeño deba hacerse un estudio detallado de cada factor que incide en estos, para luego determinar un rendimiento y compararlo con los planes establecidos. Por otra parte, la responsabilidad es un valor que debe ser inherente a cada trabajador de la compañía, y debe ser inculcado mediante la educación de los riesgos asociados a cada operación y los mecanismos de control de estos. A su vez, el respeto es un valor indispensable para mantener un ambiente laboral grato, lo que permite además a cada trabajador tener un buen desempeño y rendimiento en las

labores que se le asignen. Además, la inclusión y respeto por la diversidad debe ser aplicada en todos los niveles de la organización. Finalmente, el desempeño hace referencia al cumplimiento de los objetivos productivos y de calidad. Para lograr esto, debe cumplirse un estándar de disciplina a lo largo de toda la organización, donde cada uno comprenda su rol y cómo este afecta al rendimiento de la operación y el mejoramiento de los procesos.

Por otra parte, el enfoque de la organización debe ser el trabajo en equipo, asegurando siempre el respeto al trabajo de cada miembro de este, para así cumplir un objetivo común con altos estándares de rendimiento. Los empleados deben sentirse capacitados y orgullosos de sus empleos y las tareas que se les asignan, y deben tener la capacidad para identificar y resolver desviaciones de los procesos, buscando siempre la causa fundamental de estos para determinar las medidas correctivas a tomar. El personal de primera línea, operadores y mantenedores, deben saber que son miembros decisivos del equipo, cuyas opiniones deben ser escuchadas para cumplir con su derecho y obligación de mantener los estándares de trabajo de sus respectivas áreas.

4.3.2 Definición de roles y responsabilidades

El sistema operativo de BHP establece los roles y responsabilidades que tiene cada miembro de la organización, agrupándolos en líderes y personal de primera línea.

Dentro de las responsabilidades de los líderes, se encuentra el apoyo activo a los miembros de sus equipos, incentivándolos siempre a la mejora continua y entregándoles retroalimentación inmediata a cualquier duda o sugerencia que quieran expresar. Además, las decisiones que deben tomar deben ser rigurosas y basadas en hechos concretos, siempre priorizando la verificación de las condiciones y situaciones en terreno. Para permitir esto, es que los líderes deben pasar más tiempo en terreno con sus equipos de trabajo, por lo que en BOS se establecen varios mecanismos como el 'ir y ver' o el 'programa de liderazgo en terreno', que consta de una serie de actividades de observación y análisis de prácticas operacionales que deben realizar todos los meses los líderes de equipo y supervisores.

En el caso del personal de primera línea, las responsabilidades otorgadas se enfocan en la ejecución y mejora continua de los procesos. Ellos son los encargados de desarrollar un estándar de trabajo seguro y eficiente, y de velar por su cumplimiento evitando futuras desviaciones. Además, su opinión es muy importante a la hora de identificar desvíos y proponer y probar mejoras operacionales.

4.3.3 Gestión de los riesgos

Finalmente, para cumplir con la expectativa de realizar un trabajo 100% seguro, debe definirse un mecanismo de gestión de riesgos conocido, interiorizado y aplicado por todas aquellas personas involucradas directa o indirectamente en las actividades de la organización. Este debe

abarcando todos los niveles organizacionales y tanto a personal propio como a los colaboradores y todo aquel que tenga participación en los procesos involucrados en la operación.

4.3.4 Prácticas BOS aplicables al SG para la perforación

El sistema operativo de BHP define numerosas prácticas y herramientas implementadas en la gestión de los procesos para cumplir con los principios que lo definen. La mayoría de estas, provienen de la metodología de gestión Lean. Si bien todas ellas pueden ser aplicables a cualquier empresa o proceso, hay algunas que se ajustan de mejor forma al proceso de perforación, las cuales se detallan a continuación:

5S: esta herramienta consiste en la organización y limpieza del lugar del trabajo. Su nombre se debe a 5 palabras en inglés que comienzan con 's' y que traduciéndolas corresponden a clasificar (sort), ordenar (set in order), higiene (sanitation), estandarizar (standarise) y sostener (sustain). Realizando estas 5 tareas se logra mantener una zona de trabajo organizada, limpia y segura, lo que en este caso puede aplicarse en el equipo de perforación. Esta organización le ayudará al operador a enfocarse y concentrarse en su trabajo específico, que se hará de forma más segura y efectiva al no tener elementos distractores en el lugar de trabajo.

Ciclo PHVA: corresponde a planificar-hacer-verificar-actuar es la metodología más utilizada en la mejora continua de los procesos. Esta establece una seguida de acciones que deben cumplirse para poder mejorar un proceso o actividad, siempre evitando que vuelva a provocarse el desvío que generó el problema en cuestión y asegurándose de que las medidas tomadas lo solucionaron.

Resolución práctica de problemas: este mecanismo está ligado al ciclo PHVA, y establece una lista de ocho pasos que deben seguirse para asegurar el control de la actividad o proceso que presenta desvíos, que se muestran en la siguiente figura.

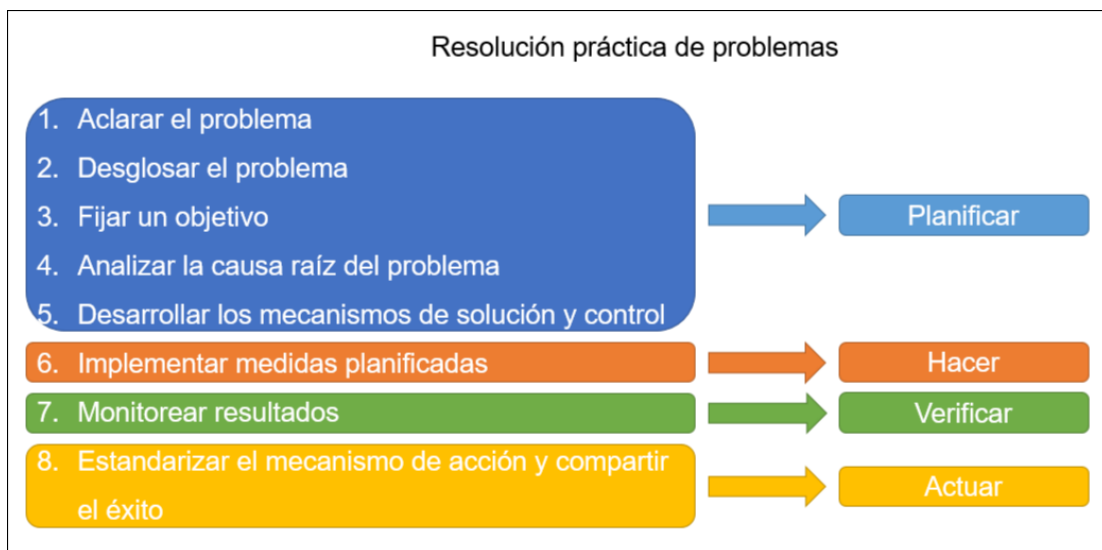


Figura 4-1: Ocho pasos para la resolución práctica de problemas
(Fuente: elaboración propia, a partir de (BHP, 2019))

Círculos de calidad: esta es una herramienta práctica para incluir la opinión del personal de primera línea en la toma de decisiones y en la mejora de los procesos. Consiste en reunir periódicamente un equipo de entre 3 y 12 personas que cumplan las mismas funciones o que estén involucradas en el mismo proceso. El objetivo de las reuniones es analizar y discutir con el apoyo de un moderador los desvíos de dicho proceso con respecto a la calidad, para así generar diferentes propuestas de soluciones y poder escalarlas hacia la administración de la compañía. Estas propuestas deben ser factibles e implementadas en medida de lo posible por ellos mismos, con la autorización del personal a cargo de cada proceso. En las siguientes reuniones se debe hacer un seguimiento del avance de las soluciones propuestas definiendo plazos y responsables para cada una de ellas.

Estandarización del trabajo: es una de las prácticas más recurrentes en la gestión de los procesos. Su principal objetivo es establecer las prácticas y estándares a seguir para lograr los objetivos de cada proceso, siempre teniendo en cuenta el enfoque a la perfección operativa y la mejora continua. Los encargados de crear el estándar son los mismos trabajadores, quienes deben ir mejorándolo continuamente según su experiencia, e ideas innovadoras. De esta forma, el conocimiento se puede extender a todos los empleados que realicen las mismas tareas y así permitirle a cualquiera que se incorpore al equipo el acceso a esta información, que se transformará en un activo para la organización.

Ir y ver: esta práctica consiste en la evaluación en terreno del cumplimiento de los estándares, del ambiente laboral, de las condiciones físicas del lugar de trabajo, y todos aquellos parámetros que puedan evaluarse de forma presencial e inmediata. En el caso de la perforación, los supervisores deben velar por la seguridad y comodidad de su equipo, por lo que deben verificar las condiciones en las que se encuentran trabajando para tomar las medidas correspondientes en caso de que el lugar o la actividad sean inseguros para los operadores.

Fijación de objetivos y diseminación operativa: esta herramienta consiste en definir indicadores clave de rendimiento o desempeño, que pueden ser aplicables por ejemplo a los equipos de perforación. Los indicadores utilizados para este proceso son utilización, disponibilidad, rendimiento y metros perforados, de los cuales pueden desprenderse los KPI's³⁷ que deberán evaluarse periódicamente para asegurar su cumplimiento y la mejora continua.

Sistemas de control visual: esta última práctica hace referencia a la visibilización que deben tener los resultados de los procesos, y a la necesidad de extender esta información a todos aquellos involucrados. Esto puede entenderse como aumentar la cantidad de personas que se enteran de los resultados y facilitar su comprensión, presentándolos de una forma más didáctica,

³⁷ Key Performance Indicator: indicador clave de desempeño.

por ejemplo representando el cumplimiento de los KPI's con gráficos. Mediante este mecanismo, cualquier observador del resultado podrá dar cuenta de desvíos para establecer mecanismos de control y mejora.

4.4 Cumplimiento de requisitos en la gestión del proceso

Como parámetro de evaluación de las prácticas operacionales, además de la observación en terreno, se utilizó el procedimiento de operación PRG-133, con lo que se establecieron los requisitos que el proceso de perforación ya cumplía, los cuales se detallan a continuación.

4.4.1 Cumplimiento de los requisitos de la norma ISO

4.4.1.1 Contexto de la organización

En el actual sistema, el procedimiento de gestión de perforación y tronadura indica qué actividades son las que están involucradas en estos procesos, definiendo el responsable de cada una de ellas. Además, se indica a quiénes aplica el procedimiento, lo que corresponde a las partes interesadas de estos procesos.

4.4.1.2 Planificación

El actual sistema cumple el requisito de la norma que hace referencia a la planificación de los riesgos, en el procedimiento de gestión PRG-002, donde se detalla cómo se gestionan estos, según la jerarquía de controles definida por la organización internacional del trabajo. Además, anualmente la compañía realiza una actualización de los riesgos, basándose en los estándares ISO 31000, sobre gestión del riesgo. En las siguientes figuras se muestran los mecanismos de gestión de riesgos empleados en CMCC. En ellas se establecen las actividades que deben llevarse a cabo consecutivamente para gestionar los riesgos, monitoreando y comunicando los resultados constantemente. En la figura 4.3, se muestra la efectividad de las tareas de gestión de riesgo, siendo la menos efectiva la utilización de elementos de protección personal que si bien son indispensables, no es un mecanismo de control de riesgo sino de disminución de sus efectos. La primera acción siempre debe ser entonces eliminar el riesgo de la operación y si esto no es posible, seguir con los pasos que se muestran en la jerarquía de control.



Figura 4-2: Proceso de evaluación de riesgos
(Fuente: PRG-002, Administración de riesgos, Superintendencia HSE)

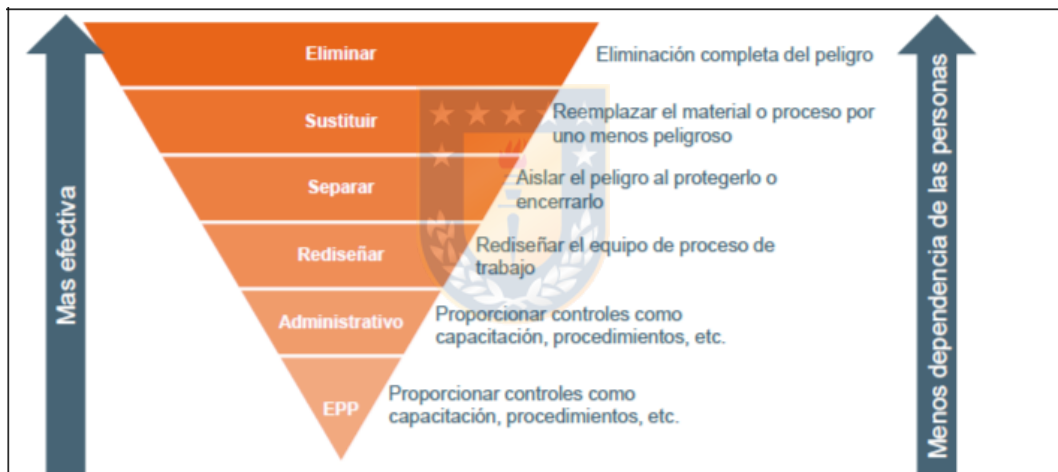


Figura 4-3: Jerarquía de control de riesgos
(Fuente: PRG-002, Administración de riesgos, Superintendencia HSE)

Por otra parte, la planificación estratégica de la producción en CMCC a largo, mediano y corto plazo se realiza de acuerdo a los lineamientos definidos por BHP, quienes entregan las directrices para cumplir con los objetivos y presupuestos determinados. Además, cada año se definen los indicadores claves de desempeño donde participan todos los supervisores de la compañía.

³⁸ EPP: Elementos de protección personal.

4.4.1.3 Apoyo

Las personas, equipos e infraestructura para llevar a cabo las actividades involucradas en el proceso de perforación están descritos en el PRG-133. Por otra parte, en relación a la información documentada, al final del mismo documento se encuentra una tabla con los registros que deben hacerse, con qué frecuencia y dónde estos deben almacenarse. Esto permite mantener un control de los documentos críticos que deben guardarse como evidencia para la toma de decisiones futuras.

4.4.1.4 Operación

En cuanto al requisito de definir las actividades asociadas a los procesos y la interacción entre ellas, es que el procedimiento cumple únicamente con el primero, puesto que cada actividad está descrita de forma independiente. A pesar de esto, con la información entregada por el documento es posible efectuar todas las tareas asociadas al proceso, por lo que el único requisito que falta cumplir es la definición de sus interacciones en el sistema.

4.4.1.5 Evaluación del desempeño

En cuanto a los mecanismos de seguimiento de resultados y cumplimiento de objetivos, la compañía establece distintos tipos de reuniones, con participantes de distintos niveles de la organización y una periodicidad definida, lo que permite identificar oportunidades de mejora y desviaciones de los procesos. Anualmente se revisan las estrategias de operación, junto con las oportunidades de mejora y los riesgos asociados. Además, se analiza el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la compañía y las iniciativas de mejora. En estas reuniones participan gerentes y superintendentes. Mensualmente, hay otras reuniones que tienen por objetivo verificar el cumplimiento de la producción siguiendo los presupuestos establecidos, junto con analizar el desempeño general de los procesos, la satisfacción de los clientes, riesgos, oportunidades y otros. En algunas de ellas además de gerentes y superintendentes participa el equipo de planificación y/o personal ejecutivo de Pampa Norte³⁹. Por último, semanalmente se analiza el cumplimiento de los planes de corto plazo, los incidentes relacionados con la seguridad, y se elabora un informe que se hace extensivo a toda la organización, donde se resumen todos los aspectos relevantes y significativos ocurridos en la semana.

4.4.1.6 Mejora

La mejora continua es uno de los principales enfoques del sistema operativo de BHP, que la compañía está implementando de forma transversal en todos sus procesos y actividades. No obstante, este es un proceso que requiere del compromiso de toda la organización y de mucho

³⁹ Compuesta por Compañía Minera Cerro Colorado y Spence.

tiempo, por lo que pueden proponerse algunas soluciones fáciles y rápidas de implementar para mejorar el proceso de perforación y sus actividades.

4.4.2 Cumplimiento de los estándares BOS

4.4.2.1 Cultura del sistema operativo de BHP

En cuanto al alineamiento entre los valores de la empresa con el desarrollo de las actividades, no se logra definir de forma explícita su cumplimiento. Sin embargo, en cuanto a la simplicidad, los resultados del proceso de perforación son comprensibles por cualquier persona, y se presentan todas las semanas mediante gráficos de barra de fácil interpretación. A su vez, la responsabilidad en cuanto a la exposición a los riesgos que se encuentran los trabajadores se trabaja día a día, con rigurosos protocolos que establecen mecanismos de control y gestión de riesgos. Por otra parte, el respeto es un valor cuya puesta en práctica se puede evidenciar analizando el ambiente laboral. Si bien no se realizó un estudio específicamente relativo a este indicador, se observó un ambiente laboral grato, tomando en cuenta también que la compañía tiene un portal de denuncias anónimas, donde los trabajadores pueden exponer situaciones en las que se hayan sentido vulnerados, y con esto visibilizar el caso y tomar las medidas correspondientes. Finalmente en cuanto al desempeño, se identificaron numerosas oportunidades de mejora y desvíos con respecto a los estándares establecidos.

4.4.2.2 Definición de roles y responsabilidades

La definición de roles y responsabilidades se cumple gracias a la tabla de tareas propuesta en el PRG-133, donde se indica quién es el responsable de cada una de ellas, junto con los encargados de generar la documentación requerida durante el proceso.

4.4.2.3 Gestión de los riesgos

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 4.4.1.2, la gestión de los riesgos está definida en el procedimiento operacional PRO-002. Además, en el PRG-133, la tabla de riesgos no tolerables expone un mecanismo de control y define el responsable de cada uno de estos, con lo que puede asegurarse el alineamiento con el enfoque de la compañía de tener operaciones 100% seguras.

4.4.2.4 Prácticas y herramientas BOS aplicables a la operación

En cuanto a las prácticas de BOS que son aplicables al SG para perforación, la 5S actualmente está en fase de implementación en todos y cada uno de los procesos de la compañía. A su vez, el ciclo PHVA y la resolución práctica de problemas tratan de aplicarse, sin embargo, por el momento no existe ningún protocolo o documento que establezca un mecanismo de resolución de problemas. Los círculos de calidad son una práctica utilizada frecuentemente a lo largo de todos los procesos de la operación, pero en el caso de la perforación, hace casi 2 años que no se realiza,

lo que genera que hayan muchas oportunidades de mejora que no han podido ser planteadas y resueltas. Por otra parte, las actividades cumplen con la estandarización de tareas puesto que en el procedimiento se dispone cada actividad que pertenece al proceso, junto con las opciones que podrían presentarse y cuál es la finalidad de cada una de ellas. Además, en julio del año 2020 se actualizó el estándar de diseños de mallas de perforación, que definió los parámetros recomendados para cada tipo de litología, en cuanto a BxE, tipo de explosivo, configuración de carga y mecanismo de tronadura.

Por otra parte, el programa de liderazgo en terreno potencia la práctica de ir y ver. En este se establece una serie de evaluaciones que deben hacer los supervisores mensualmente para asegurarse de que las condiciones de operación son las óptimas y así también aumentar las horas que pasan en terreno junto con sus equipos de trabajo. La fijación de objetivos se lleva a cabo con la definición de los indicadores de desempeño. Si bien los resultados son interpretables por cualquier persona, para cumplir con los sistemas de control visual, estos valores podrían hacerse extensivos a otras áreas de la organización, explicando el porqué de los desvíos del plan, si es que se presentasen.

4.5 Análisis del sistema y prácticas actuales

4.5.1 Observación de prácticas operacionales

Durante los meses en los que se analizaron las prácticas operacionales en terreno, se observaron algunas desviaciones con respecto a los mecanismos empleados en gran minería, o a los procedimientos de operación. Con respecto a las prácticas operacionales, se observaron notorias diferencias respecto de aquellas empleadas en empresas de gran minería. En primer lugar, la ausencia del sistema de alta precisión de posicionamiento GPS⁴⁰ de los equipos, junto con el sistema automático de medición de profundidad o profundímetro. Esta herramienta permite a los operadores situar el equipo en el sector exacto donde debe trabajar, y el profundímetro indica los metros perforados y metros restantes para cumplir con el diseño propuesto. Por otra parte, luego de ser perforados, los pozos no son identificados con estacas como se debe hacer, esto generaba complicaciones para el área de geología de producción que debía orientarse en el patio de perforación con ayuda de las cartillas. Esta situación hace perder tiempo y puede conducir a errores de identificación de pozos. En cuanto a esto mismo, se observó que el personal de la EPE debía volver a situarse una vez ingresado al patio, y debían medir la profundidad de cada pozo, identificándolos nuevamente, lo que generaba un retraso del proceso, que puede traducirse en incumplimiento de los planes.

⁴⁰ Global Positioning System.

Por otra parte, algunos procedimientos involucrados en la operación no estaban actualizados, lo que por reglamento debiese cumplirse. Los trabajadores deben apoyarse en los procedimientos, por lo que es muy importante que sean revisados y actualizados con la periodicidad que en ellos se indica, para así asegurar su cumplimiento, y por consiguiente trabajar bajo los estándares definidos por la compañía.

4.5.2 Entrevista a supervisores

El objetivo inicial de este trabajo era mejorar los resultados de tronaduras en ignimbrita, una roca especialmente competente que no presenta fracturas pre-existentes, y que generalmente se encuentra en zonas de contacto con grava, lo que dificulta su perforación y favorece el desprendimiento de las paredes de los pozos al ser perforados. Es por esto que se realizó una entrevista a representantes de diferentes áreas de la compañía con el fin de conocer su apreciación con respecto a la operación de perforación y cómo creían ellos que esta podría mejorarse. Se entrevistaron en total 24 representantes de las áreas de geotecnia, geología, planificación, análisis y mejoramiento, mantenimiento mina, operaciones y de la EPE. Las principales preguntas de esta entrevista fueron qué problemas generaba para su trabajo la ignimbrita, qué riesgos identificaban, tanto para personas como para equipos, cómo podría mejorarse su extracción y cómo podría mejorarse en general la operación de perforación. Las recomendaciones más recurrentes fueron consideradas en las oportunidades de mejora identificadas.

4.5.3 Encuesta a Operadores

Para incorporar la opinión del personal de primera línea en este sistema de gestión, se realizó una encuesta a los operadores de perforación de ambos equipos. La encuesta fue online, voluntaria y anónima y contó con la participación de 18 operadores. Las preguntas de esta encuesta se dividieron en 3 secciones principales. En primer lugar, se hicieron preguntas relativas a las prácticas operacionales, luego sobre el mejoramiento continuo de los procesos para finalmente conocer su opinión respecto al ambiente laboral y su perspectiva del equipo en el que se desenvuelven. Además, se agregó una sección opcional donde los operadores pudieron entregar ideas sobre cómo mejorar la operación de perforación. A raíz de esta encuesta y de la entrevista a supervisores surgieron diferentes oportunidades de mejora que fueron plasmadas en una guía para implementarlas (ver anexo 8.4).

4.5.4 Análisis de datos

Para cuantificar los resultados obtenidos y así poder visualizar de mejor forma las oportunidades de mejora, se analizaron en primer lugar los resúmenes de gerente residente, que consisten en resultados semanales y su comparación con los planes. En cuanto a la perforación se evaluó el cumplimiento de los planes en utilización y disponibilidad de los equipos, junto con las tasas de perforación alcanzadas y los metros perforados semanalmente. Como se mencionó anteriormente, el período analizado corresponde al comprendido entre septiembre del 2019 y febrero del 2020. De estos seis meses, se obtuvo información relativa a 23 semanas. Por otra parte, utilizando información de estos mismos seis meses, se analizaron los datos de perforación en cuanto a duración y metraje, así como también de detenciones y mantenciones más frecuentes.



5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Identificación de oportunidades de mejora para el sistema actual

Todas las oportunidades de mejora identificadas durante la etapa de diagnóstico del proyecto fueron desarrolladas en la guía para la implementación de mejoras presentada en el capítulo 5.3.1. En el presente capítulo se detalla el origen de dichas oportunidades de mejora y los resultados obtenidos de las observaciones en terreno, entrevistas, encuesta y análisis de datos.

5.1.1 Identificación de desviaciones del proceso según área

Luego de observar las prácticas operacionales, entrevistar a supervisores y analizar las encuestas a operadores, cumplimiento de planes y datos de perforación, se identificaron algunas desviaciones correspondientes a cada área involucrada en la operación. En la siguiente tabla se muestra cada área y las desviaciones encontradas en relación al rol que cumplen en el proceso de perforación.

Tabla 5-1: Desviaciones del proceso identificadas

Geología	Planificación mina	Planificación P&T	Operaciones
Errores en el modelo geológico de producción	Incumplimiento de planes semanales	Deficiencias en la estandarización de los diseños de malla por inexactitudes del modelo geológico	Baja utilización de equipos
Deficiente caracterización (dureza, frecuencia de fractura)	Ajustes operacionales fuera del estándar para alcanzar planes	Incumplimiento de planes de desarrollo	Incumplimiento de planes y de diseños
Datos desactualizados (no se utiliza evidencia para corregir errores del modelo)	Baja utilización de perforadoras planificada (35% aprox)		Deficiencias en el sistema de toma de datos, ausencia de sistema de alta precisión y medición de profundidad.

A partir de estas desviaciones se desarrollaron algunas actividades a implementar para mejorar las prácticas y resultados del proceso de perforación de pozos de tronadura.

5.1.2 Resultados de entrevistas

A pesar de que el tema de la entrevista era la perforación en roca ignimbrita, se utilizaron algunas recomendaciones aplicables al proceso de perforación en general, las que se identificaron como oportunidades de mejora y se dispusieron en la guía para la implementación de mejoras.

Además, en base a esta entrevista, se realizó un diagrama de causa raíz, que se muestra en la siguiente figura, donde se pueden identificar desvíos de la operación y sus principales causas, junto con la principal consecuencia, que corresponde a los malos resultados de tronadura y formación de sobre-tamaños.

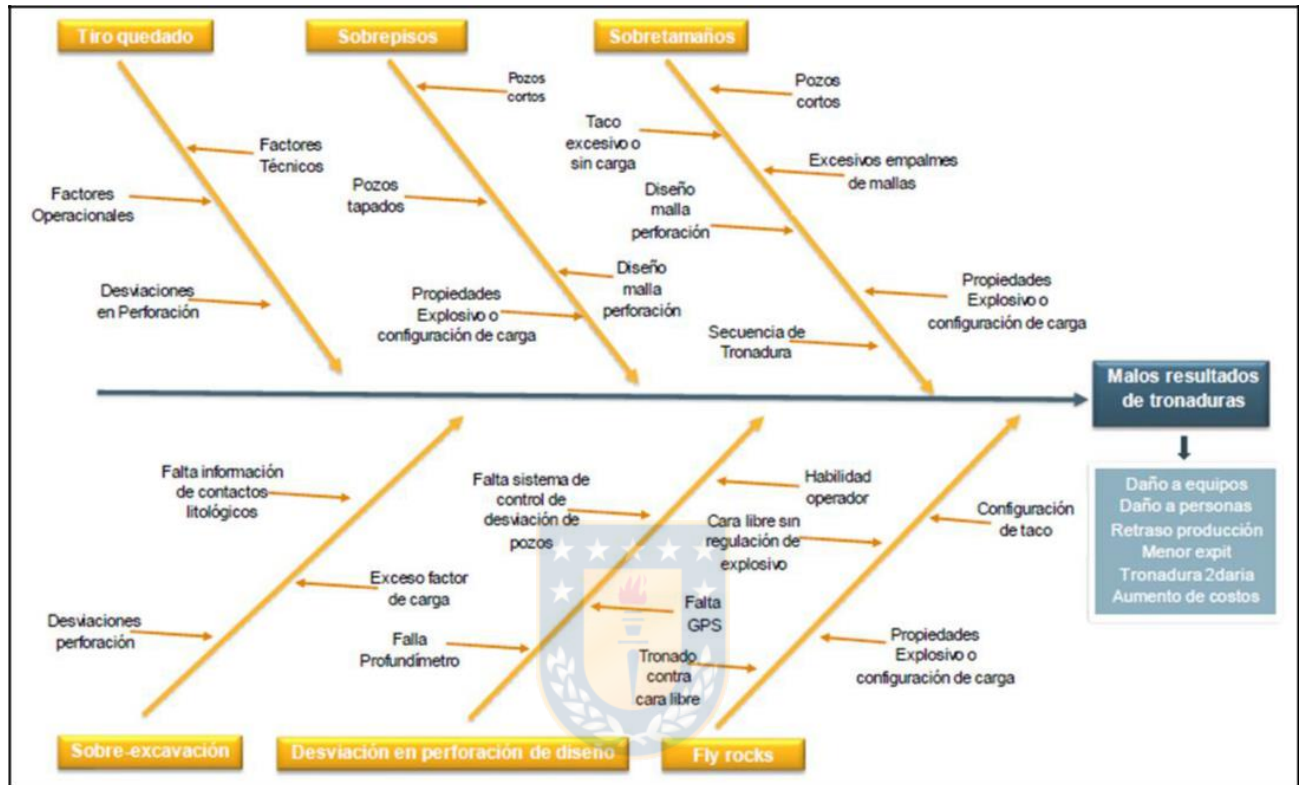


Figura 5-1: Diagrama de causa raíz para malos resultados de tronadura
(Fuente: elaboración propia)

A partir de este diagrama se identificaron las causas más recurrentes de los desvíos del proceso, para luego enfocarse en ellas a la hora de plantear algunas de las oportunidades de mejora de la guía.

5.1.3 Resultados de encuesta

De un total de 27 preguntas, hubo 10 de ellas donde la mayor parte de los participantes coincidió en su respuesta. Estas preguntas son las que tomaron mayor relevancia para la identificación de oportunidades de mejora y de ellas surgieron algunas de las actividades propuestas en la guía. En la siguiente tabla se muestran sus resultados.

Tabla 5-2: Resultados de las preguntas más relevantes de la encuesta

Pregunta	Sí	No
¿Le serviría tener mayor información sobre litología y dureza de la roca en la cartilla de perforación?	94,40%	5,60%
¿Le serviría tener una tabla con parámetros recomendados de perforación según tipo de roca?	88,90%	11,10%
¿Considera fundamental contar con el sistema de profundímetro?	88,90%	11,10%
¿Considera fundamental contar con el sistema de alta precisión?	100%	0%
¿Usted ha operado otros equipos mina?	100%	0%
¿Cree usted que la falta de operadores puede suplirse con polifuncionalidad?	83,30%	16,70%
¿Cree usted que los equipos debieran ser reparados más frecuentemente?	100%	0%
¿Se siente usted cómodo con su lugar de trabajo y entorno laboral?	100%	0%
¿Alguna vez ha participado de algún círculo de calidad, resultados rápidos u otro tipo de actividad de mejora continua?	44,40%	55,60%
¿Cree usted que debería tener mayor participación en la toma de decisiones y propuestas de mejoras?	94,40%	5,60%

5.4 Resultados del análisis de datos

Los resultados del análisis de los indicadores de desempeño se muestran en la figura 5-2.

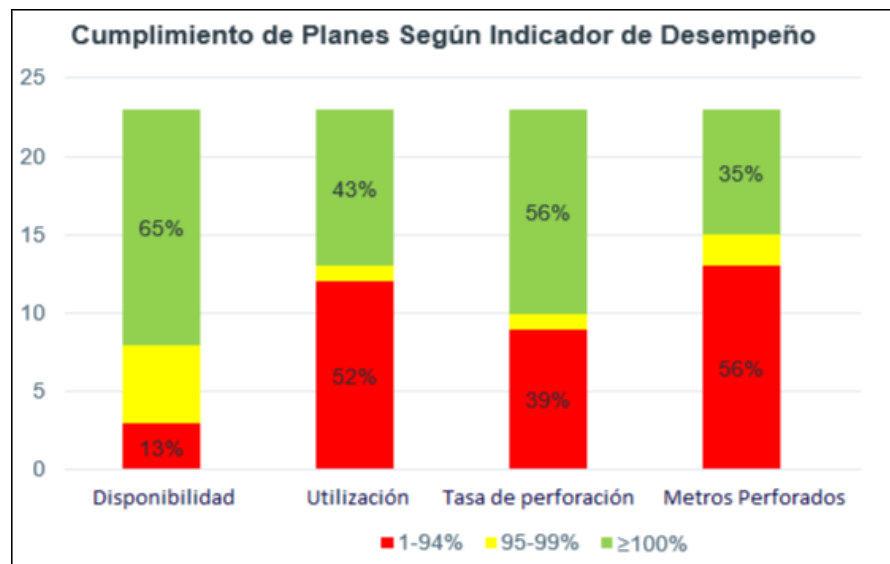


Figura 5-2: Resumen cumplimiento de planes
(Fuente: elaboración propia en base a análisis de datos)

Los colores representan el cumplimiento o incumplimiento respecto de la planificación. El reglamento interno de Cerro Colorado establece que si el cumplimiento fue entre 1 y 94%, entonces no se cumplió el plan, y se categoriza con el color rojo. Por otra parte, si el cumplimiento fue de entre 95 y 99%, entonces se considera que no se cumplió el plan pero hubo pocos desvíos, y se categoriza amarillo. El cumplimiento de planes, representado por el color verde sólo se otorga si este fue mayor o igual al 100% del planificado. A modo de ejemplo, para facilitar la comprensión de la figura, de un total de 23 semanas, los planes de disponibilidad se cumplieron en 15 de ellas, lo que representa un 65% de los casos. Por el contrario, hubo 3 semanas en las que los planes no se cumplieron, representando así la zona roja el 13% del total de semanas analizadas.

En cuanto a los datos de perforación, de un total de 10.466 valores, 1646 fueron clasificados como “outliers⁴¹” debido a que presentaban valores nulos, o excesivamente altos. Esto da cuenta de la mala calidad del sistema de toma de datos y del error al que puede conducir el ingreso manual de estos valores.

A raíz de estos resultados surgieron varias oportunidades de mejora destinadas a aumentar la utilización de los equipos de perforación, que se convirtió en uno de los objetivos planteados para la mejora del proceso de perforación en general. Esto debido a que a excepción de la disponibilidad, todos los indicadores son consecuencia de la utilización, por lo que deben destinarse los esfuerzos y recursos a aumentar este valor tanto en el planificado como en el ejecutado.

Por otra parte, de los datos de detenciones no programadas, se representaron gráficamente los resultados, para visualizar qué detenciones son las más frecuentes y así destinar las mejoras a disminuirlas. En la figura siguiente se muestra el resultado de las detenciones no programadas.



Figura 5-3: Demoras no programadas más frecuentes
(Fuente: elaboración propia en base a análisis de datos)

⁴¹ Término estadístico que hace referencia a los datos aberrantes o fuera de rangos permitidos.

Si bien la frecuencia con la que se presenta cada tipo de demora es importante, el real impacto se traduce en horas perdidas, por lo que se analizó el tiempo que duraban las detenciones, para así definir qué categoría era la que generaba mayores pérdidas operacionales. Al igual que en la figura 5-3, en la figura 5-4 la demora más significativa para la operación es aquella destinada a la limpieza y preparación del banco, con un total de 5200 horas durante los 6 meses analizados.



Figura 5-4: Horas detenidas por tipo de demora
(Fuente: elaboración propia en base a análisis de datos)

La otra categoría que genera mayor impacto en la operación es la falta de operador, donde se identificó una oportunidad de mejora incorporando personal al equipo G/H, o evaluar la posibilidad de implementar la polifuncionalidad de los operadores, capacitando a operadores de otros equipos en técnicas de perforación, para lograr suplir la falta de perforistas si es que no se pudiera aumentar la dotación.

En cuanto a las mantenciones no programadas más frecuentes, se hizo un análisis de cada equipo y cada tipo de sistema que fallaba, siendo los más comunes el sistema hidráulico y el sistema de aire acondicionado. Para ello se sugirió hacer un plan que prevea estas fallas y aumentar la frecuencia y calidad de las mantenciones enfocándose en aquellos equipos y sistemas que presenten la mayor cantidad de problemas en periodos más acotados de tiempo.

Al igual que las mejoras definidas a partir de las entrevistas, encuesta y observación de prácticas operacionales, todas las propuestas de mejora que surgieron del análisis de datos se encuentran en la guía para su implementación dispuesta en el anexo 8.4.

5.2 Aspectos que debe incluir el sistema de gestión para cumplir con ISO

5.2.1 Contexto de la organización

En cuanto al requisito que hace referencia al contexto de la organización, se determinó que debe incorporarse un sistema de análisis de satisfacción de los operadores de perforación. Ellos

deben sentir que su opinión es valorada y deben sentirse cómodos en su lugar de trabajo, pues son los actores directos del proceso. El 100% de los operadores encuestados afirmó que se siente cómodo con su trabajo y su entorno laboral, sin embargo sólo el 50% de ellos respondió positivamente a la pregunta '¿Siente usted que su experiencia y opinión es tomada en cuenta y valorada al momento de tomar decisiones?'. En este mismo contexto, el 94,4% de los encuestados considera que debería tener mayor participación en la toma de decisiones y propuestas de mejora.

Para lograr que los operadores se sientan tomados en cuenta, se propone aumentar la frecuencia de los círculos de calidad, práctica que les permite proponer mejoras para su trabajo y participar de forma activa en la toma de decisiones. Además, se propone realizar una encuesta de satisfacción mensual, con respecto a su entorno laboral, su lugar y condiciones de trabajo y la relación con su equipo de trabajo y supervisores directos.

5.2.2 Planificación

En cuanto a las acciones para abordar los riesgos y oportunidades, la organización debe hacer un análisis de factores internos y externos que interfieren en los procesos involucrados en la empresa. Dentro de los factores externos, se encuentran aquellos elementos ambientales, sociales, económicos, políticos, entre otros; y dentro de los factores internos se sitúan los métodos y estándares de trabajo, la mano de obra, materias primas, u otros. Luego de analizar los factores externos se pueden determinar amenazas y oportunidades del entorno, y a su vez, habiendo analizado los factores internos es posible establecer las fortalezas y debilidades de la organización. Con estos cuatro elementos se puede crear una matriz FODA, que es una herramienta aplicable a cualquier tipo de organización o empresa, y así gestionar de mejor forma las oportunidades que se generan al encontrar desviaciones de los procesos.

5.2.3 Apoyo

La falta de documentación con respecto a resultados dificulta la toma de decisiones basada en la evidencia. Es por esto que es fundamental generar un sistema de agrupación de información, donde se puedan almacenar reportes, informes, planillas, registros audiovisuales, u cualquier otro documento que pueda ser utilizado en un futuro para el análisis de datos y la toma de decisiones. Este sistema de almacenamiento debe organizarse según el área a la cual le corresponda cada documento, además de ordenarse por fecha, para así facilitar la búsqueda de información cuando se requiera.

Por otro lado, para eliminar la brecha de comunicación que se genera entre los operadores antiguos y los nuevos, es que deben utilizarse las instancias de capacitación o círculos de calidad para instar a los operadores más experimentados a compartir sus experiencias y así hacer que el conocimiento sea extenso a todos los actores del proceso.

5.2.4 Operación

A pesar de que las actividades involucradas en el proceso de perforación estén descritas en el procedimiento PRG-133, se confeccionó un diagrama de flujo (ver anexo 8.6) en el cual se muestra la interacción que estas tienen entre ellas y cómo aportan al sistema en el que se encuentran. Este diagrama debe ser entregado a todas aquellas personas involucradas en los procesos para que se comprenda desde un punto de vista macro cómo afecta cada actividad individual al proceso en general, y cómo deben interactuar las diferentes áreas involucradas. Además de ser entregado, este diagrama debe ser presentado para asegurar la comprensión de todos los involucrados, otorgando un espacio para aclarar dudas sobre los procesos, actividades o su interacción en el sistema.

5.2.5 Evaluación del desempeño

Si bien la evaluación de la implementación del SG no podrá realizarse, en cuanto al cumplimiento de los planes de perforación se identificaron numerosas desviaciones que fueron expuestas en el apartado 5.1.4. Para mejorar el cumplimiento del principal indicador de desempeño, la utilización de los equipos de perforación, se diseñaron actividades de la guía enfocadas en disminuir al máximo el tiempo perdido por las demoras no programadas, que son aquellas que hacen disminuir el tiempo operativo efectivo y por consiguiente la utilización de las perforadoras.

5.2.6 Mejora

Para cumplir con los requisitos relativos a la mejora continua de los procesos se agregó al diagrama de procesos un indicador para cada actividad categorizada como crítica para el proceso, en las que hay que poner especial atención al momento de evaluar el desempeño de la operación. Además, se identificó con un símbolo representativo del ciclo P-H-V-A aquellos procesos que deben pasar por las etapas de verificación y actuación para luego continuar con el siguiente. Estos pequeños ciclos generalmente corresponden a etapas donde se deben analizar las condiciones de la operación o se debe informar a los supervisores de hallazgos fuera de los estándares.

5.2.7 Procesos involucrados y su interacción en el sistema

El diagrama de procesos elaborado para la operación contempla las actividades de planificación y perforación de los pozos de producción, aplicable a cualquier tipo de mineralogía presente en la roca que se vaya a extraer.

La simbología utilizada corresponde a los elementos básicos de los diagramas de flujo indicando entradas, procesos y salidas. Además, se añadieron símbolos para representar los ciclos de 'verificar-actuar' de mejora continua y un banderín representando la actividad o documento crítico para el proceso. La figura 5-5 muestra la simbología utilizada en el diagrama de procesos.

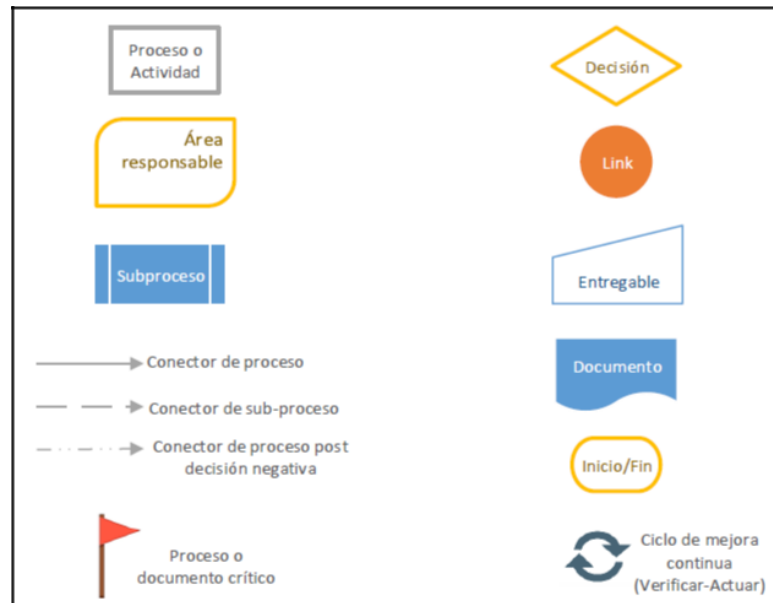


Figura 5-5: Simbología del diagrama de procesos
(Fuente: elaboración propia)

En las siguientes figuras se muestra el diagrama de procesos, desde la planificación hasta la perforación. Entendiendo que la perforación es la entrada para el proceso de tronadura, sin ser parte directa del proceso, forma parte del sistema, por lo que están incluida en el diagrama. El diagrama completo es de grandes dimensiones, por lo que fue dividido para facilitar su lectura. En el anexo 8.7 se encuentra la parte del diagrama destinada a las actividades de la EPE en tronadura.

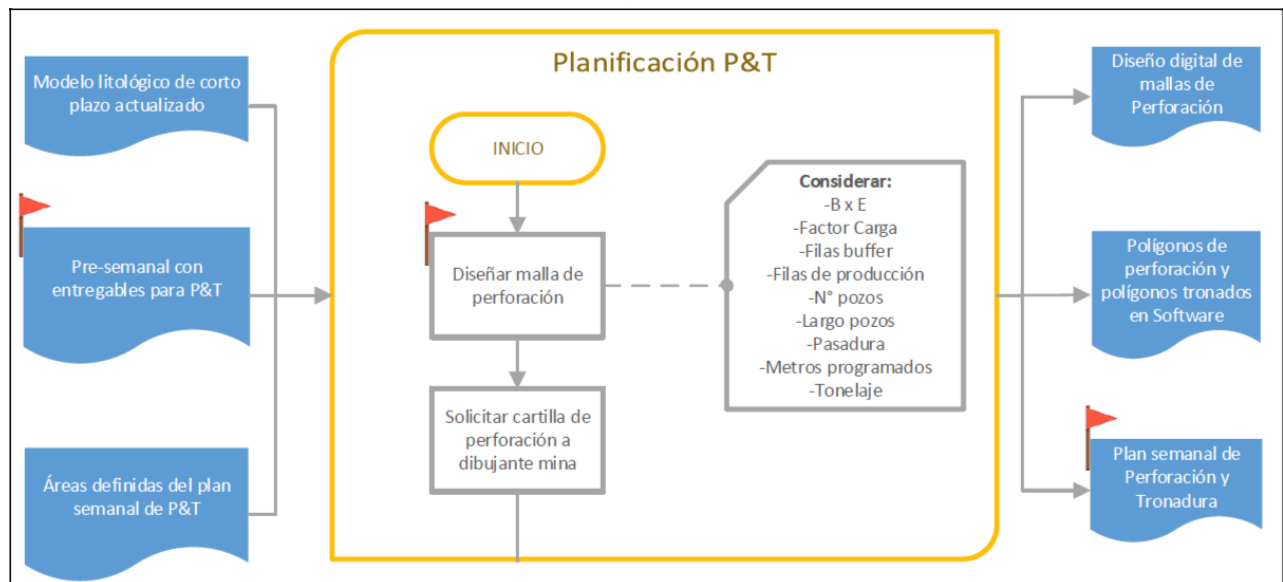


Figura 5-6: Actividades a cargo del área de planificación
(Fuente: elaboración propia)

Las actividades a cargo del área de planificación son principalmente diseñar las mallas de perforación. Para esto se utiliza el estándar diseñado, donde cada UPT tiene su propia configuración

de carga y taco, y el diámetro de perforación y diseño BxE que optimizará su explotación. Los procesos o documentos críticos para el área son el plan pre-semanal, donde se define qué sector de qué fase debe ser extraído, el diseño mismo de la malla y el plan final semanal de perforación y tronadura, donde se detalla cada malla diseñada y la fecha en la que se perforará y tronará.

En cuanto a las actividades y documentos del área de geomensura definidos en la figura 5-7, aquellos que son críticos corresponden al levantamiento topográfico, que es el que determina la profundidad real que tendrá cada pozo de tronadura y el área del polvorazo que debe ser aprobada por el área de geotecnia, quienes deben asegurarse de que las condiciones de piso y pared de banco son óptimas para proceder con las operaciones de PyT.

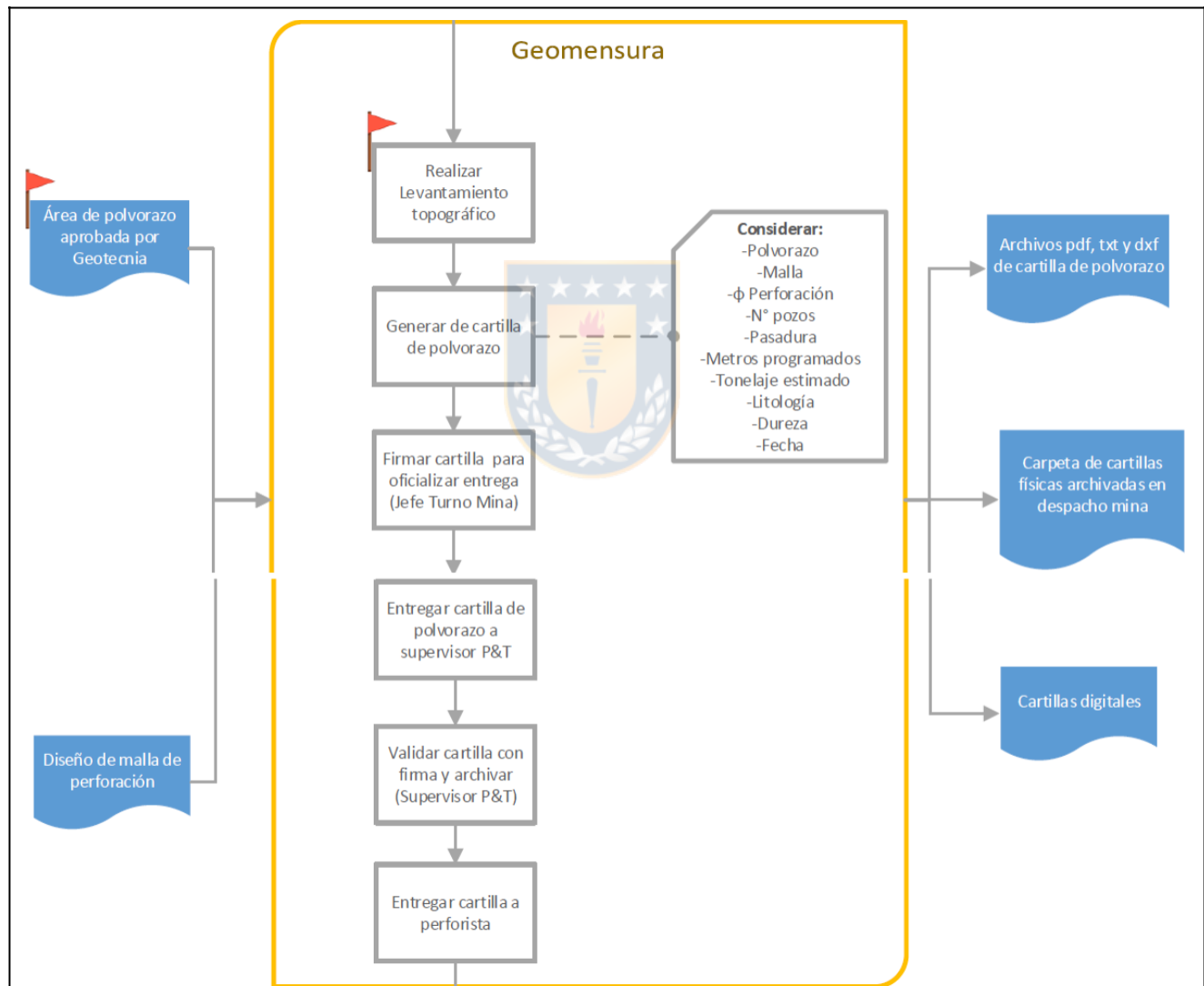


Figura 5-7: Actividades a cargo del área de geomensura
(Fuente: elaboración propia)

Para las actividades de la figura 5-8, correspondientes a la supervisión de las operaciones mina, el primer proceso crítico corresponde a la generación del patio de perforación. Este tiene como sub-procesos aquellos que se encuentran a su derecha, y que corresponden a las directrices definidas en el PRG-133. Este patio debe cumplir con las condiciones óptimas para la operación, por lo que se definió un primer ciclo de verificación de condiciones de seguridad, y la toma de medidas correctivas de ser necesario. A su vez la inspección previa tronadura de contorno es crítica para garantizar las condiciones de estabilidad de las paredes de talud antes de los procesos de PyT. Finalmente, la lista de verificación o checklist de generación de patios se clasifica como crítico pues es la forma de verificar las condiciones operativas de este, y si bien actualmente no se utiliza, esta debería considerarse por lo que se incluyó en el diagrama de procesos y en las actividades de la guía.



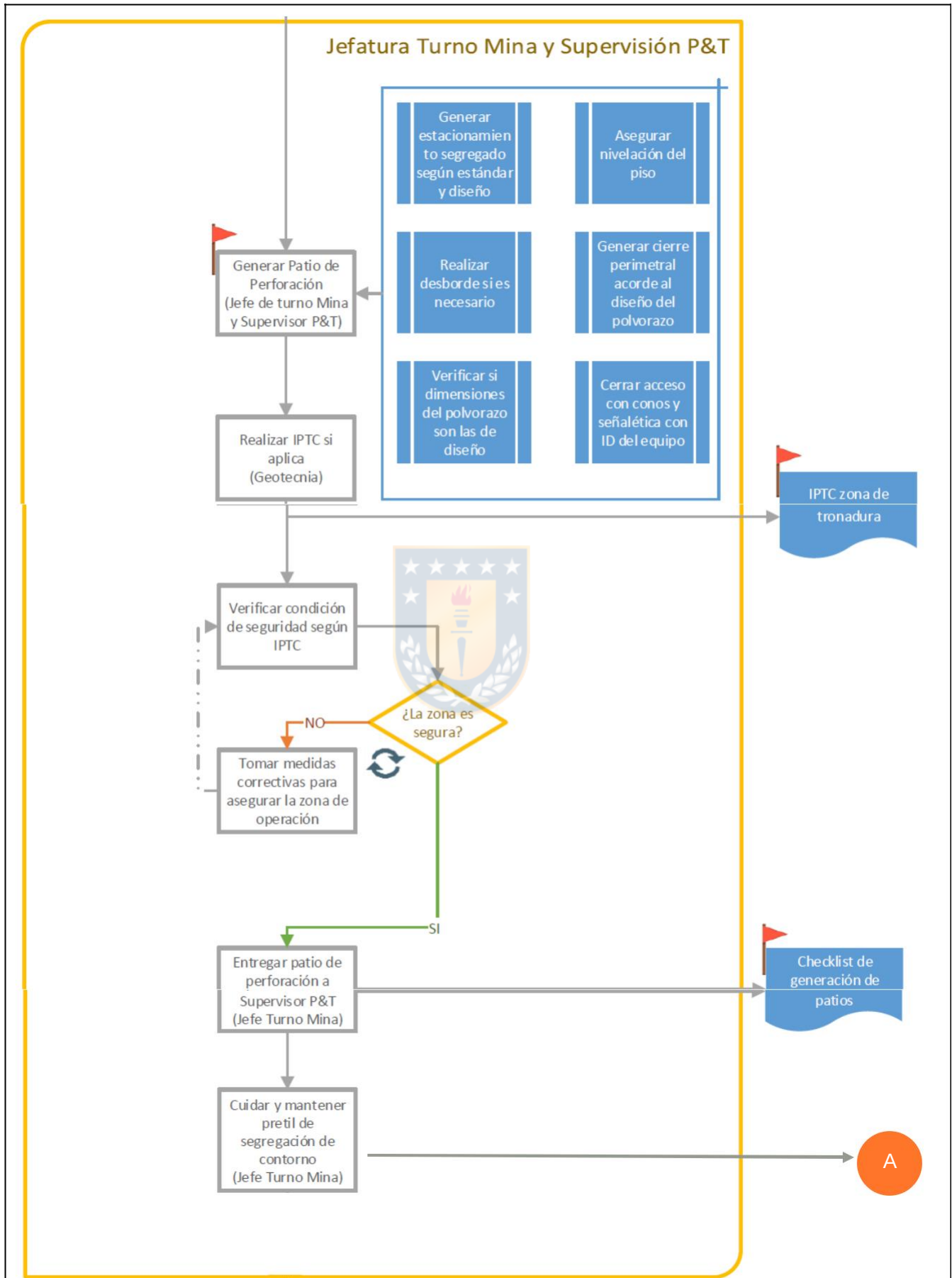


Figura 5-8: Actividades a cargo de jefe/as de turno y supervisor/as P&T
(Fuente: elaboración propia)

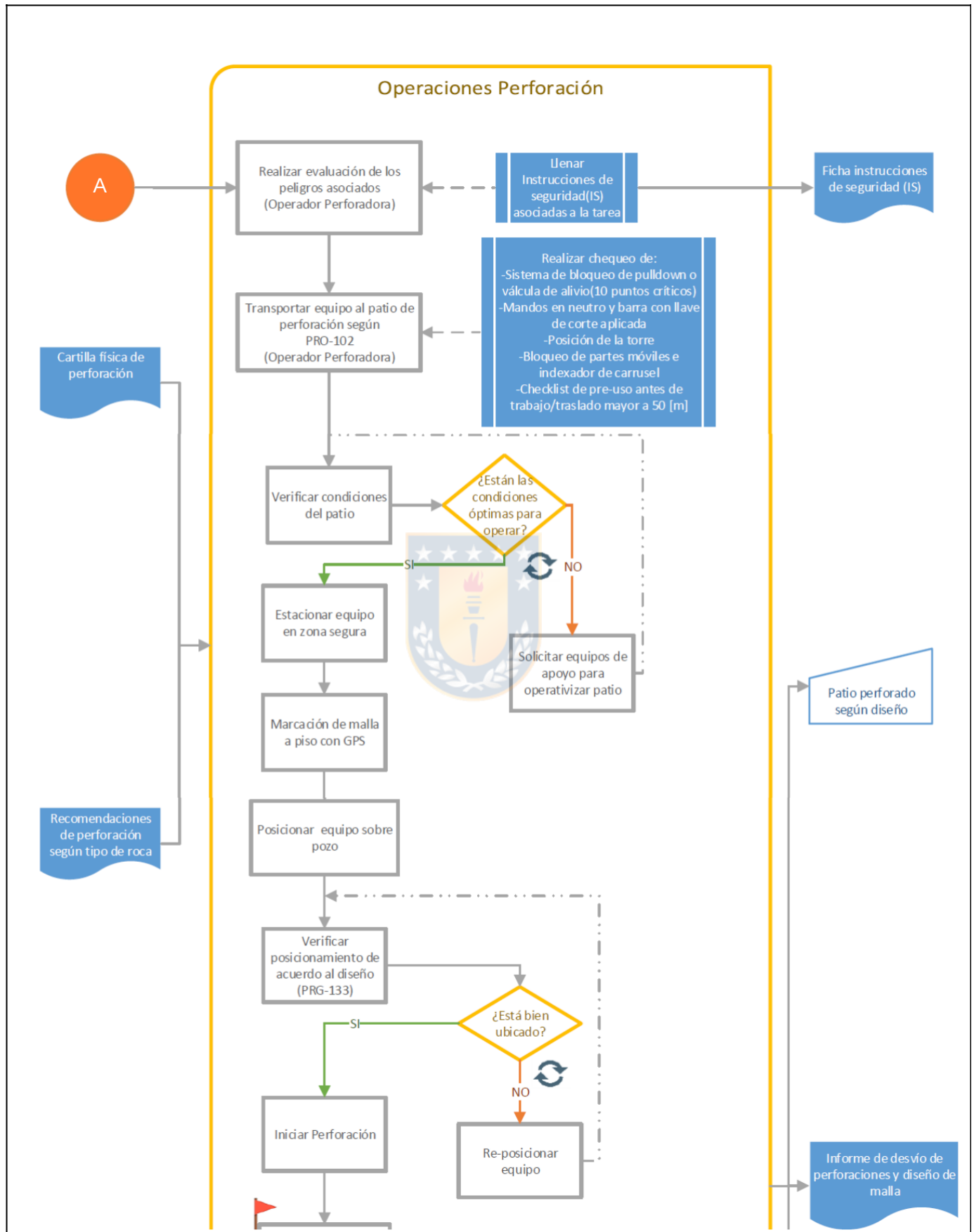


Figura 5-9: Actividades a cargo del área de operaciones
(Fuente: elaboración propia)

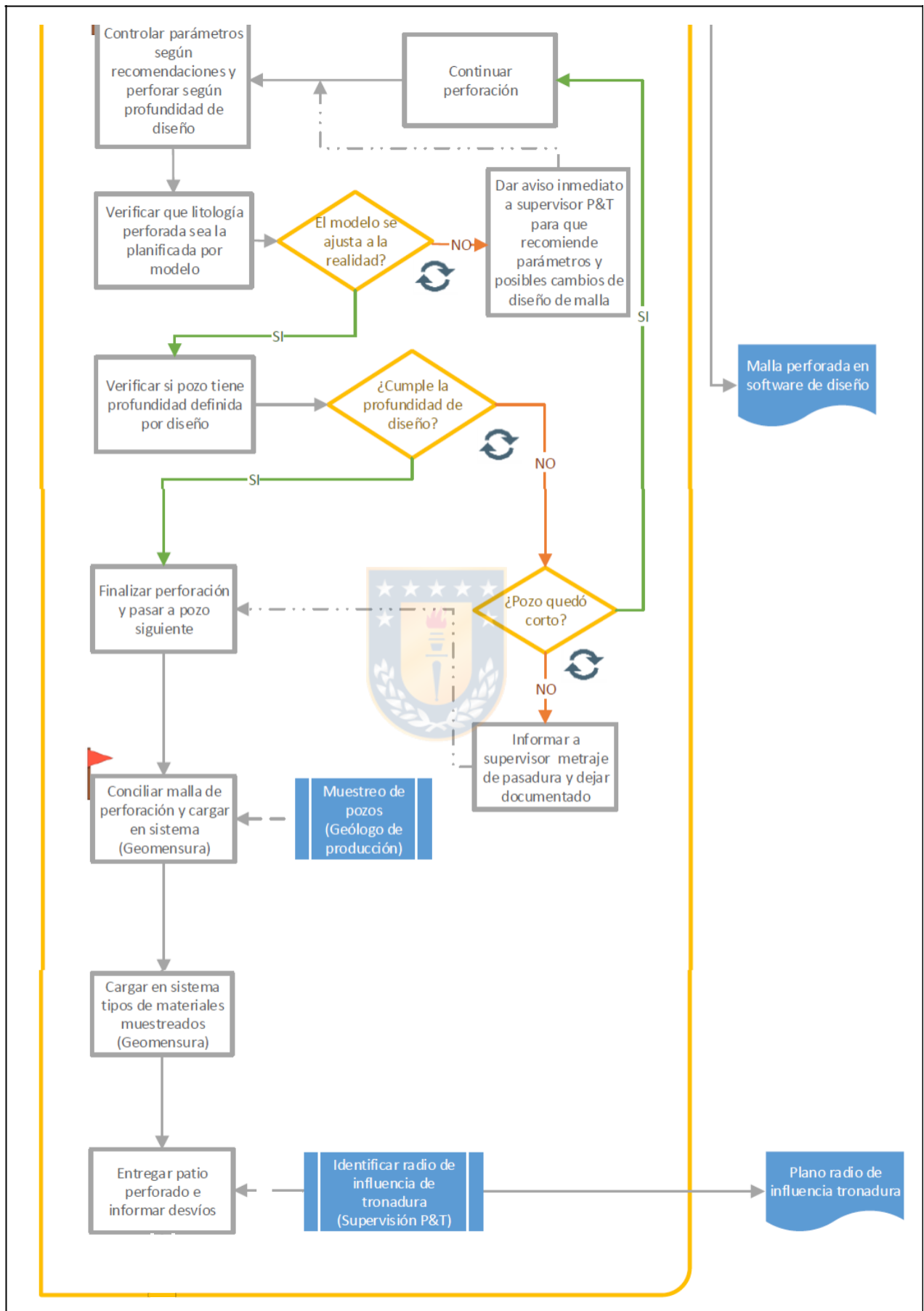


Figura 5-10: Actividades a cargo del área de operaciones

Fuente: elaboración propia

Las figuras 5-9 y 5-10 corresponden a las actividades del área de operaciones mina que para efectos de visibilidad fueron separadas en 2 imágenes. En estas aparecen nuevamente los ciclos de verificación-acción para asegurar condiciones de patio, posicionamiento de los equipos, veracidad del modelo geológico y cumplimiento de la profundidad del pozo de diseño. Además, los procesos críticos corresponden a la ejecución de la perforación siguiendo los parámetros recomendados que deben a su vez actualizarse según como se detalla en la guía, y la conciliación de las mallas perforadas por el equipo de geomensura, donde se rendirá cuenta del total de pozos perforados, su ubicación y profundidad, información que será útil para analizar el cumplimiento de los planes.

5.3 Aspectos que debe incluir el sistema de gestión para cumplir con BOS

5.3.1 Mejoras a implementar para cumplir con los valores BOS

Para dar cumplimiento a los valores BOS de ‘aspirar a la perfección operativa’ y ‘capacitar a nuestra gente’, se elaboró una guía metodológica para la implementación de mejoras (ver anexo 8.4). Esta fue validada y presentada a representantes de las áreas involucradas en el proceso de perforación. El enfoque de esta guía fue entregar soluciones de bajo costo para mejorar las prácticas y resultados operacionales. En ella también se detalla la categorización de estas actividades para priorizar su implementación según los requerimientos de la empresa. En la siguiente tabla se detalla la lista de las actividades a implementar:

Tabla 5-3: Lista de mejoras a implementar

Actividad	Valor que representa
Actualizar formato de cartillas de perforación como indica el documento PRO- 532.	Aspirar a la perfección operativa
Confeccionar una tabla de parámetros recomendados de perforación como indica el documento PRO-102, e incorporarla a equipos.	Aspirar a la perfección operativa
Identificar zonas de contacto grava-ignimbrita, incorporándolas al modelo geológico.	Aspirar a la perfección operativa
Mejorar calidad de información captada por el sistema de toma de datos de perforadoras.	Aspirar a la perfección operativa
Reparar sistema de toma de datos de perforadoras.	Aspirar a la perfección operativa
Implementar alternativa al sistema de alta precisión y al sistema automático de medición de profundidad.	Aspirar a la perfección operativa
Evaluar incorporación de sistema de aditivo de perforación (u otra técnica) para evitar derrumbe de pozos.	Aspirar a la perfección operativa

Asegurar disponibilidad de camión cama baja para traslado de perforadoras.	Aspirar a la perfección operativa
Aumentar la utilización de las perforadoras para cumplimiento de los planes.	Aspirar a la perfección operativa
Aplicar checklist de generación de patios expuesto en el PRO-102 para asegurar condiciones óptimas.	Aspirar a la perfección operativa
Mejorar planificación de desarrollos haciendo ajustes según disponibilidad de equipos de apoyo.	Aspirar a la perfección operativa
Estandarizar el tiempo de desarrollo de patios para facilitar el cumplimiento de planes.	Aspirar a la perfección operativa
Aumentar dotación de grupo G/H.	Aspirar a la perfección operativa
Implementar polifuncionalidad de operadores.	Aspirar a la perfección operativa
Estandarizar duración de mantenciones según tipo de falla.	Aspirar a la perfección operativa
Elaborar plan que prevea fallas más comunes, según la frecuencia que se presentan en cada equipo.	Aspirar a la perfección operativa
Hacer seguimiento de Mantenciones para intentar disminuir al máximo los imprevistos.	Aspirar a la perfección operativa
Actualizar y revisar procedimientos.	Aspirar a la perfección operativa
Gestionar 'Team' ⁴² Perforación y Tronadura.	Aspirar a la perfección operativa
Realizar control propio de granulometría obtenida.	Aspirar a la perfección operativa
Instruir a operadores en perforación según los tipos de roca presentes en el yacimiento.	Involucrar y capacitar a toda la organización
Instruir a operadores en técnicas de perforación para evitar derrumbe de pozos.	Involucrar y capacitar a toda la organización
Instruir a operadores en técnicas de perforación para pozos inclinados, acople de 3 barras, u otras que se requieran implementar.	Involucrar y capacitar a toda la organización
Aumentar difusión y aplicación de herramientas de mejora continua.	Involucrar y capacitar a toda la organización
Sincronizar ambos equipos en cuanto a prácticas y documentos entregados.	Involucrar y capacitar a toda la organización

⁴²Equipo o grupo.

5.3.2 Prácticas BOS aplicables al sistema de gestión

Si bien el sistema operativo de BHP se está incorporando a todas las actividades de la operación, hay algunas prácticas que son especialmente útiles para el proceso de perforación. En primer lugar, las 5S permiten mantener una zona de trabajo ordenada para los operadores, y es la práctica más utilizada en las operaciones. La resolución práctica de problemas está directamente ligada al ciclo PHVA, concepto que es más conocido entre los operadores y que ha sido difundido por el área de mejoramiento continuo. Para facilitar el empleo de este tipo de resolución de problemas, el área de mejoramiento continuo debe capacitar a los líderes de cada área y operación para que ellos sean capaces de implementarla y transmitir los conocimientos a sus respectivos equipos, facilitando la retroalimentación activa y la colaboración de todos los niveles de la organización para la toma de decisiones.

Por otra parte, los círculos de calidad son una de las prácticas más utilizadas para proponer soluciones rápidas involucrando a los operadores en la toma de decisiones. Sin embargo, en cuando al proceso de perforación, según resultados de la encuesta efectuada, sólo el 50% de los operadores ha participado de un círculo de calidad y hace casi 2 años que no se realiza uno para esta operación en particular. Es por esto que se sugirió en la lista de actividades de la guía el establecer una periodicidad para aplicar estas herramientas y así asegurarse de que todos los operadores puedan involucrarse en la propuesta de oportunidades de mejora y en las soluciones.

Finalmente, el trabajo estandarizado se potenciará si se cumple con los estándares de diseño de malla y los procesos definidos en el diagrama, que son aplicables a la perforación de cualquier tipo de litología presente. Además se trabajar bajo la organización del diagrama, el procedimiento PRG-133 debe ser la guía para cada actividad relacionada con el proceso de perforación.

5.4 Discusión de resultados

Con respecto al análisis realizado del actual proceso de perforación en Compañía Minera Cerro Colorado, se identificaron tres principales tipos de desviaciones.

En primer lugar, el incumplimiento de los planes, que se evidenció por los resultados expuestos en los resúmenes semanales de gerente residente, da cuenta de los problemas que presenta el proceso en cuanto a los equipos de perforación y equipos auxiliares. La utilización de los equipos no superó en ninguna de las semanas analizadas el 45%, lo que se debe fundamentalmente a la gran cantidad de tiempo perdido en demoras y mantenciones no programadas, donde inciden en gran parte la disponibilidad de equipos de apoyo con los que cuentan las operaciones y la calidad de los equipos de perforación y sus respectivas mantenciones. La falta del sistema de alta precisión y de medición automática de profundidad es una de las principales causas de los desvíos en el diseño de las mallas de perforación, provocando estas

deficiencias en el proceso de tronadura, generando sobre tamaños no deseados sobre todo en las fases donde se encuentra la roca ignimbrita.

Por otra parte, mediante las observaciones en terreno y la encuesta a operadores, se identificaron falencias con respecto a la disciplina operacional, tanto de supervisores como de operadores. Si bien actualmente el documento PRG-133 detalla cómo debe efectuarse cada una de las actividades relacionadas con los procesos de perforación, hay aún algunas que no se llevan a cabo de la forma correcta, en especial en cuanto a la verificación de las condiciones de los patios previo a la etapa de perforación.

En tercer lugar, con respecto a la organización, las deficiencias más relevantes fueron la baja participación de los operadores en la toma de decisiones, evidenciándose en la encuesta por su poco conocimiento con respecto a las herramientas de mejora continua, y la poca participación que han tenido, mencionando además que estas prácticas no se realizan de forma periódica. Además, la ausencia de un área de perforación y tronadura provoca que no se documente toda la información y resultados que se obtienen, y que el control de los procesos no tiene responsables definidos, por lo que muchas veces no se le otorga la real importancia y relevancia que tienen estos procesos en la cadena productiva.

Los aspectos positivos que se observaron del actual sistema para el proceso de perforación son principalmente relacionados a las condiciones laborales. Por las observaciones en terreno y la encuesta realizada a los operadores, se determinó que el mecanismo de gestión de riesgos es conocido por todos los involucrados y garantiza la seguridad tanto de personas como de equipos. A su vez, el ambiente laboral y la relación con sus compañeros y supervisores fueron calificados como muy buenos por la totalidad de los encuestados, lo que también permite que ellos se sientan seguros y orgullosos de su trabajo, lo que aumenta su productividad. Si bien el documento PRG-133 debe incorporar algunos conceptos adicionales, es una buena guía para la operación y si se aplica en conjunto con el diagrama de procesos elaborados, la operación se acercará a la excelencia operativa, sin tener que recurrir a grandes inversiones de capital.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través de la etapa de diagnóstico de este proyecto se lograron identificar numerosas desviaciones del proceso de perforación con respecto a los estándares internacionales establecidos en la norma ISO 9001:2015 y a aquellos pertenecientes al sistema operativo de BHP.

A pesar de no ser un producto o servicio como tal, al proceso de perforación pueden aplicársele varios de los requisitos establecidos en la norma y en BOS, siendo el enfoque principal de estos la aspiración a la excelencia operacional y la mejora continua.

Como se menciona en la doctrina del sistema operativo de BHP, la utilización de capital económico debe ser la última opción en la propuesta de mejoras. Sin embargo, para el proceso de perforación hay componentes que requieren de una inversión para poder disminuir las desviaciones y prevenir que vuelvan a ocurrir. Estos son habilitar los sistemas automáticos de medición de profundidad y de posicionamiento de alta precisión. Originalmente, los equipos de perforación utilizados cuentan con este tipo de sistemas, por lo que sus mantenciones deben hacerse periódicamente, evitando posibles fallas a futuro. Es por esto que para el caso del proceso de perforación en CMCC a pesar de que se propusieron numerosas oportunidades de mejora, debe recurrirse a una inversión para habilitar estos sistemas en los equipos y así lograr disminuir la mayor cantidad de desvíos asociados a la operación.

Por otra parte, se destaca la cultura y valores de la empresa, que han sido extensivos a todos los niveles de la organización, lo que se ve reflejado en el ambiente laboral y los mecanismos de gestión de riesgos conocidos y aplicados por todos. Sin embargo, los desvíos del proceso se deben a la falta de disciplina operacional. A pesar de que la compañía haya definido procedimientos de operación y gestión, estos no son utilizados por todos los actores de los procesos, lo que genera que las actividades no se realicen como se planifican, lo que puede llevar a desviaciones de los resultados y riesgos tanto para personas como para los equipos.

Finalmente, se concluye que los líderes de cada equipo son los responsables de educar e incentivar a sus trabajadores para que se involucren con los cambios que debe realizarse al actual sistema de perforación, y así aspirar a la excelencia operativa, mejorando así la disciplina operacional. Es por esto que tanto líderes como operadores deben estar en constante capacitación y aprendizaje para integrar sus conocimientos técnicos con la gestión de los procesos, y así poder mejorar continuamente.

Como se mencionó anteriormente, la principal recomendación para mejorar las prácticas y resultados de los procesos de perforación de pozos de producción en CMCC corresponde a implementar la guía de mejoras propuesta, haciendo un seguimiento de sus resultados y ajustando las actividades de acuerdo a los requerimientos de la empresa. También debe reforzarse la disciplina operacional, y mantener en constante aprendizaje a los operadores, facilitando así su capacitación y generando instancias para que puedan compartir sus conocimientos con los otros integrantes de sus equipos de trabajo.

Además, se sugiere formar un equipo interdisciplinario con representantes de las áreas de planificación, operaciones mina, geología, geotecnia y personal de la empresa proveedora de explosivos con el fin de hacer un seguimiento a los resultados de los procesos de perforación y tronadura. Se recomienda realizar reuniones semanalmente con objetivo de exponer los resultados para encontrar en conjunto oportunidades de mejora y comenzar a documentar los resultados para así en un futuro poder tomar decisiones en base a la evidencia disminuyendo el riesgo de implementar medidas cuya eficacia no haya sido comprobada y que puedan provocar pérdidas para la compañía.

La última recomendación para la organización, es que para implementar el nuevo sistema de gestión deben definirse líderes que tendrán como misión formar a sus equipos con respecto a los beneficios que trae a la larga la implementación de estas herramientas, siempre haciéndolos partícipes de la toma de decisiones y vinculándolos activamente con todas aquellas actividades que se realicen para el cumplimiento de los objetivos propuestos. Manteniendo a sus equipos motivados es que se lograrán alcanzar la excelencia operativa y los estándares de calidad, lo que le otorgará a la compañía un valor por sobre la competencia y garantizará también la seguridad de los equipos, procesos y personas.

7 REFERENCIAS

- Ade, M., & Deshpande, V. S. (2012). Lean manufacturing and productivity improvement in coal mining industry. *International Journal of Engineering Research and Development*.
- BHP. (2019). *BHP Doctrina del sistema operativo*. <https://doi.org/BOS-Doctrine-V2.0>
- BHP Billiton. (2016). *Time Usage Model Our Requirements* (Vol. 1, pp. 1–9). Vol. 1, pp. 1–9.
- C. Lopez Jimeno; E.Lopez Jimeno y F. Ayala Carcedo. (1995). Drilling and Blasting of Rocks. In *Drilling and blasting of rocks*.
- Cisternas, V. (2016). *Implementación de lean al proceso de perforación y tronadura del Rajo Sur - División el Teniente - CODELCO Chile*.
- Cochilco. (2013). *Minería en Chile : Impacto en Regiones y Desafíos para su Desarrollo*. 260.
- Cochilco. (2019). *Anuario de estadísticas del cobre y otros metales 2000-2019*.
- Emprendedores. (2016). *Cuál es el origen de la metodología ágil?* Retrieved from <https://www.emprendedores.es/crear-una-empresa/programacion-software-startups/>
- González, C. C. (2018). Proyección de la producción de cobre en. *Dirección de Estudios y Políticas Públicas Por*.
- Illanes, J. y A. C. S. A. (2013). *EIA Proyecto : “ Continuidad Operacional Cerro Colorado .”*
- Klippel, A., Petter, C., & Antunes Jr., J. (2008). *Lean management implementation in mining industries*.
- Medic, S., Karlovic, B., & Cindric, Z. (2016). New Standard ISO 9001:2015 and its Effect on Organisations. In *Interdisciplinary Description of Complex Systems* (Vol. 14). <https://doi.org/10.7906/indexs.14.2.8>
- Medina, J. P. (2017). Desarrollo del Sector Minero en Chile y sus Consecuencias Macroeconómicas. *Valor Minero Chile*, 46(1), 1–13. Retrieved from <http://valorminero.cl/wp/wp-content/uploads/2017/03/ESTUDIO-MACROECONÓMICO.pdf>
- Progressa Lean. (2015). Origen y evolución del lean manufacturing. 22 Mayo. Retrieved from <https://www.progressalean.com/origen-y-evolucion-del-lean-manufacturing/#:~:text=A finales>

del siglo XIX, el fundador del Grupo Toyota. Fue Eiji Toyoda quien aumentó, Toyota Production System (TPS).

Reporte Minero. (2019). Quant obtiene certificación ISO 45001 en Chile. *Quant Obtiene Certificación ISO 45001 En Chile*. Retrieved from <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2019/05/quant-obtiene-certificacion-iso-45001-en-chile>

Reporte Minero. (2020, February). Codelco y BHP comparten experiencias sobre metodología C+. *Codelco y BHP Comparten Experiencias Sobre Metodología C+*. Retrieved from <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2020/02/codelco-y-bhp-comparten-experiencias-sobre-metodologia-c>

Revista Minería Chilena. (2016, September). “Cátodo Gaby” logró registro de marca en bolsa de comercio de futuros de metales Comex. *“Cátodo Gaby” Logró Registro de Marca En Bolsa de Comercio de Futuros de Metales Comex*. Retrieved from <https://www.mch.cl/2016/09/22/catodo-gaby-logro-registro-bolsa-comercio-futuros-metales-comex/#>

Revista Minería Chilena. (2019, September). Minera Meridian El peñón celebra dos años de excelencia operacional. *Minera Meridian El Peñón Celebra Dos Años de Excelencia Operacional*. Retrieved from <https://www.mch.cl/2019/09/25/141200/>

Revista rubro minero. (2020). No Title. Retrieved from <http://www.rumbominero.com/noticias/mineria/minera-poderosa-recibe-recertificacion-internacional/>

Revista tinto noticias. (2020). No Title. Retrieved from <https://tintonoticias.com/la-mina-de-riotinto-logra-dos-certificados-en-materia-de-calidad-y-medio-ambiente/>

Singh, P. K., Roy, M. P., Paswan, R. K., Sarim, M., Kumar, S., & Ranjan Jha, R. (2016). Rock fragmentation control in opencast blasting. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8(2), 225–237. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.10.005>

Yanocha certificaciones. (2011). No Title. Retrieved from <http://www.yanacochoa.com/certificaciones/>

8.2 Ejemplos de implementación de metodología Lean y certificación ISO 9001:2015 en la minería mundial

La implementación de metodologías Lean puede efectuarse en cualquier ámbito e industria, aumentando la productividad y disminuyendo los costos de producción. En la industria minera, puede llevar a significativas mejoras en cuanto a calidad de las condiciones laborales y disminución de las pérdidas por tiempos en espera, así como también a un aumento del tiempo destinado a actividades que entregan valor a los procesos (Klippel, A., Petter, C., & Antunes Jr., 2008).

En el caso específico de una mina de carbón, la implementación de la filosofía Lean aumentó en un 26% la eficiencia y efectividad de la mano de obra, lo que se tradujo en un aumento global del 17% de la producción (Ade, M., & Deshpande, 2012).

El 2010, Minera Yanacocha logró certificarse en ISO 9001:2008 (actualización anterior a la vigente), con lo que generó una cultura preventiva y de mejora continua en el control de los procesos y el desarrollo de la organización en todos sus niveles (Yanocha certificaciones, 2011).

La empresa peruana Compañía Minera Poderosa comenzó el 2007 un trabajo para lograr cumplir los estándares de calidad de eficiencia y seguridad, obteniendo en 2009 la certificación ISO 9001:2015(gestión de la calidad) ISO 14001: 2015 (gestión ambiental) y OHSAS 18001:2007 (Gestión de seguridad y salud). Con esto generaron un sistema de gestión integral que cumple con los mayores estándares internacionales, lo que les otorga un valor adicional por sobre el mercado, y un control eficiente de los procesos de la empresa acogiéndose a la normativa legal vigente (Revista rubro minero, 2020).

Atalaya Rio tinto Minera, en junio del 2020 obtuvo la certificación en las normas ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015 para sus operaciones en el yacimiento onubense, con lo que pudieron asegurar su compromiso con la mejora continua y las buenas prácticas operacionales, siendo eficaces en la gestión ambiental y de la calidad, asegurando a su vez una operación con altos estándares de seguridad y salud laboral, gracias a su reciente certificación OHSAS 18001. Con estas certificaciones, Atalaya corrobora que los ejes principales de su operación son la protección del medioambiente y la responsabilidad y orientación hacia la excelencia operacional (Revista tinto noticias, 2020).

8.3 Parámetros de diseño del rajo y botaderos.

Tabla 8-1: Parámetros de diseño de la mina

Calidad de roca en el rajo		Altura de banco [m]	Ancho de berma [m]	Ángulo global de talud [°]
Muy mala	Estéril	15	8	38-40
	Mineral	10	6	38-40
Regular a buena	Estéril	15	8	44
	Mineral	10 o 20	6 o 10	44

Tabla 8-2: Parámetros de diseño de los botaderos

Botadero	Altura de capas [m]	Ancho de berma [m]	Ángulo de talud [°]
Lastre Sur	30-90	35-50	36-37
Lastre Oeste	40-80	50	36-37
Ripios 2	40-60	40	36-37
Ripios 1	40-60	40	37



8.4 Guía para la implementación de mejoras al proceso de perforación en CMCC

BHP

**GUÍA PARA IMPLEMENTAR MEJORAS EN LA
OPERACIÓN DE PERFORACIÓN DE
PRODUCCIÓN EN COMPAÑÍA MINERA CERRO
COLORADO, BHP**



María Jesús Martínez Valdés

Memorista SI Planificación de Producción

Cerro Colorado, BHP

Julio 2020

Índice de Contenidos

1. Objetivo y Alcances:	3
2. Definición de términos aplicados en los sistemas de gestión de calidad (ISO 9001:2015).	3
3. Enfoque:	4
4. Desarrollo:	5
4.1 Clasificación y priorización de actividades	5
4.2 Oportunidades de mejora propuestas para aspirar a la perfección operativa	6
1. Actualizar formato de cartillas de perforación como indica el documento PRO-532	6
2. Confeccionar una tabla de parámetros recomendados de perforación como indica el documento PRO-102, e incorporarla a equipos.	7
3. Identificar zonas de contacto grava-ignimbrita, incorporándolas al modelo geológico.	8
4. Mejorar calidad de información captada por el sistema de toma de datos de perforadoras.	8
5. Reparar sistema de toma de datos de perforadoras.	9
6. Habilitar sistema de alta precisión y profundímetro (alternativa).	9
7. Evaluar incorporación de sistema de aditivo de perforación (u otra técnica) para evitar derrumbe de pozos.	10
8. Asegurar disponibilidad de camión cama baja para traslado de perforadoras.	10
9. Compra de equipo camión cama baja para traslado de perforadoras.	11
10. Aumentar la utilización de las perforadoras para cumplimiento de los planes.	11
11. Aplicar checklist de generación de patios expuesto en el PRO-102 para asegurar condiciones óptimas.	12
12. Mejorar planificación de desarrollos haciendo ajustes según disponibilidad de equipos de apoyo.	12
13. Estandarizar el tiempo de desarrollo de patios para facilitar el cumplimiento de planes.	12
14. Aumentar dotación de grupo G/H.	12
15. Implementar polifuncionalidad de operadores.	13
16. Estandarizar duración de mantenciones según tipo de falla.	13
17. Elaborar plan que prevea fallas más comunes, según la frecuencia que se presentan en cada equipo.	14

CERRO COLORADO | BHP

18. Hacer seguimiento de Mantenciones para intentar disminuir al máximo los imprevistos.....	14
19. Actualizar y revisar procedimientos.....	14
20. Gestionar Team Perforación y Tronadura.....	15
21. Realizar control propio de granulometría obtenida.....	15
22. Instruir a operadores en perforación según los tipos de roca presentes en el yacimiento.....	16
23. Instruir a operadores en técnicas de perforación para evitar derrumbe de pozos.....	17
24. Instruir a operadores en técnicas de perforación para pozos inclinados, acople de 3 barras, u otras que se requieran implementar.....	17
25. Aumentar difusión y aplicación de herramientas de mejora continua.....	18
26. Sincronizar ambos equipos en cuanto a prácticas y documentos entregados.....	19
5. Anexos.....	20
5.1. ANEXO 1: Categorización de Actividades.....	20
5.2. ANEXO 2: Detalle de factibilidad e impacto de cada actividad.....	22
5.3. ANEXO 3: Minuta reunión perforación y tronadura.....	24

**Índice de Ilustraciones**

Ilustración 1: Estructura de principios BOS.....	4
Ilustración 2: Categorización de actividades según impacto y factibilidad.....	5
Ilustración 3: Ejemplo de clasificación de durezas.....	6
Ilustración 4: Ejemplo de cartilla de perforación actualizada.....	6
Ilustración 5: Tabla de parámetros recomendados (PRO-102).....	7

1.Objetivo y Alcances:

El presente documento es aplicable a la operación de perforación de pozos de tronadura en Compañía minera Cerro Colorado. Su objetivo es identificar oportunidades e implementar soluciones para mejorar las prácticas y resultados operacionales.

Se observaron prácticas operacionales y se analizaron resultados de perforación y tronadura pertenecientes al período comprendido entre septiembre del 2019 y febrero del presente año.

Los documentos analizados fueron resúmenes de gerente residente y bases de datos de perforación, mantenciones y demoras de los equipos.

Además, se realizó una entrevista a supervisores de las áreas de geología, planificación, geotecnia, M&R, operaciones, ENAEX, mantenimiento y A&I, junto con una encuesta a operadores de perforación, de las cuales se obtuvieron algunas propuestas de mejora.

Se identificaron numerosas oportunidades de mejora asociadas a desvíos operacionales e incumplimiento de planes, las cuales aquí se detallan junto con un paso a paso a seguir para implementarlas.

Estas actividades pueden entenderse a su vez como acciones correctivas para la operación de perforación, con el fin de mejorar el desempeño y cumplir con los planes de desarrollo, así como también con los estándares de calidad establecidos en el sistema operativo de BHP.

2. Definición de términos aplicados en los sistemas de gestión de calidad (ISO 9001:2015).

Sistema: Conjunto de elementos que interrelacionados o que interactúan.

Gestión: Actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización. Puede incluir el establecimiento de políticas, objetivos y procesos para lograr estos objetivos.

Organización: Persona o grupo de personas que tienen sus propias funciones con responsabilidades, autoridades y relaciones para el logro de sus objetivos.

Mejora: Actividad para aumentar el desempeño.

No conformidad: Incumplimiento de un requisito.

Acción correctiva: Acción para eliminar la causa de una no conformidad y prevenir que vuelva a ocurrir.

3. Enfoque:

Los tres pilares fundamentales de BOS (BHP operating system) son: Servir a nuestros clientes, aspirar a la perfección operativa e involucrar y capacitar a toda la organización, estructura que se muestra en la ilustración 1, junto con los principales objetivos de la compañía.

Las oportunidades de mejora identificadas para aplicar en la operación de perforación están enfocadas en la disciplina operacional. Considerando el sistema operativo de BHP, la aspiración a la perfección operativa y capacitación de las personas en todos los niveles de la organización son los principios que pueden garantizar esta disciplina, y es en base a esto que se proponen las acciones de esta guía.



Ilustración 1: Estructura de principios BOS

4. Desarrollo:

4.1 Clasificación y priorización de actividades

Cada oportunidad de mejora aquí expuesta requiere del compromiso de las áreas involucradas, así como también de tiempo para implementarla y recursos ya sean económicos o de personal. A su vez, cada mejora traerá consigo diferentes beneficios y generará un impacto en los distintos procesos de la operación. Es por esto que es fundamental realizar una categorización para definir qué acciones son las más rápidas y fáciles de implementar, así como también cuáles generarán un mayor impacto en los resultados.

Se establecieron entonces 4 categorías, para lograr incorporar factibilidad de implementación y el impacto o beneficio generado. En el ANEXO 1 se encuentra la lista de oportunidades de mejora, identificadas por un número y clasificadas dentro de las 4 categorías de priorización. En la siguiente ilustración se muestra la clasificación según actividades. En el ANEXO 2 se encuentra la tabla que detalla los requerimientos e impactos de cada actividad, junto con la ponderación que se le asignó a cada uno de estos.

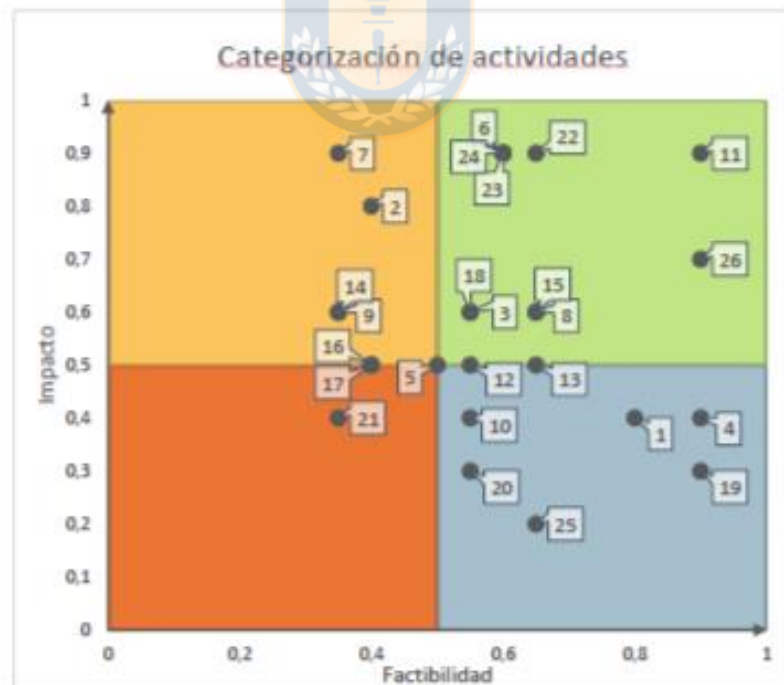


Ilustración 2: Categorización de actividades según impacto y factibilidad.

4.2 Oportunidades de mejora propuestas para aspirar a la perfección operativa

1. Actualizar formato de cartillas de perforación como indica el documento PRO-532.

¿Cómo hacerlo?

1.1 Actualizar modelo geológico incorporando litología e índice de dureza. (Para diseños de mallas, también incorporar algún indicador de la calidad del macizo rocoso como RQD o Frecuencia de fracturas ff).

1.2 Definir y actualizar la escala de durezas donde puedan incorporarse los diferentes tipos de roca presentes en el yacimiento. Como ejemplo, pueden definirse 4 índices donde R1 sería el tipo de roca más blando y R4 el más duro.

Índice de dureza	R1	R2	R3	R4
Clasificación	Baja	Semi Baja	Semi Alta	Alta

Ilustración 3: Ejemplo de clasificación de durezas

1.3 Definir qué parámetros serán incluidos en las cartillas, se recomienda por lo menos:

- 1 clasificación (UPT)
- Litología
- 1 índice de dureza
- Rendimiento esperado de la perforación (m/h)
- Espacio para comentarios (desvíos, hallazgos, rendimiento real, o cualquier información relevante)
- Fecha

1.4 Eliminar todos los datos que no se utilizarán, para facilitar la comprensión del documento por parte de los operadores.

			APROBADO POR:		Nombre		Fecha
			PLAN PERFORACIÓN				
			ING. GEOTÉCNICO				
			SUP. PERFORACIÓN				
POLVORAZO	MALLA	PERFORACIÓN	PASADURA	N° POZOS	MTS. PROGR.	TON. ESTIMADO	

INDICADORES					
UPT	LITOLOGÍA	DUREZA	RENDIMIENTO [m/h]	COMENTARIOS	FECHA

Ilustración 4: Ejemplo de cartilla de perforación actualizada

2. Confeccionar una tabla de parámetros recomendados de perforación como indica el documento PRO-102, e incorporarla a equipos.

¿Cómo hacerlo?

- 2.1 Solicitar a la empresa proveedora de herramientas de perforación la realización del estudio de los parámetros óptimos de funcionamiento de los triconos para garantizar su duración y efectividad. Este análisis debe hacerse en base a la categorización de las diferentes durezas de roca presentes en el yacimiento, con el fin de incorporar un rango de parámetros de perforación para cada categoría.
- 2.2 Confeccionar la tabla de recomendaciones, imprimir y plastificar ejemplares para incorporarlos a los equipos, facilitando el acceso de todos los operadores a esta información.
- 2.3 Incorporar, además, recomendaciones de asentamiento de broca nueva y rango de velocidades estimadas de barrido según dureza de las formaciones. En este último dato, categorizar los rangos de dureza según la clasificación anteriormente mencionada.

TABLA DE PARÁMETROS REFERENCIALES Y DATOS TÉCNICOS					
Pull Down Real Aplicado		Dureza	Modelo Tricono (9 T/8")	Parámetros de Perforación	
PSI	Libras			RPM	PESO
500	5.200	R1 / R2	S20	65-100	30.000 a 45.000
1000	12.000				
1500	20.000	R3	S30	60-90	45.000 a 55.000
2000	26.000				
2500	44.000	R4 / R5	S40	50-85	50.000 a 60.000
3000	55.000				
3500	74.000	R4 / R5	S50	50-75	55.000 a 65.000
RECOMENDACIÓN DE ASENTAMIENTO DE BROCA NUEVA					
Diámetro	Peso sobre la broca durante el asentamiento de Broca Estándar		RPM Recomendadas en el asentamiento de Broca Estándar (10 [min])		
	Primeros 5 [min]	Siguientes 10 [min]	Primeros 5 [min]	Siguientes 10 [min]	Velocidad de rotación recomendada
TOCOS	50%	75%	30-40	40-60	70-100
RANGO DE VELOCIDADES ESTIMADAS DE BARRIDO					
Formaciones Blancas entre 5.000 a 7.000 [pies/min]					
Formaciones Medias entre 7.000 a 8.000 [pies/min]					
Formaciones Duras entre 8.000 a 10.000 [pies/min]					

Ilustración 5: Tabla de parámetros recomendados(PRO-102)

3. Identificar zonas de contacto grava-ignimbrita, incorporándolas al modelo geológico.

¿Cómo hacerlo?

- 3.1. Solicitar a operadores que dejen constancia de zonas de contacto entre grava e ignimbrita que vayan identificándose en la operación.
- 3.2. Solicitar al área de geología la identificación de las zonas de contacto grava-ignimbrita utilizando la información recopilada por los perforistas, junto con datos de muestreo en zonas de ignimbrita o inspección visual de detritos y pozos perforados. Recopilando información de diferentes fuentes puede crearse un modelo que estime las zonas de contacto para anticipar las técnicas de perforación e incorporar los datos al modelo geológico y así tener más información para el diseño de mallas.

4. Mejorar calidad de información captada por el sistema de toma de datos de perforadoras.

¿Cómo hacerlo?

Re instruir a operadores y supervisores (y todo aquel que ingrese datos al sistema de las perforadoras) sobre los siguientes cambios a implementar:

	Hallazgo	¿Qué Hacer?
DATOS DE PERFORACIÓN	1646 datos escapados (tiempo muy bajo o excesivo, profundidad muy baja).	Reparación del sistema y/o verificación del dato ingresado.
DATOS DE MANTENCIONES NO PROGRAMADAS	3 categorías para el mismo tipo de mantención (sistema aire- sistema aire acondicionado- aire acondicionado).	Agrupar en una misma categoría denominada 'Sistema Aire Acondicionado'.
	2 categorías para el mismo tipo de mantención (unión de barras-apoyo cambio de barra).	Agrupar en una misma categoría.
	Categorías de detenciones dentro de los datos de mantenciones (detención no programada-detención equipo no programada).	Agrupar en una misma categoría e ingresarlos como demoras no programadas.
DATOS DE DEMORAS NO PROGRAMADAS	3 Categorías que refieren al mismo tipo de demora (demora no programada-demora no programada por otro procedimiento-undef)	Agrupar en una misma categoría e intentar ubicar cada una en una de las otras causas, para facilitar análisis de datos. Otra opción es añadir comentario especificando la causa de la demora

5. Reparar sistema de toma de datos de perforadoras.

¿Cómo hacerlo?

- 5.1. Solicitar reparación del sistema a encargados de tecnología de los equipos
- 5.2. Realizar seguimiento de la calidad de la herramienta (analizar porcentaje de datos escapados, datos duplicados y datos incompletos)

6. Habilitar sistema de alta precisión y profundímetro (alternativa).

¿Cómo hacerlo?

El proyecto de habilitación de sistemas de alta precisión y profundímetros en los equipos de perforación tiene como plazo el mes de julio de 2020 para implementarse. Mientras no se hayan habilitado, o se retrase el procedimiento, pueden incorporarse las siguientes alternativas:

- 6.1. Buscar una forma de marcar las barras de perforación para poder guiar la operación, puede ser un punto de referencia en relación al equipo o a la misma barra. (De ser marcada, debe ser en el fragmento que no se introduce en el pozo, porque la fricción podría borrar la marca).
- 6.2. Para suplir la falta de sistema de alta precisión, puede destinarse un tiempo extra antes de que el equipo entre al patio de perforación para marcar la malla a piso. Este tiempo debe ser considerado como tiempo de desarrollo de patio, debido a que es una preparación antes del ingreso del equipo. Con esto se evita la pérdida de tiempo disponible de los equipos y el riesgo que conlleva la operación de marcación de mallas a piso.

*Puede evaluarse también destinar un ayudante que realice esta labor mientras el equipo opera en otro sector del patio, con la distancia correspondiente y todas las medidas de seguridad expuestas en el PRO-102.

7. Evaluar incorporación de sistema de aditivo de perforación (u otra técnica) para evitar derrumbe de pozos.

¿Cómo hacerlo?

- 7.1. En primer lugar, debe definirse si esta medida es necesaria o no, debido a que generaría un costo de inversión. Debe hacerse un seguimiento y conteo de la cantidad de pozos por malla que se derrumban y quedan tapados o significan un riesgo para la operación (por atrapamiento de herramientas de perforación o desvíos del diseño). Por otra parte, puede realizarse una encuesta a operadores y supervisores para recopilar información de resultados pasados de derrumbe de pozos y de alternativas empleadas para mitigar estos desvíos.
- 7.2. Si la cantidad de pozos tapados por derrumbe fuese significativa (criterio a definir por supervisores y planificadores P&T), entonces debe realizarse una evaluación económica de la implementación de un sistema de control de derrumbe de pozos, ya sea aditivo de perforación, encamisado, u otra alternativa.
- 7.3. Si la evaluación económica  entrega beneficios a la operación, deberá implementarse y hacer el correspondiente seguimiento de su eficacia, estableciendo como nuevo KPI la mínima o nula cantidad de pozos tapados por derrumbe.
- 7.4. Debe documentarse el seguimiento de esta herramienta, para posteriores análisis de resultados.

8. Asegurar disponibilidad de camión cama baja para traslado de perforadoras.

¿Cómo hacerlo?

El traslado de los equipos de perforación además de ser una pérdida de tiempo operativo es un riesgo para el equipo y el operador. Puede haber numerosas consecuencias como accidentes en ruta o daños al sistema de rodado del equipo, entre otros.

Es imperativo entonces realizar los traslados de las perforadoras sobre un equipo especializado para ello, por lo que debe asegurarse la disponibilidad de este para las perforadoras.

En CMCC hay sólo un equipo con estas características, y muy frecuentemente presenta fallas por lo que puede realizarse un seguimiento más exhaustivo de sus mantenciones y asegurar un stock de sus repuestos para así lograr tenerlo disponible cuando se requiera.

9. Compra de equipo camión cama baja para traslado de perforadoras.

Invertir en la compra de otro equipo, ayudará a suplir las necesidades que se presentan en la operación. El área de mejoramiento continuo realizó un caso de negocio que utiliza el costo de los daños provocados por los traslados sin cama baja a los equipos de perforación, que arrojó un valor presente neto de 0,12 MU\$D, por lo que económicamente la adquisición de este equipo es viable con la proyección de ser utilizado hasta el año 2023.

10. Aumentar la utilización de las perforadoras para cumplimiento de los planes.

¿Cómo hacerlo?

La utilización se define como la razón entre el tiempo de producción y el tiempo disponible, y se mide en porcentaje. Por su parte, el tiempo disponible es el tiempo requerido menos las demoras de proceso, y el tiempo de producción es el tiempo disponible menos las demoras.

Para aumentar la utilización de los equipos entonces puede aumentarse el tiempo de producción, siendo el enfoque principal disminuir las demoras programadas o no programadas.

El análisis realizado fue de las demoras no programadas, de donde se obtuvo que las demoras más frecuentes y que más tiempo involucran son:

-Limpieza y preparación de bancos

-Falta de Operador

Las actividades 11, 12 y 13 están destinadas a disminuir las demoras por limpieza y preparación de bancos, y para suplir la falta de operadores las actividades 14 y 15.

11. Aplicar checklist de generación de patios expuesto en el PRO-102 para asegurar condiciones óptimas.

El tipo de demora no programada más frecuente en equipos de perforación es la limpieza y preparación de bancos, por lo que debe considerarse aplicar este formulario para que el supervisor P&T apruebe las condiciones del patio que se perforará.

De esta forma, si se tuvieran todas las condiciones detalladas en el ANEXO 3 del PRO-102, no habría pérdidas de tiempo de producción de las perforadoras en espera de mejoras en las condiciones del piso.

12. Mejorar planificación de desarrollos haciendo ajustes según disponibilidad de equipos de apoyo.

Actualmente, hay poca disponibilidad de equipos de apoyo para desarrollo de patios de perforación. Estos se requieren y deben asegurarse sobre todo en fases donde hay presencia de ignimbrita y por consiguiente generación de sobretamaños.

13. Estandarizar el tiempo de desarrollo de patios para facilitar el cumplimiento de planes.

Finalmente, puede estandarizarse el tiempo destinado a desarrollos de patio según la superficie trabajada y el tipo de roca presente, esto con el fin de mejorar la planificación y entregar a tiempo los patios para la posterior perforación y tronadura.

14. Aumentar dotación de grupo G/H.

Considerando que hay 7 equipos de perforación de producción, el mínimo de operadores que debiese haber en cada equipo es de 14 personas. Sin embargo, en el grupo G/H hay sólo 12 perforistas. Es por esto que el grupo G/H debe aumentar su dotación a por lo menos 14 integrantes. Por su parte, el grupo E/F cuenta con 16 operadores, número razonable considerando la cantidad de equipos. Si bien el mínimo para operar son 14, es importante considerar 2 o 4 operadores extra en caso de ausentismo o rotación.

15. Implementar polifuncionalidad de operadores.

Esto se lograría capacitando operadores de otros equipos para que puedan reemplazar a los principales en caso de que no estén en el turno. Con esta metodología pueden aprovecharse los funcionarios que estén en turno pero que no se encuentren operando sus equipos por mantenencias prolongadas o asignación fuera de servicio.

Si bien el 100% de los operadores de perforación han trabajado con otros equipos, hay muchos operadores de carguío y transporte que no han operado perforadoras. Es por esto que se deben capacitar los operadores para que todos puedan tener las mismas competencias y puedan cumplir diferentes funciones durante su turno, de ser necesario.

16. Estandarizar duración de mantenencias según tipo de falla.

Las mantenencias no programadas pueden considerarse demoras no programadas, y del análisis de esos datos se obtuvo que los componentes y equipos que fallan más recurrentemente son los que se detallan a continuación:

Falla	Mayor Frecuencia	Mayor tiempo promedio de mantención
<i>Sistema de Aire Acondicionado</i>	609	609
<i>Sistema Hidráulico</i>	608-609	611
<i>Sistema Eléctrico</i>	606-609	610

Este análisis sirve para identificar en qué equipo hay que generar un mayor seguimiento y control. La perforadora 609 es la que presenta en mayores proporciones las 3 fallas, pero en general los sistemas de todos los equipos presentan este tipo de fallas.

Este análisis puede hacerse más frecuentemente para así enfocar la planificación de mantenencias en los equipos que se encuentren en peores condiciones, y a su vez prevenir fallas en aquellos que presenten menos problemas. La estandarización de la duración de las mantenencias sirve para medir el desempeño del equipo de mantenimiento y también planificar de mejor forma el tiempo que deberá estar cada equipo en reparación. Las actividades 17 y 18 nombradas a continuación tienen el mismo enfoque y deben cumplirse en conjunto para el cumplimiento del objetivo de esta propuesta.

17. Elaborar plan que prevea fallas más comunes, según la frecuencia que se presentan en cada equipo.

Esta actividad requiere un mayor tiempo de implementación, porque debe hacerse un estudio exhaustivo de las fallas más comunes en los equipos, analizando datos históricos del área de mantenimiento.

El plan debe ser basado en la experiencia, por lo que la documentación de cada mantención realizada a los equipos es de suma importancia.

18. Hacer seguimiento de Mantenciones para intentar disminuir al máximo los imprevistos.

Cada vez que un equipo de perforación salga de mantención, debe registrarse y establecer una periodicidad para volver a revisar el equipo y el sistema que se haya reparado. El objetivo de este seguimiento es cuantificar la calidad y duración de las reparaciones, así como predecir futuras fallas.

19. Actualizar y revisar procedimientos.

¿Cómo hacerlo?

Dentro de la revisión de procedimiento surgieron algunas oportunidades de mejora, por lo que las actividades 20 y 21 serán diferenciadas dentro de este apartado. A continuación, se presentan los procedimientos revisados que tienen relación con la operación de perforación, los elementos a mejorar de cada uno y el responsable de su edición y actualización:

PRG-095 Procedimiento de Gestión Team Tronadura

Este procedimiento debería haberse actualizado en diciembre de 2014.

Responsable: Ingeniero/a Senior Geotecnia

En este procedimiento se detallan los participantes y actividades a realizar para el control y mejora continua del proceso de tronadura, enfocándose en el cuidado de las paredes del rajo.

20. Gestionar Team Perforación y Tronadura.

Actualmente, no hay una reunión específica para tratar los temas relacionados con perforación y tronadura. Los resultados y el plan semanal se presentan en la reunión de planificación, donde no siempre hay participación activa de todas las áreas involucradas.

Puede gestionarse actualizar el procedimiento a 'Gestión Team Perforación y Tronadura' y aplicar la metodología que en este se detalla como una forma de realizar un QA/QC de ambos procesos.

La participación de todas las áreas detalladas en el procedimiento es fundamental para lograr los objetivos de esta reunión, y documentar a su vez las acciones y compromisos tomados semana a semana. Es por esto que debe utilizarse el formato de minuta que se presenta en el ANEXO del documento, para así controlar la asistencia y la implementación de las mejoras discutidas.

En el ANEXO 3 se encuentra la minuta de las reuniones de perforación y tronadura, que fue confeccionada adaptando aquella de la reunión team de tronadura.

PRO-532 Liberación de polvorazos y cartilla de perforación

Este procedimiento que debería haberse actualizado en septiembre de 2018.

Responsable: Ingeniero/a Senior Planificación

En los anexos de este procedimiento se encuentran los protocolos para entrega de patios para 4 casos diferentes: polvorazos de contorno con y sin borde mina y polvorazos de producción con y sin borde mina.

Sin embargo, en ninguno de estos protocolos se encuentra la validación del checklist de revisión de condiciones de patio. Este debe agregarse al protocolo y aplicarse en la operación. Esta acción corresponde a la actividad 11 descrita anteriormente.

21. Realizar control propio de granulometría obtenida.

En este mismo documento se encuentra la evaluación granulométrica por parte del supervisor de P&T. Actualmente, este análisis lo hace la empresa proveedora de explosivos, emitiendo un reporte granulométrico luego de cada tronadura.

No obstante, debería realizarse un control por parte de personal propio, para así asegurarse de la confiabilidad de los reportes emitidos por la EPE.

Además, en este procedimiento se adjunta un tipo de cartilla que ya no se está utilizando. Esta debe cambiarse y actualizarse de acuerdo a la oportunidad de mejora antes detallada con el fin de mejorar la información presente en las cartillas.

PRO-102 Perforación

Procedimiento que debería haberse actualizado en Febrero del 2020

Responsable: Ingeniero/a A&I

En el ANEXO 2 de este documento se encuentra un formato de cartillas de perforación que contiene más información de la que actualmente se utiliza.

El ANEXO 4 correspondiente al Checklist para riesgos geotécnicos en trabajos de borde o cresta de talud tiene una baja resolución que impide su correcta lectura.

Por último, en el ANEXO 6 se encuentra la tabla de recomendación de parámetros operacionales por tipo de roca que debe actualizarse como se mencionó anteriormente.

4.2.3 Oportunidades de mejora propuestas para involucrar y capacitar a toda la organización.

22. Instruir a operadores en perforación según los tipos de roca presentes en el yacimiento.

¿Cómo hacerlo?

- 1) Elaborar junto con el área de geología una presentación didáctica que muestre los modelos geológicos vigentes, tanto de cobertura como litológico, y los diferentes tipos de roca presentes en el yacimiento. Idealmente, acompañar la presentación con material audiovisual para exponer el contenido explícitamente.
- 2) Agregar a la presentación información relevante sobre buenas prácticas operacionales que incorporen estándares de seguridad y productividad.

- 3) Puede solicitarse además a operadores más antiguos que participen activamente en la planificación de esta capacitación, utilizando su experiencia como referencia para definir las prácticas idóneas según cada tipo de material en el que se esté trabajando.
- 4) Realizar jornadas de capacitación a operadores de todos los grupos y turnos (también pueden incorporarse operadores de otros equipos), para hacer extensa la información a todo el personal. Reforzar además conceptos básicos que deben manejar los operadores como UPT, litología, dureza, entre otros.

*El objetivo de esta capacitación es otorgarles a los operadores la información necesaria para que ellos puedan identificar en terreno sobre qué material están trabajando y así sean capaces de reportar desvíos o incongruencias con la información de las cartillas. A su vez, este tipo de actividades potencia la participación del personal de primera línea y sirve para estandarizar las prácticas operacionales y en conjunto determinar cómo debe operarse para lograr un trabajo seguro, eficiente y eficaz.



23. Instruir a operadores en técnicas de perforación para evitar derrumbe de pozos.

¿Cómo hacerlo?

Supervisores P&T deberán definir un equipo de operadores (1 o 2 por equipo) que los apoyen en la realización de esta instrucción. Deberán incorporarse en detalle las diferentes prácticas que pueden emplearse para empatar los pozos evitando el derrumbe, para luego ser aplicado en zonas de grava y de contacto grava-ignimbrita. De ser necesario, puede pedirse apoyo externo de personal capacitado para instruir a nuestros operadores.

24. Instruir a operadores en técnicas de perforación para pozos inclinados, acople de 3 barras, u otras que se requieran implementar.

¿Cómo hacerlo?

- 1) Supervisores y planificadores P&T, en conjunto con personal de operaciones mina deberán definir qué tipo de técnicas de perforación, acople de barras,

CERRO COLORADO | BHP

cambio de triconos u otros procedimientos tengan que ser reforzados y/o enseñados a operadores. (*)

- 2) El mismo equipo deberá definir si es necesario solicitar apoyo externo para realizar la capacitación.
- 3) Todos los operadores deberán ser instruidos para extender el conocimiento y experiencia a todo el equipo.

(*)Las técnicas para las cuales deben realizarse capacitaciones se establecerán a medida que vayan surgiendo cambios en la forma de operar y necesidades de acuerdo a la planificación de largo plazo de la mina. Por ejemplo, el acople de 3 barras sería requerido si a futuro debiesen generarse bancos de mayor altura de los que actualmente se diseñan.

25. Aumentar difusión y aplicación de herramientas de mejora continua.

¿Cómo hacerlo?

- 1) Solicitar al área de mejora continua coordinar junto con supervisores de operaciones y P&T jornadas de actividades destinadas a los operadores de perforación.
- 2) Aspirar a que todos los operadores conozcan estas herramientas y hayan participado por lo menos una vez en las actividades.
- 3) Definir una periodicidad de estas actividades, para ir actualizando los resultados que de estas se obtengan. Por ejemplo, realizar 2 actividades de círculo de calidad enfocados en perforación por año.

*Todas las actividades de capacitación pueden realizarse en una misma jornada para cada equipo (EF y GH), solicitando a los operadores y supervisores permanecer en faena por un día extraordinario (con la correspondiente remuneración). En estas puede incluirse también un círculo de calidad enfocado en la perforación y así asegurar una participación significativa.

26. Sincronizar ambos equipos en cuanto a prácticas y documentos entregados.

¿Cómo hacerlo?

El compromiso de todos los niveles de la organización es fundamental para lograr la sinergia entre las diferentes áreas en pos de los objetivos comunes. Es por esto que los líderes de ambos equipos de trabajo E/F y G/H deben coordinarse para trabajar de forma conjunta y ordenada, siempre enfocándose en obtener mejores resultados. Para ello deben tomarse en cuenta las siguientes medidas:

- 1) Los reportes entregados por ambos equipos deben ser los mismos, con el fin de poder documentar los resultados para posteriores análisis. Esta propuesta surge debido a que un líder genera reportes diarios y semanales y el otro sólo los reportes semanales. Independientemente de lo que se considere óptimo para la operación, la reportabilidad de ambos líderes de grupo debe coordinarse para así tener información completa y veraz.
- 2) Ambos líderes deben coordinar y participar activamente de las actividades de capacitación, lo que propiciará un ambiente de confianza con los operadores, además de reforzar que son un equipo de trabajo y no simplemente un grupo.

Finalmente, se presentan algunas oportunidades de mejora sugeridas por los operadores entrevistados:

- Evitar tronar mallas parciales en zonas de ignimbrita (por generación de sobre-tamaños en empalmes).
- Mejorar calidad, frecuencia y seguimiento de las mantenciones a perforadoras.
- Capacitar a operadores para obtención de licencias de camión pluma y grúa horquilla para poder hacer cambios de acero sin depender de terceros.

5. Anexos

5.1. ANEXO 1: Categorización de Actividades

ASPIRAR A LA PERFECCIÓN OPERATIVA OPORTUNIDAD DE MEJORA		CATEGORÍA
1	Actualizar formato de cartillas de perforación como indica el documento PRO- 532.	+ -
2	Confeccionar una tabla de parámetros recomendados de perforación como indica el documento PRO-102, e incorporarla a equipos.	- +
3	Identificar zonas de contacto grava-ignimbrita, incorporándolas al modelo geológico.	++
4	Mejorar calidad de información captada por el sistema de toma de datos de perforadoras	+ -
5	Reparar sistema de toma de datos de perforadoras	--
6	Habilitar sistema de alta precisión y profundímetro (alternativa)	++
7	Evaluar incorporación de sistema de aditivo de perforación (u otra técnica) para evitar derrumbe de pozos.	- +
8	Asegurar disponibilidad de camion cama baja para traslado de perforadoras.	++
9	*Opción inversión en equipo cama baja	- +
10	Aumentar la utilización de las perforadoras para cumplimiento de los planes	+ -
11	*Aplicar checklist de generación y de patios definido en el PRO-102 para asegurar condiciones óptimas.	++
12	*Mejorar planificación de desarrollos haciendo ajustes según disponibilidad de equipos de apoyo	+ -
13	*Estandarizar el tiempo de desarrollo de patios para facilitar el cumplimiento de planes.	+ -
14	*Aumentar dotación de grupo G/H	- +
15	*Implementar polifuncionalidad de operadores	++
16	*Estandarizar duración de mantenciones según tipo de falla	--
17	*Elaborar plan que prevea las fallas más comunes según la frecuencia en que se presentan en cada equipo.	--
18	*Hacer seguimiento efectivo de mantenciones para disminuir eventos imprevistos	++
19	Actualizar y revisar procedimientos	+ -
20	*Gestionar team Perforación y Tronadura	+ -
21	*Realizar control propio de granulometría obtenida	--

CERRO COLORADO | BHP

INVOLUCRAR Y CAPACITAR A TODA LA ORGANIZACIÓN OPORTUNIDAD DE MEJORA		CATEGORÍA
22	-Instruir a operadores en perforación según los tipos de roca presentes en el yacimiento.	++
23	-Instruir a operadores en técnicas de perforación para evitar derrumbe de pozos.	++
24	-Instruir a operadores en técnicas de perforación para pozos inclinados, acople de 3 barras, u otras que se requieran implementar.	++
25	-Aumentar difusión y aplicación de herramientas de mejora continua.	+-
26	Sincronizar actividades y trabajo de ambos equipos.	++

Descripción de cada categoría:



Medida fácil de implementar que genera gran beneficio.



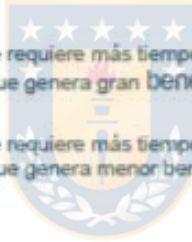
Medida fácil de implementar que genera menor beneficio.



Medida que requiere más tiempo y/o recursos, que genera gran beneficio.



Medida que requiere más tiempo y/o recursos, que genera menor beneficio.



5.2.ANEXO 2: Detalle de factibilidad e impacto de cada actividad.

Requerimiento	FACTIBILIDAD					Puntaje Factibilidad
	Requiere recursos económicos	Requiere 1 mes o más	Requiere apoyo de proveedores	Requiere personal propio	Requiere apoyo de otras áreas	
Ponderación	30%	25%	25%	10%	10%	
Actividad						
1	0	0	0	1	1	0,80
2	0	1	1	1	0	0,40
3	0	1	0	1	1	0,55
4	0	0	0	1	0	0,90
5	0	1	1	0	0	0,50
6	1	0	0	1	0	0,60
7	1	0	1	1	0	0,35
8	0	1	0	1	0	0,65
9	1	1	0	0	1	0,35
10	0	1	0	1	1	0,55
11	0	0	0	1	0	0,90
12	0	1	0	1	1	0,55
13	0	1	0	1	0	0,65
14	1	1	0	0	1	0,35
15	0	1	0	1	0	0,65
16	0	1	1	0	1	0,40
17	0	1	1	0	1	0,40
18	0	1	0	1	1	0,55
19	0	0	0	1	0	0,90
20	0	1	0	1	1	0,55
21	1	1	0	1	0	0,35
22	0	1	0	1	0	0,65
23	1	0	0	1	0	0,60
24	1	0	0	1	0	0,60
25	0	1	0	0	1	0,65
26	0	0	0	1	0	0,90

Nota: Recurso económico incluye nuevas contrataciones e inversión en investigación, insumos, capacitaciones u otros.

Nota: Las actividades marcadas con "*" son sub-actividades dentro de una oportunidad de mejora.

5.3. ANEXO 3: Minuta reunión perforación y tronadura.

Información Reunión	
N° :	Fecha:
Ubicación	Inicio:
Notas tomadas por:	Término:

Asistencia		
Nombre(s)	Área	Presente/Ausente
	Geología	
	Área técnica EPE	
	Planificación	
	Perforación y Tronadura	
	Geología de Producción	
	Geotecnia	
	Operaciones Mina	
*Importante: debe asistir al menos 1 persona por área		

Revisión compromisos reunión anterior			
N° Acción	Cumplimiento (Sí/No)	Nueva Fecha	Comentarios
1			
2			
3			
4			
5			

Acuerdos - Temas revisados		
1		
2		
3		
4		
5		

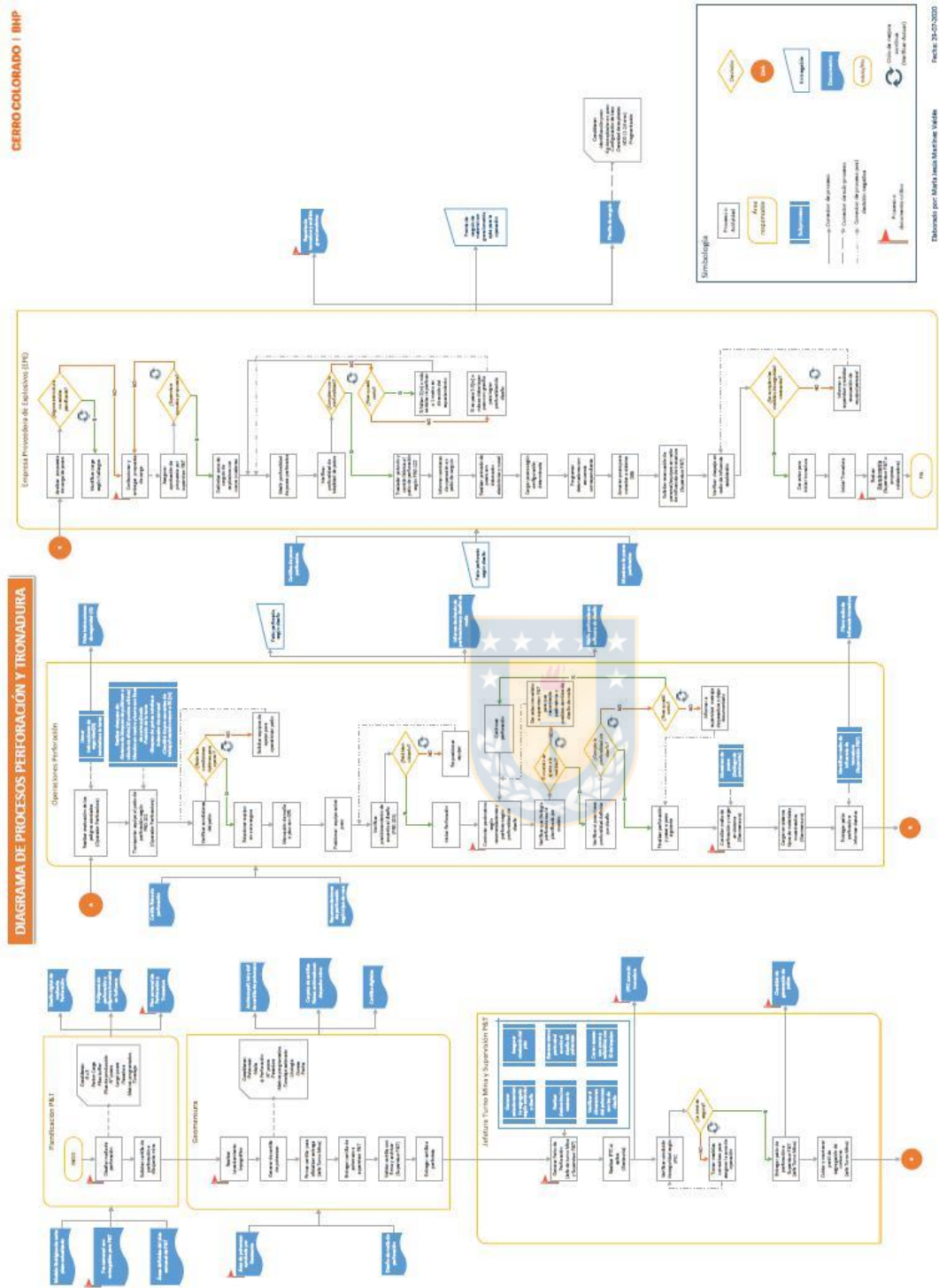
Compromisos - Acciones relevantes		
¿Qué?	¿Quién?	¿Cuándo?
1		
2		
3		
4		
5		

8.5 Alcances del sistema de gestión para la operación de perforación

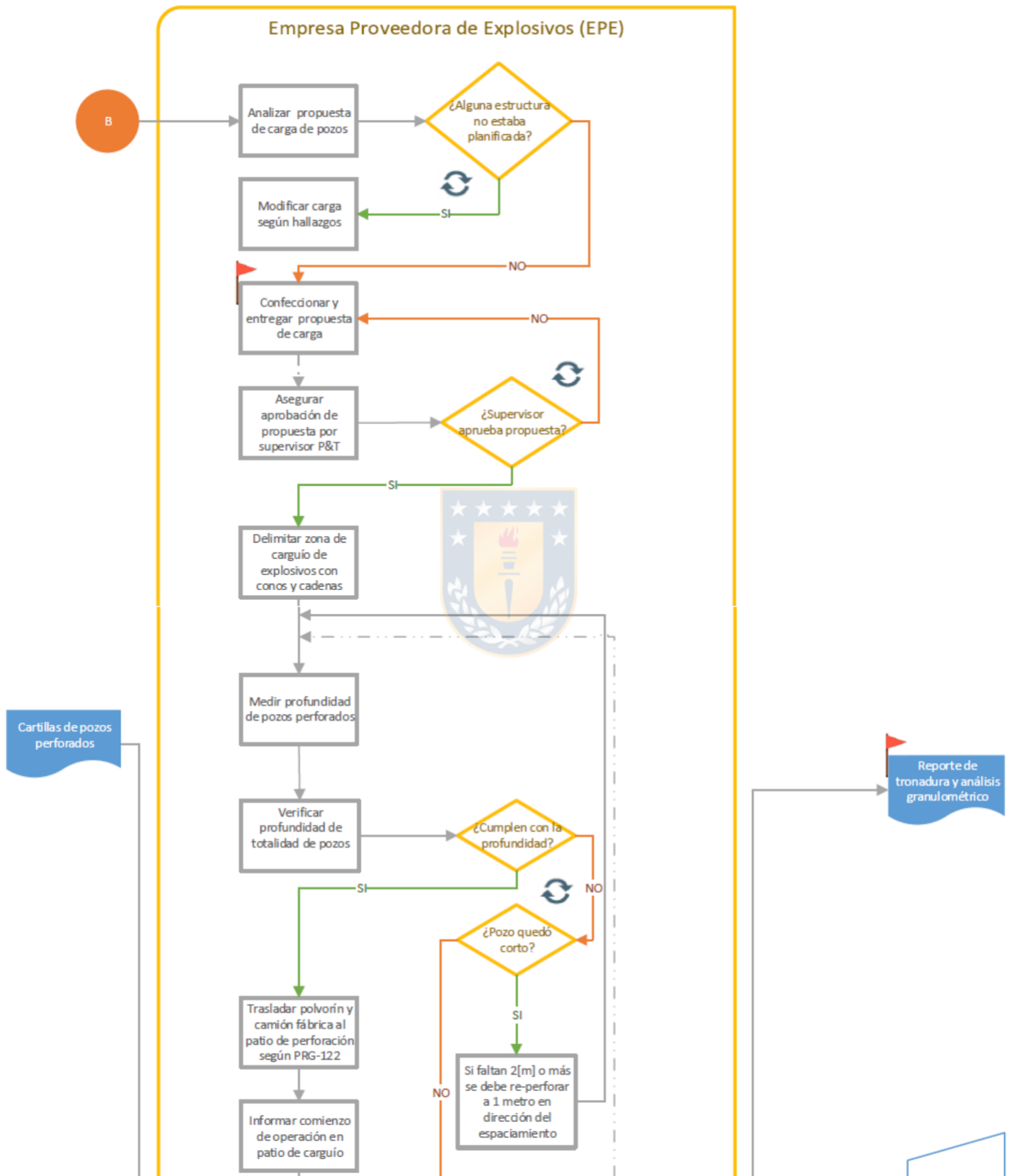
- Este trabajo incluye únicamente las etapas de diagnóstico y diseño del sistema de gestión
- Resultados obtenidos del período comprendido entre septiembre del 2019 y febrero del 2020.
- El presente sistema de gestión incluye sólo aquellos requisitos del sistema operativo de BHP y de la norma ISO 9001:2015 aplicables a la operación de perforación de pozos de tronadura y a los procesos asociados a esta.
- No se incluye análisis de costos en el estudio
- Las soluciones a implementar son de bajo costo y de fácil implementación, sin recurrir a inversión de capital.

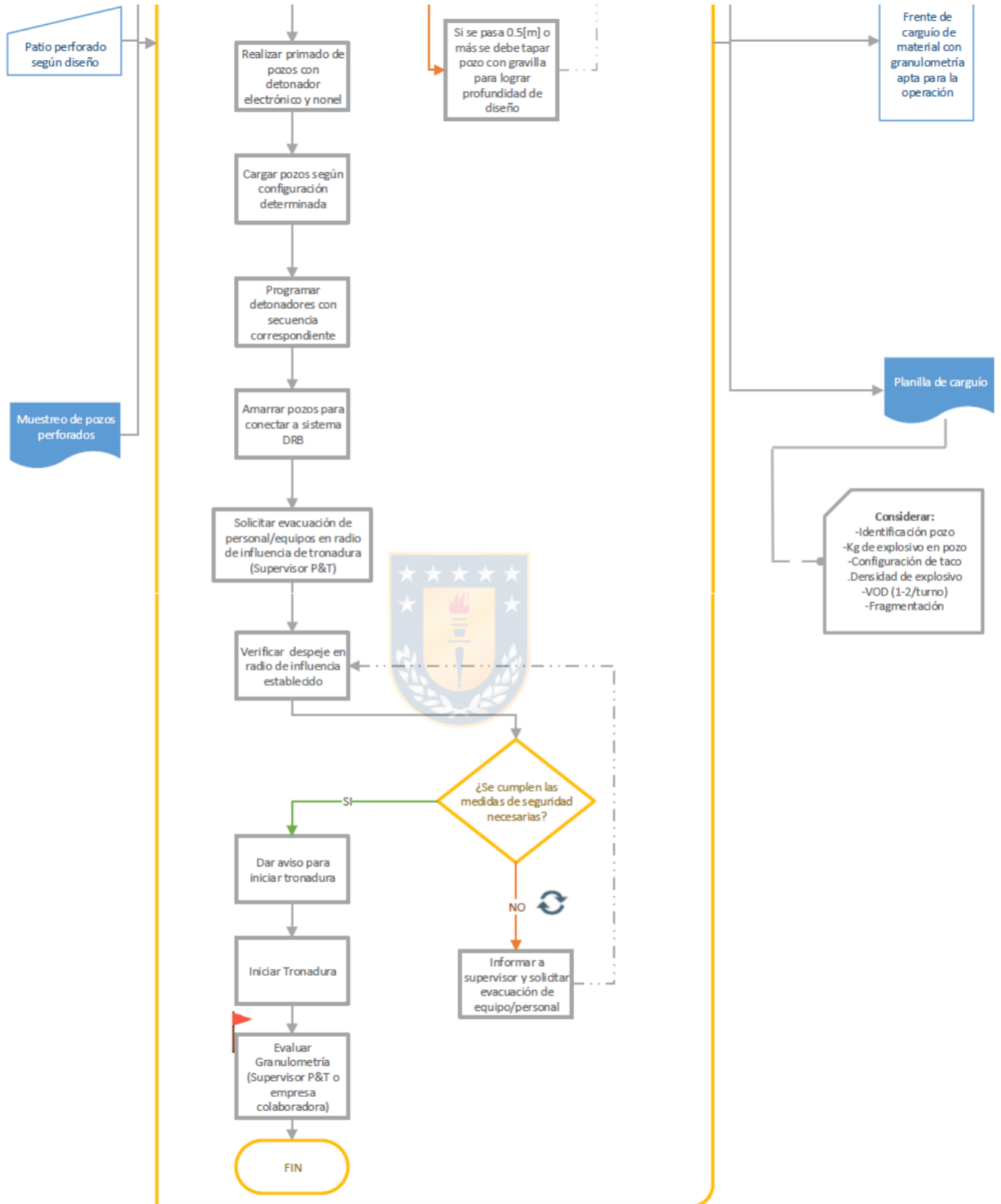


8.6 Disposición general del diagrama de procesos



8.7 Procesos de la operación de tronadura





8.8 Certificado curso ISO 9001:2015

URL: https://www.udemy.com/certificate/UC-ea5d5fa7-4acd-4070-89cf-4aa040cdf95c/?utm_campaign=email&utm_source=sendgrid.com&utm_medium=email



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN - FACULTAD DE INGENIERÍA**Departamento de Ingeniería Metalúrgica****Hoja Resumen Memoria de Título**

Título: *"Propuesta de sistema de gestión para el proceso de perforación de producción en Compañía Minera Cerro Colorado, BHP".*

Nombre Memorista: María Jesús Martínez Valdés

Modalidad	Proyecto	Profesor (es) Patrocinante (s)
Concepto	Sobresaliente	Prof. Jorge Cubillos M.
Calificación	6.9	
Fecha	27-01-2021	
 Prof. FERNANDO PARADA		Ingeniero Supervisor: Claudio Arellano Vergara
		Institución: Compañía Minera Cerro Colorado, BHP.

Comisión (Nombre y Firma)

 Prof. Ramón Díaz N.	 Prof ^a . Asieh Hekmat

Resumen

Para lograr los objetivos de producción en minería, cumpliendo los estándares de calidad y seguridad, es importante contar con personal capacitado, y equipos de alta calidad y tecnología. A su vez, se requiere tener equipos humanos organizados que trabajen en conjunto para lograr un objetivo común, donde la disciplina operacional se torna fundamental para el cumplimiento de los planes. Es por esto que los mecanismos de gestión han ido tomando relevancia en la industria, pues permiten a las organizaciones identificar cada uno de los procesos involucrados en sus operaciones y cómo estos interactúan para conformar un sistema, y así lograr tener un control de estos garantizando principalmente la seguridad y excelencia operacional.

La organización internacional de estandarización establece distintas normas en las cuales se describen los requisitos que deben cumplir las empresas u organizaciones para garantizar la calidad de sus procesos productos y/o servicios. Algunas de estas normas son certificables, lo que le otorga a las empresas un valor por sobre la competencia. Además, cada empresa tiene su política interna de calidad, y define su carta de valores, desarrollando algunas veces manuales de operación o sistemas operativos que buscan la excelencia y el cumplimiento de los estándares de calidad.

El presente trabajo consiste en una propuesta de sistema de gestión, basado en el análisis del actual proceso de perforación de pozos de tronadura en Compañía Minera Cerro Colorado, determinando sus fortalezas respecto de los estándares de calidad y definiendo oportunidades de mejora, basándose en la norma internacional ISO 9001:2015 sobre sistemas de gestión de la calidad y en el actual sistema operativo de BHP.

La metodología investigativa de este trabajo consistió en visitas a terreno, entrevistas, encuestas y análisis de datos correspondientes al período comprendido entre septiembre del 2019 a febrero del 2020. Los principales desvíos identificados fueron relacionados con la calidad de los equipos de perforación y las prácticas y resultados operacionales, por lo que se elaboró un diagrama completo de procesos de perforación y tronadura donde se identificaron los procesos críticos para la operación, junto con una guía para la implementación de mejoras al proceso unitario de perforación de pozos de producción que tiene como principal enfoque la aspiración a la excelencia operacional, que corresponde al motor del mejoramiento del sistema operativo de BHP.

Finalmente, se establecieron los requisitos que ya cumplía el actual sistema de perforación para determinar aquellos que falta implementar para cumplir con los estándares establecidos en la norma y en el sistema operativo, utilizando todas aquellas herramientas aplicables al proceso de perforación de pozos de tronadura en la compañía en la propuesta del nuevo sistema de gestión.