

Universidad del Biobío
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial

Prof. Guía: Milton Ramírez Monárdez



**PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROCESO DE
TRONADURA EN EL PROYECTO “PERALTE Y CONSTRUCCIÓN
DE MURO DEPÓSITO DE RELAVES SGO” EN MINERA SPENCE
BHP EJECUTADO POR LA EMPRESA ICEM**

Concepción, 06 de marzo de 2023

Bastían Ignacio Belmar Pérez
Ingeniería Civil Industrial

Índice de contenido

Capítulo I: Introducción.....	5
1.1 Origen del tema.....	5
1.2 Justificación del Problema	7
1.3 Objetivos del estudio.....	8
1.4 Alcances o ámbitos del estudio.....	9
1.5 Metodología propuesta	10
Capítulo II: Revisión Bibliográfica	11
2.1 Marco Teórico	11
2.2 Estado del Arte.....	14
Capítulo III: Descripción y análisis de la situación actual.....	17
3.1 BHP Billiton	17
3.2 Proyecto STWM.....	17
3.3 Consorcio VOB	19
3.4 ICEM S.A	19
3.5 ICEM S.A en Proyecto STWM	20
3.6 Estudio inicial del proyecto.....	21
3.7 Análisis de situación actual	25
Capítulo IV: Desarrollo.....	30
4.1 Problemas encontrados	30
4.2 Análisis y agrupación de problemas.....	30
4.3 Diagrama Causa efecto	31
4.4 Ciclo PHVA	33
Capítulo V: Presentación de resultados.....	43
Capítulo VI: Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones ...	44

6.1 Discusión de resultados	44
6.2 Conclusiones.....	46
6.3 Recomendaciones	47
Capítulo VII: Bibliografía y Referencias	48
7.1 Bibliografía	48
7.2 Referencias	50
Anexos.....	52

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Ubicación geográfica Minera Spence	18
Ilustración 2: Organigrama del proyecto	20
Ilustración 3: Volumen de roca a explotar.....	21
Ilustración 4: Encuesta a personal directo	26
Ilustración 5: Diagrama causa-efecto	32
Ilustración 6: Ciclo PHVA.....	33

Índice de tablas

Tabla 1: Personal indirecto	22
Tabla 2: Personal directo	22
Tabla 3: Estimación de ingresos.....	23
Tabla 4: Planificar	34
Tabla 5: Puntuación.....	37
Tabla 6: Hacer	38
Tabla 7: Verificar	42

Índice de gráficos

Gráfico 1: Estimación de ingresos	23
Gráfico 2: Avance de tronaduras en metros cúbicos	24
Gráfico 3: Resultados pregunta N°1	28
Gráfico 4: Resultados pregunta N°2	28
Gráfico 5: Resultados pregunta N°3	29
Gráfico 6: Resultados pregunta N°4	29

Capítulo I: Introducción

1.1 Origen del tema

1.1.1 Presentación de la organización

ICEM es una empresa con más de veintiocho años de experiencia, la cual se dedica al rubro de la construcción, específicamente en el sector minero, ofreciendo servicios de perforación, tronadura y sondajes. (Página oficial ICEM S.A., 2022)

La empresa es parte del grupo Salfacorp, holding de más de sesenta empresas del rubro de la construcción, siendo uno de los holdings más importantes a nivel nacional (Estados financieros consolidados intermedios Salfacorp y filiales, 17 de agosto de 2022).

Actualmente ICEM se encuentra operando en más de doce proyectos de mediana y gran envergadura, en distintas regiones del país, sin embargo, el proyecto “Peralte y Construcción Muro de Depósito de Relaves SGO” es el más importante económicamente.

1.1.2 Presentación de la problemática

Al estar trabajando en el área de Oficina Técnica de la empresa, en menos de un mes de trabajo, se encontraron los siguientes problemas en el proceso de tronadura, tanto en el área de producción como en la seguridad de los colaboradores:

- Con respecto a la solicitud para realizar la tronadura, veintiséis horas antes de ésta, se envía el protocolo de tronadura a la empresa mandante (Consortio VOB), luego, estos tienen dos horas, para revisarlo y enviarlo a BHP, hasta el momento, en menos de catorce días, tres tronaduras se han cancelado a causa de que Consortio VOB, no alcanza a realizar esta labor, por ende, BHP no brinda los permisos para realizar la tronadura.

- Para realizar cada tronadura, se debe reunir a todas las empresas que se ubican en las cercanías al área de la tronadura, con el fin de prohibir el acercamiento al sector y tomar medidas de resguardo, esta citación se realiza con apenas cuatro horas de anticipación, de no asistir representantes de las empresas, no puede realizarse la tronadura.
- Al actuar con el tiempo en contra, existen riesgos para la seguridad de los trabajadores, debido a que no alcanzan a capacitarse correctamente.
- Las capacitaciones no son dictadas correctamente, sólo son entregadas y se les hace entrega de un examen resuelto, con el fin de no perder tiempo en capacitar correctamente al personal.
- El explosivo que se usa es Nitrato de Amonio con combustible derivado del petróleo (ANFO) es extremadamente peligroso, tanto en su transporte, como en su uso, como se evidenció en el accidente en SQM el año 2010. (Minería Chilena, 7 de septiembre de 2010).
- El explosivo ANFO, es el que tiene mayor rango de fragmentación, y la causa de muerte en la minería más frecuente en Chile del año 2020 es ser golpeado por objetos (Estadísticas de accidentabilidad industria extractiva minera, Sernageomin, 2020)
- El conteo que se utiliza al momento de realizar la tronadura, es de solamente cinco segundos, y no es operado por el supervisor que realiza este conteo, por lo que puede existir un problema de último segundo y la explosión será realizada de igual manera, aumentando los riesgos materiales pudiendo causar un accidente catastrófico.

1.2 Justificación del Problema

El proyecto Peralte y Construcción Muro Depósito de Relaves SGO, en la actualidad es el contrato más importante de la empresa ICEM S.A, tiene un valor de \$6.814.002.647 y una duración de diez meses. (Contrato Prestación Servicios Perforación y Tronadura a Precio Unit v0. 31 de marzo de 2022)

Dada la envergadura del proyecto, es imperativo tener las competencias necesarias para llevar a cabo los procesos de perforación y tronadura, contar con la efectividad necesaria para poder generar un buen desarrollo de las operaciones.

Las falencias en medida de seguridad, son una piedra de tope para la correcta realización de las labores, se debe contar con los estándares necesarios para los trabajadores del proceso de tronadura, que son los que más riesgo corren en esta fase del proyecto.

En relación a esto, los problemas y deficiencias expuestas anteriormente, van en contra del buen funcionamiento de los trabajos a realizar.

Finalmente, se deben reducir los riesgos del negocio, debido a que al ser sub contrato de Consorcio VOB, recaen ciertos deberes y derechos, ya que, basándose en el contrato de prestación de servicios de perforación y tronadura, existen dieciocho posibles multas asociadas al incumplimiento de este.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo General

- Elaborar una propuesta de mejora en el proceso de tronadura del proyecto “Peralte y Construcción de Muro Depósito de Relaves SGO” en Minera Spence BHP ejecutado por la empresa ICEM S.A

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de la situación actual de la empresa con respecto a los problemas encontrados tanto a nivel administrativo como operacional.
- Diagnosticar las causas de los problemas encontrados con ayuda de un diagrama causa-efecto.
- Elaborar un sistema de mejora continua a través de la metodología Ciclo de Deming.

1.4 Alcances o ámbitos del estudio

- El estudio se centra en el proyecto “Peralte y Construcción de Muro Depósito de Relaves SGO” al interior de la Minera Spence, propiedad de BHP Billiton.
- Los responsables del proyecto “Peralte y Construcción de Muro Depósito de Relaves SGO” son el Consorcio VOP S.A, conformado por VALKO, OHLA, y BESALCO, los cuales, subcontratan a ICEM S.A. para el trabajo de perforación y tronadura.
- Las operaciones de la empresa ICEM, que consisten en la perforación y tronadura, se concentran en la Cantera Oeste ubicada a 30 kilómetros aproximadamente de las Instalaciones de Faena (IIFF) que es donde se ubican las oficinas de ICEM S.A.
- El proyecto tiene una duración estimada de diez meses.
- La investigación y propuestas de mejora, se realizarán específicamente a los procesos de tronadura, transporte y uso de explosivos, y los riesgos asociados a estas operaciones.
- La investigación no considera mejorar procesos mineros en sus áreas específicas, sino que busca la mejora de estos procesos a través de la gestión y conocimientos de Ingeniería Industrial.

1.5 Metodología propuesta

- Para el análisis de la situación actual de los problemas se programará una reunión ejecutiva, con el administrador de obra, jefe de terreno, jefe de oficina técnica, jefe de calidad y jefe de prevención de riesgos. Se les presentarán los problemas encontrados con el fin de analizar en conjunto la situación de la empresa en el proyecto con respecto a estas falencias. También se realizará una encuesta a los trabajadores del área operativa de la empresa, manteniendo la confidencialidad y anonimato, con el fin de identificar su sensación acerca de los problemas encontrados, ya sean de seguridad o de producción.
- Se dividirán los problemas entre productivos y de seguridad y se expondrán en diagramas de causa-efecto con el fin de encontrar las causas más probables en relación a los factores que arroje la investigación.
- Para la propuesta de solución de los problemas encontrados, se utilizará la metodología Ciclo de Deming con el fin de elaborar un sistema de mejora continua en el proceso de tronadura de la empresa.

Capítulo II: Revisión Bibliográfica

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Minería a Cielo Abierto

Se entiende por minería a cielo abierto toda explotación minera realizada a nivel de superficie o cercana a ésta, los métodos de explotación usados para este tipo de minería son; Cortas, Descubiertas, Terrazas, Contornos, Canteras y Graveras.

2.1.2 Perforación

La perforación de las rocas dentro del campo de las voladuras es la primera operación que se realiza y tiene como finalidad abrir unos huecos, con la distribución y geometría adecuada dentro de los macizos, donde alojar a las cargas de explosivo y sus accesorios iniciadores.

A pesar de la enorme variedad de sistemas posibles de penetración de la roca, en minería y obra pública la perforación se realiza actualmente, de una forma casi general, utilizando la energía mecánica. (López & López, 2003)

2.1.3 Perforación Mecanizada

Tipo de perforación en el cual se utiliza maquinaria de gran envergadura, estas están montadas sobre estructuras que permiten su movilización, el operador se encuentra en una cabina, controlando los parámetros de perforación.

2.1.4 Tronadura

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

2.1.5 Explosivos

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

2.1.6 ANFO

Explosivo de alta calidad, fabricado con nitrato de amonio grado explosivo de baja densidad y alta absorción de petróleo. Estos explosivos se componen por un 94 por ciento aproximadamente de nitrato amónico que actúa como oxidante y en torno a un 6 por ciento de gasoil que actúa como combustible.

Debido a su consistencia granular y a la solubilidad del nitrato amónico, no resisten al agua, por lo que su aplicación en barrenos que contengan este elemento está totalmente desaconsejada. Por el contrario, esta consistencia granular hace que el explosivo ofrezca una importante ventaja, y que resulta muy fácil la carga del mismo.

2.1.7 Emulsiones

Dentro de los explosivos, la emulsión es el más reciente en el mercado, teniendo como principales características el mejoramiento de la potencia y la resistencia al agua.

Tiene un sistema de dos fases compuesto por la mezcla de un fluido inmisible en otro. Las emulsiones explosivas son denominadas agua aceite en donde la fase acuosa está compuesta por sales orgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible hidrocarbonado inmisible en agua.

2.1.8 Mallas de perforación

Las mallas de perforación son la forma en la que se distribuyen los pozos de una tronadura, considerando básicamente la relación barden-espaciamiento y su vinculación con la profundidad de ellos.

2.1.9 Ciclo PHVA

Para Gutiérrez (2014) el ciclo PHVA es una metodología para solucionar problemas que consta de cuatro etapas: planear, hacer, verificar y actuar, que es de mucha ayuda para diseñar y ejecutar mejoras de calidad y productividad en todos los niveles jerárquicos de una empresa.

Planificar

Según Zapata (2016), en esta primera etapa planear debemos indicar el ¿qué hacer? y ¿cómo hacerlo?, definiendo los objetivos, las políticas, estrategias y recursos necesarios para obtener los resultados que la organización espera alcanzar.

Hacer

El hacer es la ejecución de lo planificado en la primera etapa, realizado por el personal idóneo (Zapata, 2016).

Verificar

En la etapa de verificar se mide el desempeño de lo ejecutado con respecto a lo planificado, se verifica y evalúa si se alcanzaron los objetivos (Zapata, 2016).

Actuar

Según Zapata (2016), en esta cuarta y última etapa se eliminan las no conformidades, se toman acciones preventivas y correctivas, se estandariza y establecen nuevos compromisos para seguir mejorando.

2.2 Estado del Arte

2.2.1 Investigación I: “Estudio comparativo de la sobre excavación en desarrollos horizontales con ANFO versus desarrollos realizados con emulsión en la Mina Esmeralda, división El Teniente, CODELCO Chile.”

Investigación realizada por Estefany Hernández Correa, estudiante de la Universidad Técnica Federico Santa María.

En este estudio se aborda la implementación del uso de la Emulsión en la tronadura de avance de desarrollos y su análisis comparativo respecto al método convencional de tronadura con ANFO.

Dentro de los problemas identificados, se encuentra la sobre excavación y el desafío de la minimización de ésta.

Minimizar la sobre excavación reduce los costos de la operación, ya que existe una directa relación entre ésta y el consumo de recursos, tanto como materiales y horas hombre. Poder controlar la sobre excavación, permite generar

un beneficio positivo al momento de programar los ingresos a obtener en la construcción respecto a los costos.

En relación a los resultados de esta investigación, se obtiene que se presentan diferencias en la sobre excavación generada al utilizar diferentes explosivos en el avance horizontal. Para el caso estudio, se tiene que la emulsión optimizada genera un menor impacto en la sobre excavación, en comparación al ANFO.

Desde el punto de vista de la ingeniería, la incorporación de la emulsión representa una tecnología que además de generar impacto en lo operacional, también aporta al momento de la planificación y evaluación de un proyecto, siendo una alternativa a considerar a la hora de lograr objetivos en plazos determinados.

2.2.2 Investigación II: “Emulsión gasificada en reemplazo de Heavy ANFO para reducir el P80 en la fragmentación e incrementar la productividad en carguío, acarreo y chancado en la mina Shougang Hierro Perú”

Investigación realizada por Jorge Alcalde Ruiz estudiante de la Universidad Nacional de Trujillo.

Se plantea el uso de emulsión gasificada debido a que el explosivo utilizado (ANFO) tiene una alta fragmentación la cual excede los límites exigidos por la mina. Y no es posible reducir la malla de perforación debido al alto costo de perforación por lo que en este trabajo de investigación se realizaron pruebas de campo comparando el ANFO vs la emulsión gasificada en cuanto a fragmentación, y productividad de las operaciones post voladura.

En el uso de emulsión gasificada se obtiene una reducción en la fragmentación de roca con respecto al ANFO, disminuyendo su fragmentación promedio de 9.46” a 7.18” en roca de densidad promedio de 4.47 gr/cm³.

2.2.3 Investigación III: “Aplicación del círculo de Deming para optimizar la actividad de voladura en veta Jimena de Compañía Minera Poderosa S.A.”

Investigación realizada por Cynthia Narro, estudiante de la Universidad Privada del Norte.

La propuesta de este proyecto se enfoca en aplicar la metodología de solución de problemas en siete pasos basado en el “Círculo de Deming” dentro del cual se utiliza nueve herramientas de calidad para obtener resultados factibles en tres factores de importancia para la empresa: Calidad (reducción de costos), Seguridad (disminución de accidentes) y Medioambiente (disminución de sobre rotura).

Como resultado del proyecto se logra obtener la reducción del costo en un 19 por ciento en labores de avance horizontal, se reduce el costo en un 16 por ciento en labores de explotación, se disminuye el porcentaje de sobre rotura a 11 por ciento y disminuyen los accidentes por desprendimiento de roca a 5 accidentes de trabajo leve.

Análisis de investigaciones encontradas

- **Investigación I:** al proponer la utilización de emulsión para disminuir la sobre excavación, esta propuesta no es viable en la empresa ICEM S.A, debido a que la principal meta del contrato de prestación de servicios es explotar la mayor cantidad de metros cúbicos posibles en menor tiempo. Además, al ser un desarrollo horizontal, no es comparable con una minera a rajo abierto, el cual es el caso de Minera Spence BHP.
- **Investigación II:** nuevamente, el explosivo de tipo emulsión al tener menor poder destructivo, es efectivo en faenas de tronadura controlada, no siendo el caso de Spence, donde se requiere explotar 1.4 millones de metros cúbicos de roca, por ende, esta investigación no es viable para ser desarrollada en esta memoria de título.
- **Investigación III:** Esta investigación se enfoca en la mejora de tres factores: calidad, seguridad y medioambiente. Esto a través de la metodología Ciclo de Deming, los factores: calidad y seguridad, se relacionan altamente con los problemas encontrados en el proceso de tronadura de la empresa ICEM S.A., por lo tanto, es una investigación idónea para ser utilizada para el desarrollo de la propuesta de mejora a realizar.

Capítulo III: Descripción y análisis de la situación actual

Con la finalidad de comprender la situación actual a estudiar, se debe contextualizar el proyecto en el que está inmerso la empresa y las empresas que interactúan en su desarrollo.

3.1 BHP Billiton

BHP Billiton es la segunda compañía minera más grande del mundo (World Energy Trade, 2021). Su origen proviene de la fusión de la compañía australiana *Broken Hill Proprietary (BHP)* y la compañía británica Billiton. Funciona como una compañía global de recursos naturales diversificados, organizada en unidades de negocio: *Minerals Americas*, *Minerals Australia* y *Petroleum*. Entre sus principales productos están el cobre, mineral de hierro, níquel, carbón metalúrgico, petróleo y potasio. Su casa matriz está ubicada en Melbourne, Australia. (Consejo Minero)

BHP Minerals Americas es la unidad que agrupa las operaciones mineras en el continente americano. Sus oficinas se ubican en Chile, donde opera Minera Escondida y BHP Pampa Norte. Esta última integra las faenas Cerro Colorado y Minera Spence.

3.2 Proyecto STWM

El proyecto *Spence Tailings and Waste Management*, en español administración de relaves y desperdicios Spence fue la respuesta inmediata al proyecto de expansión de la planta concentradora, el cual con una inversión de 2.43 billones de dólares consiguió expandir la vida útil de la minera por cincuenta años y es capaz de procesar noventa y cinco mil toneladas diarias de material. (Mining Magazine, 10 de enero de 2022).

El proyecto, tal como su nombre lo indica, se divide en dos grandes etapas: la administración de los relaves y el manejo de los desperdicios.

Dentro de la administración de los relaves, la primera etapa del proyecto es la construcción y peralte del muro de depósito de relaves, que es donde interactúan las empresas presentes en este informe.

Las operaciones están ubicadas en la Segunda Región de Chile, en el desierto de Atacama, cerca de la localidad de Sierra Gorda, a una altura aproximada de mil seiscientos metros sobre el nivel del mar. El acceso al área es a través de la carretera veinticinco, que conecta la comuna de Calama con la comuna de Sierra Gorda, en una distancia de 59 km.

Ilustración 1: Ubicación geográfica Minera Spence



Fuente: Informe técnico, BHP Proyecto STWM

3.3 Consorcio VOB

Consorcio formado por empresas Valko, OHLA y Besalco conformado para poder cumplir técnica y económicamente las exigencias de proyectos de gran magnitud como el de Minera Spence.

El consorcio se adjudica proyecto “Peralte y construcción de muros depósito de relaves SGO” por la cifra de ciento treinta millones de euros y toma la decisión de subcontratar a ICEM S.A para la labor de perforación y tronadura.

3.4 ICEM S.A

Empresa del rubro de la construcción perteneciente al grupo SALFACORP especializada en perforación y tronadura

Misión

Suministrar los servicios de “Perforaciones y Tronaduras – Sondajes para Exploraciones Geológicas” y crecer en forma sustentable, incrementando valor con excelencia y eficacia. Atendiendo a nuestros clientes con seriedad y flexibilidad, con especial preocupación por el desarrollo integral de las personas y así trascender a nivel nacional.

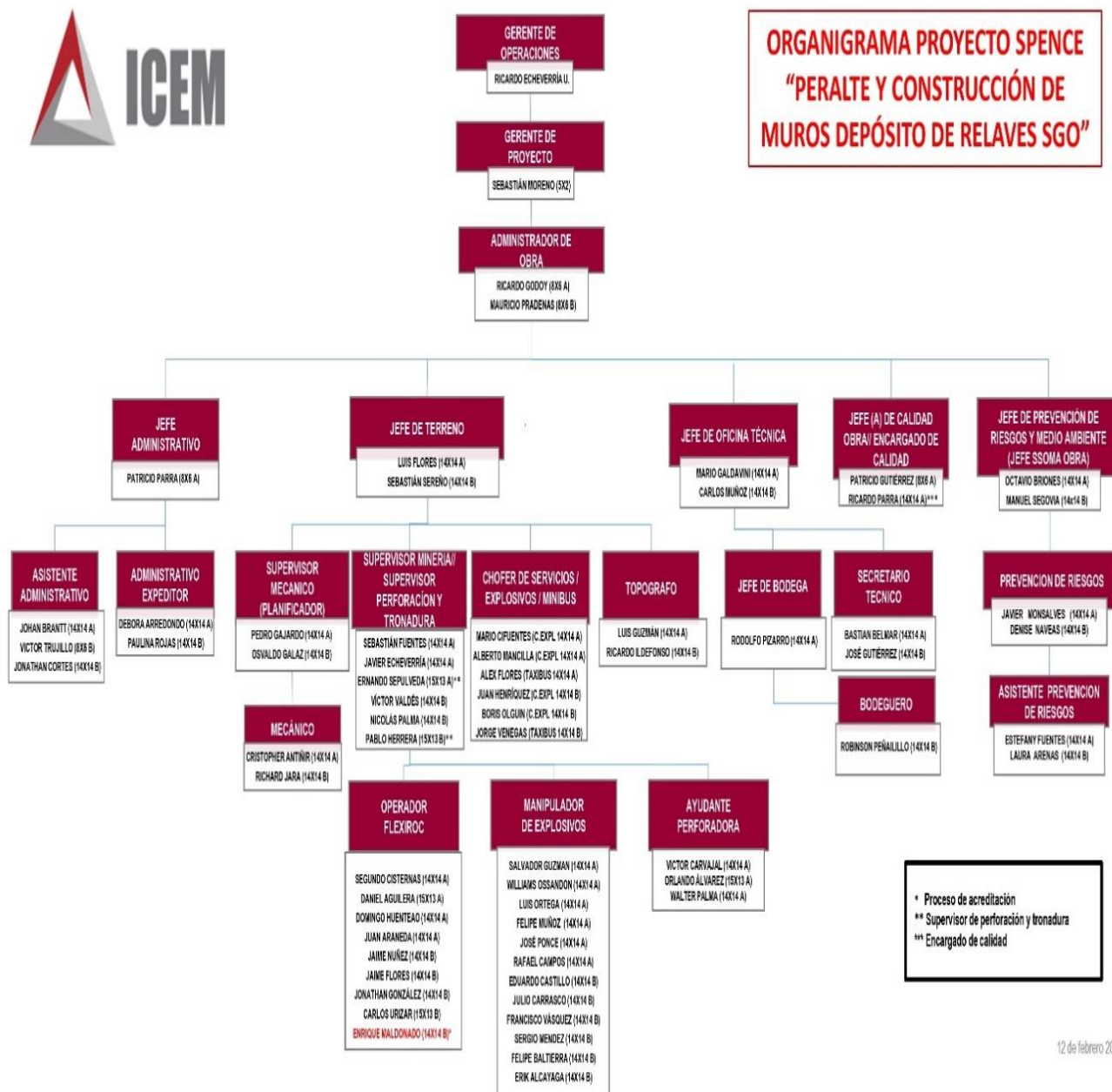
Visión

Liderar y ser un referente en los servicios de “Ejecución de Perforaciones y Tronaduras” y “Ejecución de Sondajes para Exploraciones Geológicas” a nivel nacional al año 2025.

3.5 ICEM S.A en Proyecto STWM

Organigrama

Ilustración 2: Organigrama del proyecto



3.6 Estudio inicial del proyecto

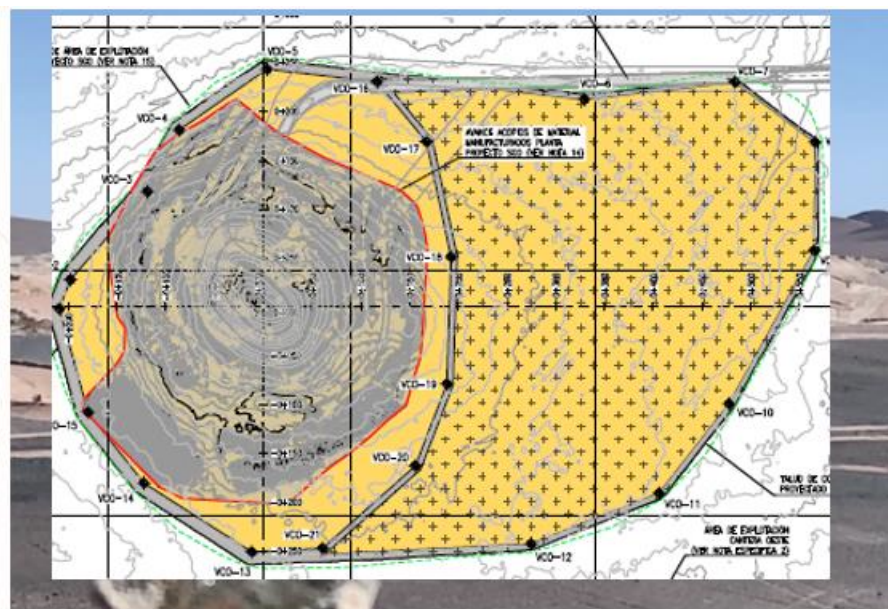
El equipo administrativo de ICEM, compuesto por los ingenieros: Ricardo Echeverría (Gerente de Operaciones), Ricardo Godoy (Administrador de Obra) y Mario Galdavini (Jefe de Oficina Técnica), en una reunión con ejecutivos de ICEM y Salfacorp, presentaron las condiciones iniciales del proyecto y el cronograma estimado para el cumplimiento del contrato.

En esta reunión se estableció en conjunto, que el proyecto tenía viabilidad técnica y económica.

Algunos de los datos más relevantes presentados en esta reunión fueron los siguientes:

3.6.1. Volumen de cantera y granulometría exigida

Ilustración 3: Volumen de roca a explotar



Volumen Cantera:
 1.483.115 m³
 1.000.000 m³ -20"
 483.115 m³ - 40"

Fuente: Informe técnico, BHP proyecto STWM

Las exigencias de Minera Spence BHP indican el requerimiento de 1.000.000 de metros cúbicos de roca de veinte pulgadas, y de 483.115 metros cúbicos de roca de cuarenta pulgadas, completando así, los parámetros del contrato.

3.6.2 Mano de obra a utilizar

Según los requerimientos de la obra y las estimaciones de avance y producción, se solicitó la siguiente cantidad de personal indirecto y directo.

Tabla 1: Personal indirecto

Cargo	cantidad	Turno
Ing. Administrador	2	14*14
Jefe de Terreno	2	14*14
Mecánico	4	14*14
Ayudante Mecanico	2	14*14
Soldador	2	14*14
Oficina Técnica	2	14*14
Control documental	2	14*14
Jefe de Calidad	2	14*14
Topografos	2	14*14
Bodeguero	2	14*14
Jefe. Prevención Riesgo B	2	14*14
Exp. Prevención Riesgo SNS	4	14*14
Chofer Servicios	4	14*14
Administrativo - Expeditor	2	14*14
Jefe Administrativo	2	14*14
Personal Indirecto	36	

Fuente: Carpeta de arranque, ICEM S.A.

Tabla 2: Personal directo

Cargo	cantidad	Turno
Supervisor Perforación	10	14*14
Supervisor Tronadura	2	14*14
Mineros	28	14*14
Operadores	20	14*14
Personal Directo	60	

Fuente: Carpeta de arranque, ICEM S.A.

3.6.3 Estimación de ingresos

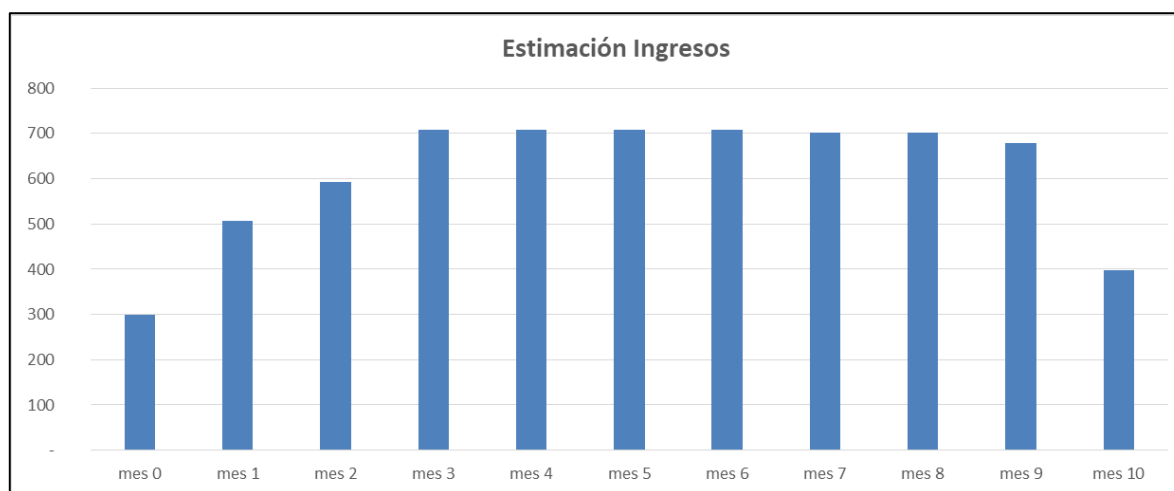
Se presenta la estimación de ingresos del proyecto

Tabla 3: Estimación de ingresos

ITEM	PARTIDA	mes 0	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	mes 7	mes 8	mes 9	mes 10
1	Movilización y desmovilización	28										\$ 28
2	Acreditación Personal	272										
3	Gastos Generales		153	153	153	153	153	153	153	153	153	153
4	Exc. Roca Sistema de Drenaje		152	152	152	152	152	152	152	152	152	
5	Exc. Cantera 20"		98	157	236	236	236	236	236	236	197	98
5,1	Exc. Cantera 40"		45	72	108	108	108	108	108	108	90	45
6	Exc. Roca Suelo de Fundación		59	59	59	59	59	59				
7	Exc. Roca Caminos										35	
8	Exc. Roca Diques de Protección											20
9	Exc. Roca Camara								53	53	53	53
		300	507	593	708	708	708	708	703	703	680	398
												6.714

Fuente: Carpeta de arranque, ICEM S.A.

Gráfico 1: Estimación de ingresos



Fuente: Carpeta de arranque, ICEM S.A.

Como se detalla en la tabla, cumplidos los diez meses se esperaba tener el ingreso establecido en el contrato

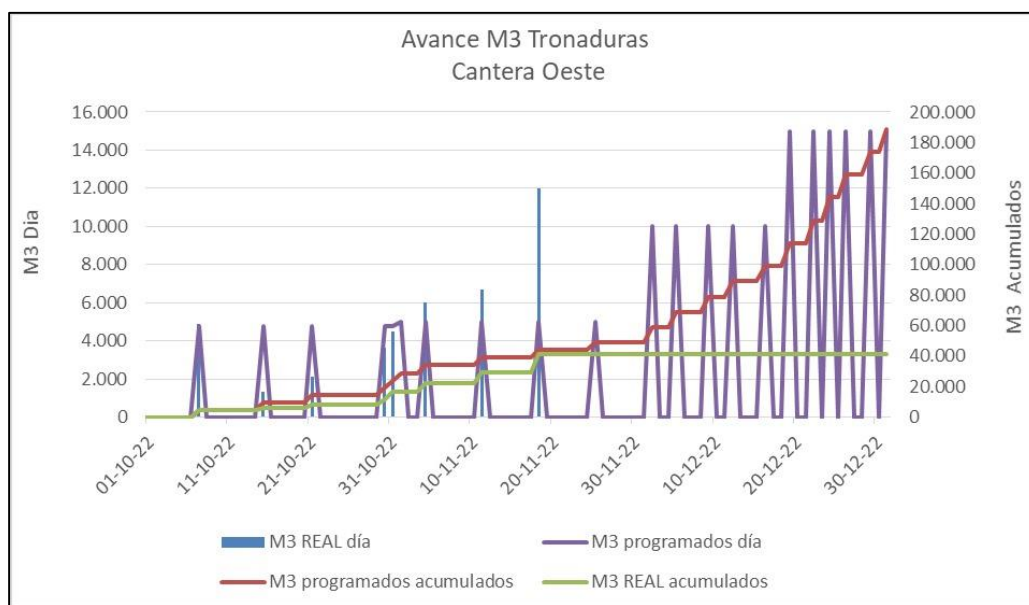
3.6.4 Estado actual del proyecto

Al mes de noviembre se reportan a través de Oficina Técnica los siguientes avances:

- Metros cúbicos de roca tronados ascienden a 40.000.
- La fuerza laboral reporta un total de 59 trabajadores, de los cuales son 32 indirectos y 27 directos.
- 6 procesos de tronadura han sido suspendidos a causa de cancelaciones de último minuto.
- La empresa aún no reporta ganancias, el proyecto tiene números negativos para ICEM S.A. y el costo actual es de \$500.000.000

3.6.5 Gráfico de tronaduras

Gráfico 2: Avance de tronaduras en metros cúbicos



Fuente: Informe semanal OTEC, ICEM S.A.

En el gráfico se puede observar que al séptimo mes de contrato y quedando solamente tres meses, los metros tronados equivalen a un 2,86 por ciento de avance en función al contrato original.

De no haberse cancelado las seis tronaduras, los metros cúbicos actuales serían aproximadamente 160.000, lo cual equivaldría al 11,43 por ciento del contrato original.

3.7 Análisis de situación actual

3.7.1 Reunión ejecutiva

El día 9 de noviembre de 2022 se realizó una reunión ejecutiva en las instalaciones de faena de ICEM S.A. al interior de la minera Spence BHP, la cual tuvo 7 participantes, fue dirigida por Ricardo Godoy, administrador de contrato y Bastián Belmar, secretario de oficina técnica y el tema principal fue comentar al personal administrativo de la empresa los problemas encontrados al trabajar en el área de oficina técnica y recibir una retroalimentación y una respuesta acerca de estas situaciones, la reunión tuvo una duración de 1 hora y media y se establecieron los siguientes acuerdos:

- Urge la necesidad de realizar cambios en relación a los problemas encontrados.
- Los problemas encontrados son reales y afectan al desarrollo del proyecto.
- Los problemas encontrados son solucionables en el corto o mediano plazo.
- La empresa está abierta a cooperar con toda la información necesaria para la solución de los problemas encontrados.
- Se entregarán las instancias durante el turno para analizar el desarrollo de la propuesta de mejora y formar una solución en conjunto.

3.7.2 Encuesta de percepción de problemas

El día 16 de noviembre de 2022 se realizó una charla a los trabajadores de terreno de la empresa, en el aeropuerto “El Loa” en la ciudad de Calama, donde se les comentaron los problemas encontrados y se les solicitó responder la siguiente encuesta:

Ilustración 4: Encuesta a personal directo

Encuesta de percepción de problemas

Nombre:

Cargo:

Turno:

Fecha:

En relación a los problemas mencionados en la charla previa, se solicita contestar con total honestidad las siguientes preguntas, cabe indicar que la encuesta es de carácter anónimo y ningún dato personal será almacenado ni podrá ser usado para tomar acción alguna más que el análisis de la situación actual del proyecto “Peralte y Construcción Muro Deposito de Relaves SGO”.

Encierre la opción de su preferencia

1.- ¿Considera usted que los problemas presentados son reales y afectan el desarrollo de sus funciones?

- Si

- No

2.- ¿Considera usted que la empresa ICEM S.A. debería tomar acciones en el corto plazo acerca de estos problemas?

- Si

- No

3.- ¿Considera usted que su seguridad como trabajador se ve afectada a causa de las situaciones nombradas?

- Si

- No

4.- ¿Considera que su productividad como trabajador aumentaría de solucionarse los problemas encontrados?

- Si

- No

Fuente: Elaboración propia

La charla y posterior encuesta tuvo una participación de 16 personas y se realizó tanto para el turno A como para el turno B, por este motivo fue realizada en el aeropuerto de Calama durante el proceso de cambio de turno.

Justificación de preguntas

1.- ¿Considera usted que los problemas presentados son reales y afectan el desarrollo de sus funciones?

Justificación: En esta pregunta se busca fundamentar la validez de los problemas desde el punto de vista de los trabajadores de terreno, que son los más afectados físicamente a causa de estos.

2.- ¿Considera usted que la empresa ICEM S.A. debería tomar acciones en el corto plazo acerca de estos problemas?

Justificación: En esta pregunta el objetivo es comprender si el trabajador siente la urgencia de que se den soluciones a estos problemas.

3.- ¿Considera usted que su seguridad como trabajador se ve afectada a causa de las situaciones nombradas?

Justificación: En esta pregunta se busca comprender si el trabajador se siente vulnerable a posibles accidentes de trabajo a causa de los problemas encontrados.

4.- ¿Considera que su productividad como trabajador aumentaría de solucionarse los problemas encontrados?

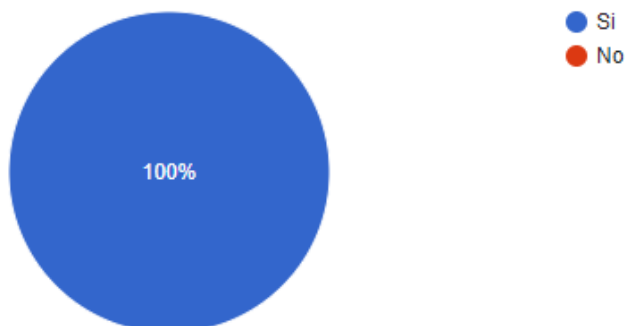
Justificación: En esta pregunta se busca analizar si el trabajador siente que podría desempeñarse de mejor manera en sus funciones si los problemas se solucionaran.

Los resultados fueron los siguientes:

Gráfico 3: Resultados pregunta N°1

¿Considera usted que los problemas presentados son reales y afectan el desarrollo de sus funciones?

24 respuestas



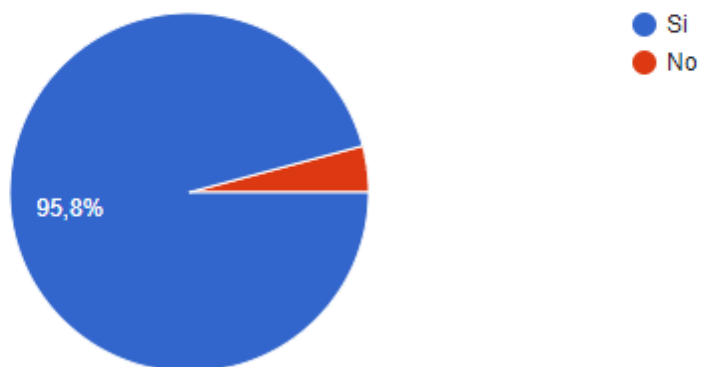
Fuente: Elaboración propia

El resultado arroja que el total de trabajadores considera que los problemas presentados son reales y afectan el desarrollo de sus funciones diarias.

Gráfico 4: Resultados pregunta N°2

¿Considera usted que la empresa ICEM S.A. debería tomar acciones en el corto plazo acerca de estos problemas?

24 respuestas



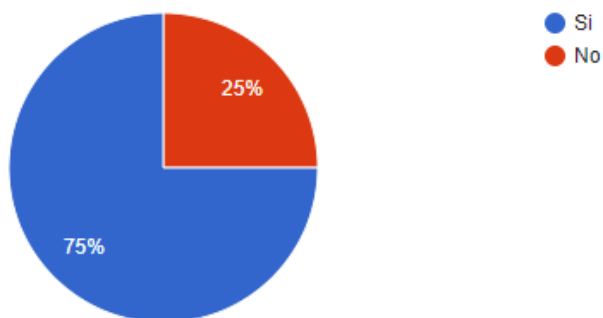
Fuente: Elaboración propia

Un 95.8 por ciento de los encuestados, correspondiente a 23 trabajadores, considera que la empresa debería tomar acciones a corto plazo acerca de los problemas presentados.

Gráfico 5: Resultados pregunta N°3

¿Considera usted que su seguridad como trabajador se ve afectada a causa de las situaciones nombradas?

24 respuestas



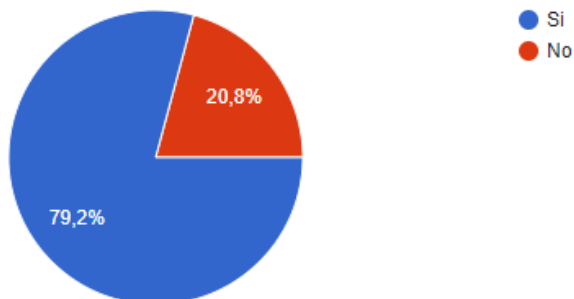
Fuente: Elaboración propia

Un 75 por ciento de los trabajadores de terreno consideran que su seguridad se ve afectada como trabajadores, y un cuarto del total de encuestados cree que no se ve afectada su seguridad en relación a los problemas encontrados.

Gráfico 6: Resultados pregunta N°4

¿Considera que su productividad como trabajador aumentaría de solucionarse los problemas encontrados?

24 respuestas



Fuente: Elaboración propia

Un 79.2 por ciento de los encuestados, correspondiente a 18 trabajadores de terreno, consideran que su productividad individual aumentaría a causa de la solución de los problemas encontrados.

Capítulo IV: Desarrollo

4.1 Problemas encontrados

Los problemas mencionados en la reunión ejecutiva fueron los siguientes:

- Solicitud tardía de tronaduras
- Citación a reunión tardía de tronaduras
- Actuar con el tiempo en contra
- Capacitaciones no dictadas
- Tipo de explosivo a utilizar
- Explosivo con mayor fragmentación
- Límite de explosivo semanal
- Polvorín de explosivos no administrado por ICEM
- Conteo insuficiente en tronaduras

4.2 Análisis y agrupación de problemas

Para el mejor desarrollo de la propuesta de solución, se dividirán los problemas de acuerdo a su área de afectación, identificándose dos de estas: producción y seguridad.

Agrupación de problemas

Producción:

- Polvorín no administrado por ICEM
- Actuar con el tiempo en contra

Seguridad:

- Tipo de explosivo a utilizar
- Actuar con el tiempo en contra

Con respecto al problema: Tipo de explosivo a utilizar, este no puede ser cambiado por otro explosivo debido a las siguientes razones.

- Precio del explosivo: este tipo de explosivos es considerablemente más barato que un explosivo moderno, lo que se traduce en costos para la empresa y menor beneficio monetario mensualmente.
- Poder destructivo: Al estar en un contrato en base a una meta de metros cúbicos de roca a explotar, no es pertinente cambiar a un tipo de explosivo de menor poder destructivo y fragmentación.

Esto también coincide con el análisis realizado en base a las investigaciones encontradas en el estado del arte, por ende, este problema no será atacado directamente.

Con respecto al problema: Polvorín no administrado por ICEM, al estar trabajando en una compañía minera propiedad de BHP, estos establecen que los explosivos sólo pueden ser administrados por la empresa ORICA y por no por empresas externas a esta.

El actuar con el tiempo en contra, es la causa de un sin número de consecuencias negativas en la empresa, al repetirse tanto en producción como en seguridad, y ser uno de los principales motivos de conflictos y atrasos del proyecto será el principal problema a atacar en esta propuesta de mejora.

4.3 Diagrama Causa efecto

A través de una lluvia de ideas se generaron 6 categorías, las cuales agrupan las causas que se consideran que generan impacto en el problema encontrado.

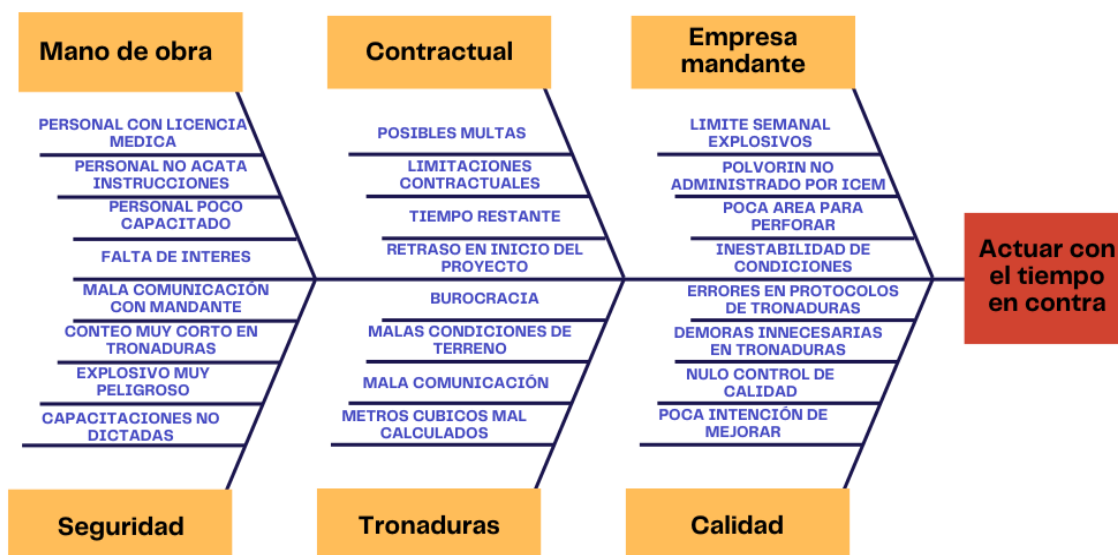
Las categorías son las siguientes:

- **Mano de obra:** causas referentes a personal de la empresa.

- **Contractual:** condiciones del contrato con empresa mandante.
- **Empresa mandante:** causas referentes a empresa mandante (VOB).
- **Seguridad:** causas referentes a la seguridad de los trabajadores.
- **Tronaduras:** temas específicos de los procesos de tronadura.
- **Calidad:** fallas del departamento de calidad de la empresa.

Se elaboró el siguiente diagrama de causa efecto:

Ilustración 5: Diagrama causa-efecto



Fuente: Elaboración propia

El gran efecto que producen todas estas causas es el actuar con el tiempo en contra, lo cual, de seguir ocurriendo, no mejorará la situación, es imperativo realizar un análisis de este problema y estudiar formas de resolver la situación y aminorar el retraso del proyecto.

Al revisar todas las causas encontradas, se identifican algunas que no tienen solución y son parte del proyecto, estos son:

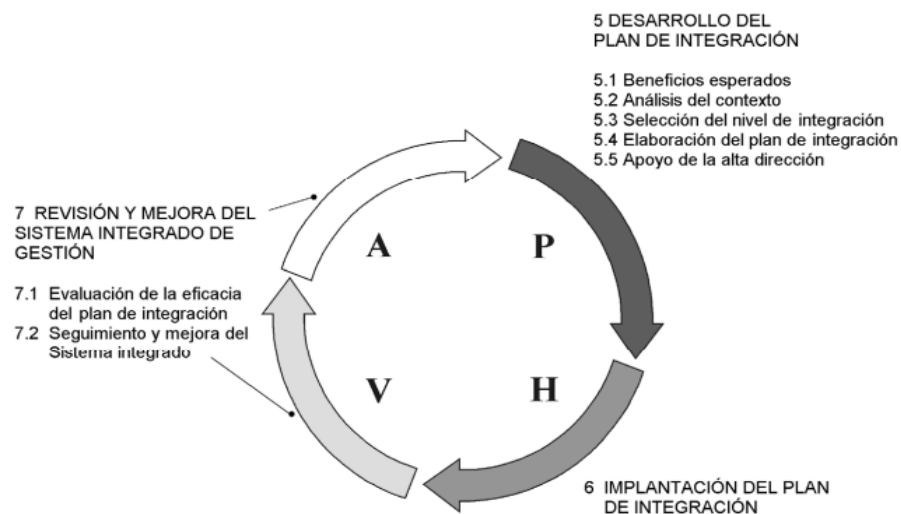
- Explosivo muy peligroso: es el único explosivo adecuado para tronaduras no controladas y que requieren un gran poder destructivo.
- Posibles multas: establecido por contrato.

- Limitaciones contractuales: establecido por contrato.
- Tiempo restante: esto no puede cambiar salvo se renueve el contrato, pero esto no depende completamente de ICEM, también depende del desempeño de Consorcio VOB ante la minera.
- Retraso en inicio del proyecto: esto no se puede deshacer.
- Limite semanal explosivos: no existe la posibilidad de contar con más explosivos a la semana debido a que Orica no tiene capacidad para hacer esto a un plazo de tres años.
- Polvorín no administrado por ICEM: Minera Spence sólo autoriza la administración de explosivos a la empresa Orica.

4.4 Ciclo PHVA

Posterior al análisis de causas y efectos se toma la decisión de enfrentar cada causa viable de solucionar como un problema en sí, en pos de solucionar parte del efecto principal.

Ilustración 6: Ciclo PHVA



Fuente: Sistemas de gestión de calidad. UNE 66175, 2005

4.4.1 Planificar:

Se genera una tabla donde se incluyen los problemas detectados, la posible solución y la prioridad (baja, media, alta y muy alta).

Tabla 4: Planificar

Problemas	Posible solución	Prioridad
Personal con licencia médica	Contratar personal nuevo a plazo fijo, evaluar su desempeño y revisar situación de trabajadores con licencia médica.	Media
Personal no acata instrucciones	Realizar charla con administrador de contrato.	Baja
Personal poco capacitado	Capacitar personal con cursos efectivos.	Media
Falta de interés	Realizar charla motivacional.	Baja
Mala comunicación con mandante	Reunión ejecutiva con gerentes de VOB, exponer inquietudes.	Alta
Conteo muy corto en tronaduras	Reunión ejecutiva con gerentes y jefes de prevención de riesgos de BHP para estudiar el tema.	Media

Capacitaciones no dictadas	Realizar capacitaciones faltantes a personal de terreno.	Media
Malas condiciones del terreno	Reunión con jefes de terreno y administradores de contrato de empresa mandante.	Alta
Mala comunicación (tronaduras)	Reunión interna jefes de terreno y supervisores de minería.	Alta
Metros cúbicos mal calculados	Realizar capacitación a topógrafos y/o aumentar presupuesto para materiales topográficos.	Muy alta
Poca área para perforar	Realizar reunión con equipos de terreno, supervisores y administradores de contrato de VOB.	Muy alta
Inestabilidad de condiciones	Generar reunión con administración de obra de Minera BHP para exponer condiciones actuales de trabajo y solicitar mejoras.	Alta

Errores en protocolos de tronadura	Mejorar revisión de protocolos de tronaduras previo a su entrega a empresa mandante y Minera BHP.	Muy alta
Demoras innecesarias en tronaduras	Reunión con jefaturas de empresa mandante y de Minera BHP para intentar disminuir la burocracia.	Muy alta
Nulo control de calidad	Reunión con jefaturas de empresa mandante y de Minera BHP para intentar disminuir la burocracia.	Alta
Poca intención de mejorar	Despedir a jefe de calidad por necesidades de la empresa y contratar a un encargado de calidad de terreno.	Alta

Fuente: Elaboración propia

La columna "Prioridad" fue completada según la siguiente tabla de puntuación.

Tabla 5: Puntuación

Criterio	Valor
El problema afecta mínimamente el desarrollo del proyecto.	Baja
El problema afecta medianamente el desarrollo del proyecto.	Media
El problema afecta en gran manera al desarrollo del proyecto.	Alta
El problema afecta de manera crítica al proyecto. Existe el riesgo de perder el contrato.	Muy alta

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Hacer:

Se elaboró una tabla similar a la anterior, pero esta incluye los pasos para la implementación de la posible solución.

En esta etapa la empresa debe tomar acciones y comenzar a implementar las soluciones.

Tabla 6: Hacer

Problemas	Posible solución	Pasos para implementación
Personal con licencia médica	Contratar personal nuevo a plazo fijo, evaluar su desempeño y revisar situación de trabajadores con licencia.	Gestionar con RR.HH. Gestionar acreditación de personal. Contactar personal.
Personal no acata instrucciones	Realizar charla con administrador para cambiar la actitud de los trabajadores	Organizar presentación. Generar acta de reunión. Coordinar reunión.
Personal poco capacitado	Capacitar personal con cursos efectivos.	Solicitar cursos a BHP. Benchmarking.
Falta de interés	Realizar charla motivacional.	Organizar actividad lúdica. Coordinar actividad.
Mala comunicación con mandante	Reunión ejecutiva con gerentes de VOB, exponer inquietudes.	Organizar reunión con VOB. Evidenciar problemas con tablas o gráficos.

Conteo muy corto en tronaduras	Reunión ejecutiva con gerentes y jefes de prevención de riesgos de BHP para estudiar el tema.	Preparar reunión. Sugerir ampliar tiempo de conteo en tronaduras por la seguridad de los trabajadores.
Capacitaciones no dictadas	Realizar capacitaciones faltantes.	Buscar capacitaciones incompletas o no dictadas y realizarlas correctamente.
Malas condiciones del terreno	Reunión con jefes de terreno y administradores de contrato de empresa mandante.	Organizar reunión. Presentar problemas encontrados. Exigir solución urgente.
Mala comunicación (tronaduras)	Reunión interna jefes de terreno y supervisores de minería.	Organizar reunión. Exponer problema. Buscar solución en conjunto.
Metros cúbicos mal calculados	Realizar capacitación a topógrafos y/o aumentar presupuesto para materiales topográficos.	Implementar software de cálculo. Adquirir GPS de alta precisión. Capacitar a topógrafos por posible error operacional.
Poca área para perforar	Realizar reunión con equipos de terreno, supervisores y	Organizar reunión. Exponer problema.

	administradores de contrato de VOB.	Solicitar maquinaria pesada para limpiar áreas para perforar.
Inestabilidad de condiciones	Generar reunión con administración de obra de Minera BHP para exponer condiciones actuales de trabajo y solicitar mejoras.	Organizar reunión. Elaborar presentación con fotos de las condiciones actuales de las instalaciones de faena.
Errores en protocolos de tronadura	Mejorar revisión de protocolos de tronaduras previo a su entrega a empresa mandante y Minera BHP.	Administrador de contrato debe exponer al jefe de calidad los errores cometidos en la revisión de los protocolos e intentar no volver a repetir el error.
Demoras innecesarias en tronaduras	Reunión con jefaturas de empresa mandante y de Minera BHP para intentar disminuir la burocracia.	Generar reunión. Presentar inquietudes. Buscar reducir documentación y procedimientos requeridos.
Nulo control de calidad	Despedir a jefe de calidad por necesidades de la empresa y contratar a un encargado de calidad de terreno.	Despedir de inmediato al responsable de calidad de la empresa por no cumplir sus funciones, no asistir a terreno a revisar tronaduras ni revisar correctamente protocolos.
Poca intención de mejorar (Calidad)	Despedir a jefe de calidad por necesidades	Despedir de inmediato al responsable de calidad de

	de la empresa y contratar a un encargado de calidad de terreno.	la empresa por no cumplir sus funciones, no tener motivación ni espíritu de liderazgo para continuar con el proyecto.
--	---	---

Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Verificar:

Para la etapa de verificación de la estrategia se elaboró la siguiente lista de chequeo, contiene las posibles soluciones y tres preguntas de inspección para comprobar si la estrategia se está efectuando y su viabilidad, además de un espacio para añadir observaciones en cada posible solución.

Tabla 7: Verificar

Posible solución	Inspección	SI NO		Observaciones
		SI	NO	
Contratar personal nuevo a plazo fijo, evaluar su desempeño y revisar situación de trabajadores con licencia.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Realizar charla con administrador de contrato para cambiar la actitud de los trabajadores.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Capacitar personal con cursos efectivos.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Realizar charla motivacional.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Reunión ejecutiva con gerentes de VOB, exponer inquietudes.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Reunión ejecutiva con gerentes y jefes de prevención de riesgos de BHP para estudiar el tema.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Realizar capacitaciones faltantes.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Reunión con jefes de terreno y administradores de contrato de empresa mandante.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Reunión interna jefes de terreno y supervisores de minería.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Realizar capacitación a topógrafos y/o aumentar presupuesto para materiales topográficos.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Realizar reunión con equipos de terreno, supervisores y administradores de contrato de VOB.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Generar reunión con administración de obra de Minera BHP para exponer condiciones actuales de trabajo y solicitar mejoras.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Mejorar revisión de protocolos de tronaduras previo a su entrega a empresa mandante y Minera BHP.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Reunión con jefaturas de empresa mandante y de Minera BHP para intentar disminuir la burocracia.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Despedir a jefe de calidad por necesidades de la empresa y contratar a un encargado de calidad de terreno.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			
Despedir a jefe de calidad por necesidades de la empresa y contratar a un encargado de calidad de terreno.	¿Se ha hecho algo al respecto?			
	¿El personal esta consciente de la situación?			
	¿Es viable la solución?			

Fuente: Elaboración propia

Esta lista de chequeo debe ser completada por la administración de la obra al menos una vez por semana para hacer un correcto seguimiento al proceso de mejora.

4.4.4 Actuar:

- Si una o más de las posibles soluciones de la lista de chequeo se determina no viable se puede proponer otra solución para el problema, o complementar con la que ya existe para atacar de mejor manera el problema.
- Si se identifican nuevos problemas se pueden añadir a la etapa uno “Planificar” del ciclo de Deming y se comienza a crear la estrategia para enfrentar el problema desde esa etapa y generar un plan de acción para resolver la situación.
- Si un problema es solucionado debe dejarse en la lista, para que en un futuro si aparecen problemas similares, quede reflejado como se les dio solución.

Así este proceso funciona finalmente como un ciclo de mejora continua.

Capítulo V: Presentación de resultados

A través del estudio realizado en la organización y las capacidades obtenidas en la carrera de Ingeniería Civil Industrial, se generó una propuesta de mejora en el proceso de tronadura del proyecto “Peralte y construcción de muro depósito de relaves SGO”, la cual está fundada sobre un sistema de mejora continua, y puede ser utilizada tanto en el presente proyecto, como en otros en los que la empresa tenga actual o futura intervención.

Se genera un sistema de control y gestión de problemas, el cual está compuesto por tablas de fácil interacción, basadas en las etapas del ciclo de Deming, las cuales describen un orden para enfrentar las problemáticas del proyecto y poder aprender de estas situaciones para saber cómo enfrentarlas en un futuro.

Se hace entrega de la propuesta de mejora a la empresa, la cual puede ser utilizada para gestionar de mejor manera los problemas que se presentan actualmente en el proyecto, u otros problemas que puedan generarse en el futuro.

Capítulo VI: Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones

6.1 Discusión de resultados

Los resultados generados, junto con el método utilizado para el análisis y la resolución de problemas, están enfocados en las habilidades adquiridas durante la carrera de Ingeniería Industrial, con principal énfasis en la gestión y en sistemas de mejora continua.

En relación a los resultados del artículo del estado del arte: “Aplicación del círculo de Deming para optimizar la actividad de voladura en veta Jimena de Compañía Minera Poderosa S.A.”, estos se enfocan en la aplicación del método, en cambio, la generada en la presente memoria es una propuesta de mejora, la implementación de esta propuesta depende de los recursos de la organización, estado del proyecto, economía del país, entre otros.

Se observa que la metodología aplicada en la presente memoria es más sencilla y fácil de implementar que la utilizada en Perú, sin embargo, aquella nos entrega resultados tangibles en aspectos como seguridad, calidad y medioambiente. Lo cual es de gran importancia para tener en consideración durante la implementación de la propuesta de mejora y futuras líneas de investigación.

Los resultados de esta investigación no son solamente aplicables al proyecto en curso, debido a que ICEM S.A. tiene otros doce proyectos a lo largo del país, así como proyectos futuros, todos cuales su principal actividad y fuente de ingresos, son las tronaduras.

La implementación de la propuesta siempre va a estar limitada según el contexto económico del país, los plazos de ejecución de las operaciones, los recursos de la empresa y la voluntad de sus jefaturas.

Con respecto a la validez interna de los resultados, estos son confiables debido a que las personas las cuales fueron consultadas al interior de la organización para la construcción de la propuesta de mejora y posterior implementación, tienen años de experiencia en proyectos similares, así como

formación académica de gran valor. Y estas mostraron total interés en profundizar en la propuesta de mejora y en implementarla no tan solo en el proyecto, sino en el Departamento de Calidad de ICEM S.A. Todo este trabajo colaborativo se realizó físicamente en el mismo proyecto, tanto en las instalaciones de faena como en terreno. En relación a los autores consultados para la construcción de la propuesta, estos han sido utilizados en cientos de ocasiones para la elaboración de sistemas de mejora efectivos y funcionales al día de hoy en organizaciones a lo largo del mundo.

La organización queda completamente abierta a ser abordada por estudiantes de la universidad para líneas futuras de investigación en sus proyectos, utilizando la misma u otra metodología.

Los resultados de esta investigación tuvieron un impacto positivo dentro de la organización, personal de la empresa, tanto administrativo como de terreno, participó activamente en la construcción y afinamiento de la propuesta de mejora. Y ha reconocido la necesidad de generar más instancias de ser estudiados como empresa.

La organización no era consciente de todos los problemas que aquejaban el proyecto, sin embargo, gracias a esta investigación, se volvieron un tema de discusión general y están en vías de ser solucionados.

6.2 Conclusiones

Se elaboró una propuesta de mejora para el proceso de tronadura del proyecto “Peralte y Construcción de Muro Depósito de Relaves SGO” al interior de las instalaciones de la Minera Spence, perteneciente a la Compañía Minera BHP Billiton, el cual es ejecutado por la empresa ICEM S.A. Esta propuesta fue desarrollada desde sus cimientos en colaboración con el personal de la empresa, y actualmente sigue siendo modificada y actualizada para su pronta implementación.

Para esto, primeramente, se elaboró un análisis de la situación actual del proyecto y la empresa con respecto a las problemáticas encontradas, lo cual fue realizado considerando personal de cualquier nivel jerárquico que tuviera intervención o fuese afectado por estas situaciones.

Se diagnosticaron las causas de los problemas encontrados a través de un diagrama de causa-efecto, y de la ayuda de los datos e información entregada por la empresa.

Finalmente, la propuesta de mejora considera un sistema de mejora continua, elaborándose éste a través de la metodología Ciclo de Deming o Ciclo PHVA, quedando en manos de la organización para ser utilizado en la mejora del proceso de tronaduras del proyecto.

6.3 Recomendaciones

Se recomienda, primeramente, continuar con el desarrollo y afinamiento del sistema de mejora entregado para su implementación al sistema de gestión de la empresa ICEM S.A., así como realizar un correcto y constante seguimiento a cada etapa del proceso, siendo esto, clave para que se garantice la mejora continua del proceso de tronadura.

Se recomienda a la empresa, tomar más en consideración la opinión de los trabajadores de terreno, debido a que no se considera correcto el intentar solucionar los problemas desde una mirada lejana a lo que ocurre a nivel operativo. El cruce de información, de terreno hacia administración o viceversa, puede prevenir problemas que afecten al proyecto, o que podrían agravarse de no ser intervenidos a tiempo.

Si bien ICEM S.A. cuenta con un sistema de gestión integrado, este no considera la variabilidad entre los distintos proyectos, y sólo exige reportes mensuales y documentación, para el cumplimiento de las auditorías. Se insta a la empresa a generar sistemas específicos para cada proyecto, donde se promueva el análisis de cada proyecto y sus problemáticas, con el fin de generar sistemas de mejora y solución de problemas. La implementación de un cuadro de mando integral podría ser de gran ayuda para el control de las mejoras a realizar.

Capítulo VII: Bibliografía y Referencias

7.1 Bibliografía

- Celaya, T. O. (2005). UNE 66177: Guía para la integración de sistemas. *UNE: boletín mensual de AENOR*.
- Zapata, A. (2016). *Ciclo de la calidad PHVA*. Universidad Nacional de Colombia.
- Gutiérrez Pulido, H. (2014). Calidad y productividad.
- Narro, C. L., & Villanueva, E. J. (2014). Aplicación del círculo de Deming para optimizar la actividad de voladura en veta Jimena de Compañía Minera Poderosa S.A. (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/11172>.
- Hernández, E. (2019). Estudio comparativo de la sobre excavación en desarrollos horizontales con ANFO versus desarrollos realizados con emulsión en la Mina Esmeralda, división El Teniente, CODELCO Chile. Repositorio de la Universidad Técnica Federico Santa María. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/47313>.
- Alcalde, J. (2020). Emulsión gasificada en reemplazo de Heavy ANFO para reducir el P80 en la fragmentación e incrementar la productividad en carguío, acarreo y chancado en la mina Shougang Hierro Perú. Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15735>.
- Gutiérrez, A. (2005). Aplicación de los círculos de calidad en una organización. Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/10503>.
- Instituto uruguayo de normas técnicas. (2009). Herramientas para la mejora de la calidad. Obtenido de

<https://qualitasbiblo.files.wordpress.com/2013/01/libro-herramientas-para-la-mejora-de-la-calidad-curso-unit.pdf>.

- García, M., Quispe, C., & Ráez, L. (2003). Mejora continua de la calidad en los procesos. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81606112.pdf>.


7.2 Referencias

- Minería Chilena. (7 de septiembre de 2010). Seis muertos dejan errónea manipulación de explosivos en ruta minera de Antofagasta. Obtenido de <https://www.mch.cl/2010/09/07/seis-muertos-deja-erronea-manipulacion-de-explosivos-en-ruta-minera-de-antofagasta/>
- ICEM S.A. (2022). Página oficial de la empresa. Obtenido de <http://www.icem.cl/nosotros/>
- Bolsa de Santiago. (17 de agosto de 2022) Estados financieros consolidados intermedios Salfacorp y filiales. Obtenido de <http://apiws.bolsadesantiago.com/ifrs/newobtenerpdf.asp?nemo=SALFACORP>
- Estadísticas de Accidentabilidad Industria Extractiva Minera. (2020) SERNAGEOMIN. Obtenido de https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2021/04/Accidentabilidad_Minera_2020.pdf
- Contrato Prestación Servicios Perforación y Tronadura a Precio Unit v0 (31 de marzo de 2022).
- Mining Magazine (10 de enero de 2022). BHP Completes expansion of Chile tailings dam. Obtenido de <https://www.miningmagazine.com/design-build/news/1424285/bhp-completes-expansion-of-chile-tailings-dam>
- Consejo minero (2023) ¿Qué es el consejo minero? Obtenido de <https://consejominero.cl/nosotros/socios/bhp/>
- Gutiérrez, H. (2014). Calidad y Productividad. 4ª ed. México: Mc Graw Hill.
- Zapata, A. (2016). Ciclo de la calidad PHVA. Universidad Nacional de Colombia.
- World Energy Trade (2021). Las cinco mayores empresas mineras del mundo. Obtenido de

<https://www.worldenergytrade.com/metales/mineria/las-cinco-mayores-empresas-mineras-del-mundo/>

Anexos

Anexo 1: Acta de reunión ejecutiva

	ACTA DE REUNIONES		
	Código: REG-GGL-01	Fecha: 24/08/2016	Revisión: 01

Convocado por: Ricardo Godoy, Bastián Belmar	
Fecha Reunión: 9 de noviembre de 2022	Hora de inicio: 08:30
Lugar: Oficinas ICEM (IIFC Consorcio VOB)	Hora de termino: 10:00
Objeto de la Reunión: Problemáticas encontradas en el proyecto	

PARTICIPANTES					
Nombre	Inicial	Nombre	Inicial	Nombre	Inicial
Ricardo Godoy	RG	Patricio Gutiérrez	PG	Sebastián Moreno	SM
Bastián Belmar	BB	Patricio Parra	PP	Sebastián Fuentes	SF
Mario Galdavini	MG	Octavio Briones	OB	Luis Flores	LF

PROBLEMAS	
1	Solicitud tardía para realización de tronaduras.
2	Excesiva burocracia en procesos previos a tronaduras.
3	Actuar con el tiempo en contra.
4	Capacitaciones mal dictadas.
5	Riesgo de accidentes por tipo de explosivo utilizado.
6	Conteo insuficiente en tronaduras.
7	Límite de explosivo semanal.
8	Polvorín no administrado por ICEM.

N°	ACUERDOS	POR	FECHA	REALIZADO
1	Realizar cambios en relación a los problemas encontrados.	PROYECTO	09-11-22	OK
2	Problemas son reales y afectan el desarrollo del proyecto.	PROYECTO	09-11-22	OK
3	Los problemas son solucionables a corto/mediano plazo.	PROYECTO	09-11-22	OK
4	Empresa disponible para colaborar en la solución de los problemas.	PROYECTO	09-11-22	OK
5	Entregar instancias para analizar propuestas de mejora.	RG, SM	09-11-22	OK