

Muros de confinamiento para la fortificación de labores subterráneas.

Carrera: Ingeniería civil industrial.

Asignatura: Proyecto de título.

Profesor: Gregorio Llanos.

Fecha de envío: 11/12/2024

Nombre(s) de estudiante(s): Ariel Lara

Tabla de contenido

Introducción	4
A. Identificar problemas y oportunidades en el contexto empresarial.....	5
B. Empatizar y comprender.....	7
• Mapa de empatía.....	8
• Matriz AEIOU.....	10
• Diagrama causa y efecto.	11
• Árbol de problemas	12
• Mapa de contexto.....	14
C. Entrevistas, insights y puntos de vista.....	15
• Entrevistas	15
D. Definición del problema y redacción del desafío.....	17
• Problema.....	17
• Desafío.	17
E. Lluvia de ideas.....	18
• Mapa de afinidad.....	20
• Scamper.....	21
• Elección de 3 ideas.....	22
F. Validación de solución.....	23
• Luis Contreras, jefe de terreno de la empresa Acop.	24
• Eduardo Castro, jefe de turno de la empresa Acop.	26
• Alan Castro, jefe de operaciones de la empresa Acop.	29
G. Business model canvas.....	31
• Segmento con clientes	31
• Propuesta de valor.....	33
• Canales.....	39
• Relación con los clientes	39
• Flujo de ingresos.....	40
• Recursos claves	41
• Actividades claves	41
• Socios claves	42

• Estructura de costos.....	43
H. Modelo lean canvas.....	45
• Segmentos de clientes.....	45
• Problema.....	45
• Propuesta de valor.....	47
• Solución.....	47
• Canales.....	47
• Flujo de ingreso.....	48
• Estructura de costos.....	48
• Métricas claves.....	48
• Ventaja especial.....	49
I. La experiencia del cliente.....	50
• Claudio Barria, geomecánico de la división Chuquicamata de Codelco.....	51
• Manuel Pizarro, geomecánico de la división Chuquicamata de Codelco.....	51
J. Inspiración del prototipado.....	52
• Objetivo Principal:.....	52
• Concepto Central: “Muros de Confinamiento de Alta Resistencia”.....	52
• Componentes Esenciales del Prototipo:.....	52
• Propuesta Visual (Sketch o Diagrama Simple):.....	54
• Experiencia del Cliente (Codelco) con el Método ACOP:.....	54
• Elemento de Inspiración: Sostenibilidad y Eficiencia en Minería Subterránea.....	55
K. Validación de prototipo.....	56
L. Flujo de caja.....	58
M. Análisis de sensibilidad.....	62
N. Conclusión.....	63
O. Referencias bibliográficas.....	65

Introducción

La fortificación de túneles en minería subterránea es un aspecto crucial para garantizar la estabilidad de las estructuras y la seguridad de los trabajadores en un entorno altamente desafiante. Este proceso involucra el uso de técnicas y materiales especializados para prevenir derrumbes y asegurar la integridad de los túneles, especialmente en condiciones de macizos rocosos de baja calidad. La presente investigación analiza los métodos de fortificación aplicados en la minería subterránea, con un enfoque en las operaciones de empresas como Codelco en la mina Chuquicamata, donde la estabilidad del macizo es un reto constante.

En este contexto, se exploran tanto los factores externos —como las condiciones geológicas, normativas, y demandas del mercado— como los factores internos, incluyendo las capacidades técnicas, los recursos financieros, y la cultura de seguridad de la empresa. Además, se profundiza en la implementación de sistemas de fortificación que utilizan tecnologías avanzadas, como pernos helicoidales, cables y hormigón bombeable, evaluando su eficacia en comparación con métodos tradicionales.

Esta investigación ofrece una visión integral de las dinámicas involucradas en la fortificación de túneles, destacando los desafíos y oportunidades que enfrenta la industria minera subterránea en su esfuerzo por garantizar operaciones seguras y sostenibles.

A. Identificar problemas y oportunidades en el contexto empresarial.

- ¿Por qué creen que esto es un problema relevante?

Es relevando, puesto que la baja estabilidad del macizo rocoso, ocasionada por problemas como sobre excavación generada por cálculos incorrectos en la cantidad o tipo de explosivo utilizado durante la construcción del túnel o talud, o la mala calidad de la roca, puede resultar en derrumbes peligrosos. Pudiendo afectar la seguridad de quienes transitan por el túnel o se encuentran cerca del talud, e incluso podrían provocar el colapso de pilares y la caída de niveles completos que estos sostienen. Por lo tanto, la implementación de un sistema de fortificación que solucione esta problemática es crucial para garantizar la seguridad y la estabilidad.

- ¿Quién tiene este problema?

Este problema afecta a empresas involucradas en la minería subterránea y a aquellas dedicadas a la construcción de túneles o excavaciones subterráneas.

- ¿Por qué vale la pena resolverlo?

Resolver este problema es fundamental para proteger la inversión realizada en la construcción de las labores subterráneas y para mejorar la seguridad de los trabajadores que utilizarán estas infraestructuras en el futuro.

- ¿Qué impactos creen que podría tener en la industria resolver este problema?

La solución a este problema tendría un impacto positivo y significativo. Proporcionaría a las empresas una solución confiable para evitar pérdidas de inversiones y reducir los costos adicionales asociados a reparaciones o fallos estructurales.

- ¿Qué es lo valioso a resolver?

Prevención de posibles derrumbes causados por la baja estabilidad del macizo rocoso.

- ¿Para qué queremos resolver este desafío?

Queremos resolver este desafío para construir infraestructuras subterráneas que sean seguras, de alta calidad y económicamente viables.

- ¿Cuál es el resultado esperado?

El resultado esperado es la implementación efectiva de un sistema de fortificación, validado mediante pruebas realizadas por geomecánicos de Codelco, que demuestre su eficacia en garantizar la estabilidad y seguridad de la fortificación.

B. Empatizar y comprender.

- ¿Cómo conectan con nuestro producto/servicio?

Nuestro producto ofrece una solución preventiva para evitar derrumbes en labores subterráneas causados por la baja estabilidad de la roca. Mediante nuestra fortificación, garantizamos una construcción duradera y resistente, proporcionando confianza y alta calidad en la infraestructura subterránea.

- ¿En qué circunstancias y contextos?

Nuestra solución es aplicable en cualquier labor subterránea que implique estructuras críticas, como pilares de soporte en paredes, túneles mineros, túneles de transporte, taludes en carreteras, estacionamientos subterráneos, entre otros.

- ¿De qué manera se ven afectados por el ambiente?

Un trabajo mal ejecutado por una empresa puede tener un impacto significativo en el ambiente y la satisfacción de nuestros clientes. Los problemas resultantes de una ejecución deficiente pueden causar enojo, frustración y retrasos en los proyectos. Estos inconvenientes no solo afectan la planificación y ejecución de los proyectos, sino que también pueden incrementar los costos y el tiempo requerido para corregir los errores. Por lo tanto, la calidad en la ejecución es fundamental para evitar estos problemas y asegurar la satisfacción del cliente.

- **Mapa de empatía.**

El análisis del Mapa de Empatía revela que la implementación de métodos de fortificación en minería subterránea está profundamente influenciada por las necesidades de seguridad, la presión operativa y la búsqueda de soluciones técnicas validadas. Desde la perspectiva de los trabajadores y supervisores, los mayores desafíos se centran en la gestión de la inestabilidad del macizo rocoso, los altos costos de materiales y la necesidad de garantizar la continuidad de las operaciones. La fortificación, con técnicas como los muros de confinamiento y el uso de materiales especializados, se percibe como una solución eficaz que no solo mejora la seguridad, sino que también asegura el cumplimiento de metas operativas y plazos.

Las principales "ganancias" de este enfoque están relacionadas con la mejora en la seguridad del personal y la protección de la infraestructura. Sin embargo, los "dolores" reflejan la constante preocupación por los costos y la posible interrupción operativa que los derrumbes pueden causar. Este análisis muestra la importancia de aplicar tecnologías confiables y validadas para resolver problemas complejos en entornos mineros, donde el éxito depende de un equilibrio entre seguridad, eficiencia y control de costos.

A continuación, se muestra un mapa de empatía en la figura (B.1)



Mapa De Empatía

Nombre: Ariel Lara



Figura B.1 mapa de empatía.

- **Matriz AEIOU.**

El análisis AEIOU proporciona una visión integral del proceso de fortificación en minería subterránea, destacando la importancia de coordinar actividades, asegurar interacciones efectivas entre los diversos actores involucrados y garantizar que el entorno desafiante de las minas sea gestionado de manera segura mediante el uso adecuado de objetos y materiales especializados. Los usuarios finales dependen de la eficiencia y seguridad de estos métodos para la viabilidad a largo plazo de las operaciones mineras. A continuación, se muestra la matriz AEIOU en la figura B.2

MATRIZ AEIOU				
ACTIVIDADES	ENTORNO	INTERACCIONES	OBJETOS	USUARIOS
Este diseño de fortificación se utilizará para asegurar la resitencia de pilar o muro que tenga como objetivo sostener un techo o pared subterránea.	Este método de fortificación esta orientado a utilizarse en entornos de labores subterráneas o taludes, tanto como en minería o en obras civiles.	Este diseño esta orientado a interactuar con zonas de baja resitencia de macizo rocoso por sobre excavaciones de la roca.	Los objetos o materiales a utilizar son los necesarios para asegurar una fortificación definitiva y duradera en el tiempo, talos como: mallas electrosoldadas, pernos de anclaje, armadura de fierro armada y hormigón autonivelante.	Se realiza esta fortificación para empresas de grandes proyectos subterráneos como empresas mineras o también para empresas dedicadas a la construcción como empresas constructoras de carreteras o túneles.

Figura B.2 Matriz AEIOU.

- **Diagrama causa y efecto.**

El diagrama de causa y efecto muestra que los problemas de inestabilidad del macizo rocoso y los derrumbes en túneles están influenciados por múltiples factores. Estos incluyen la calidad de los materiales, la efectividad de las técnicas de fortificación, el estado de los equipos, las condiciones del entorno geotécnico, la capacitación de la mano de obra, y los procesos de gestión y planificación. Para mitigar estos riesgos, es crucial abordar cada una de estas causas con soluciones específicas que fortalezcan la seguridad y eficiencia de las operaciones subterráneas. A continuación, se muestra un diagrama causa y efecto en la figura B.3



Figura B.3 diagrama causa y efecto.

- **Árbol de problemas**

El análisis del árbol de problemas muestra cómo la inestabilidad del macizo rocoso en minería subterránea es un fenómeno multidimensional, causado principalmente por factores geotécnicos, problemas en los métodos de fortificación, materiales inadecuados, falta de capacitación y deficiencias en la planificación. Estas causas se entrelazan para crear una serie de efectos graves que afectan tanto la seguridad de los trabajadores como la eficiencia operativa y económica del proyecto minero. La clave para mitigar estos efectos radica en abordar las causas raíz a través de mejores técnicas de fortificación, el uso de materiales de calidad, la capacitación adecuada del personal y una planificación y supervisión más rigurosas. A continuación, se presenta un diagrama árbol de problemas en la figura B.4.

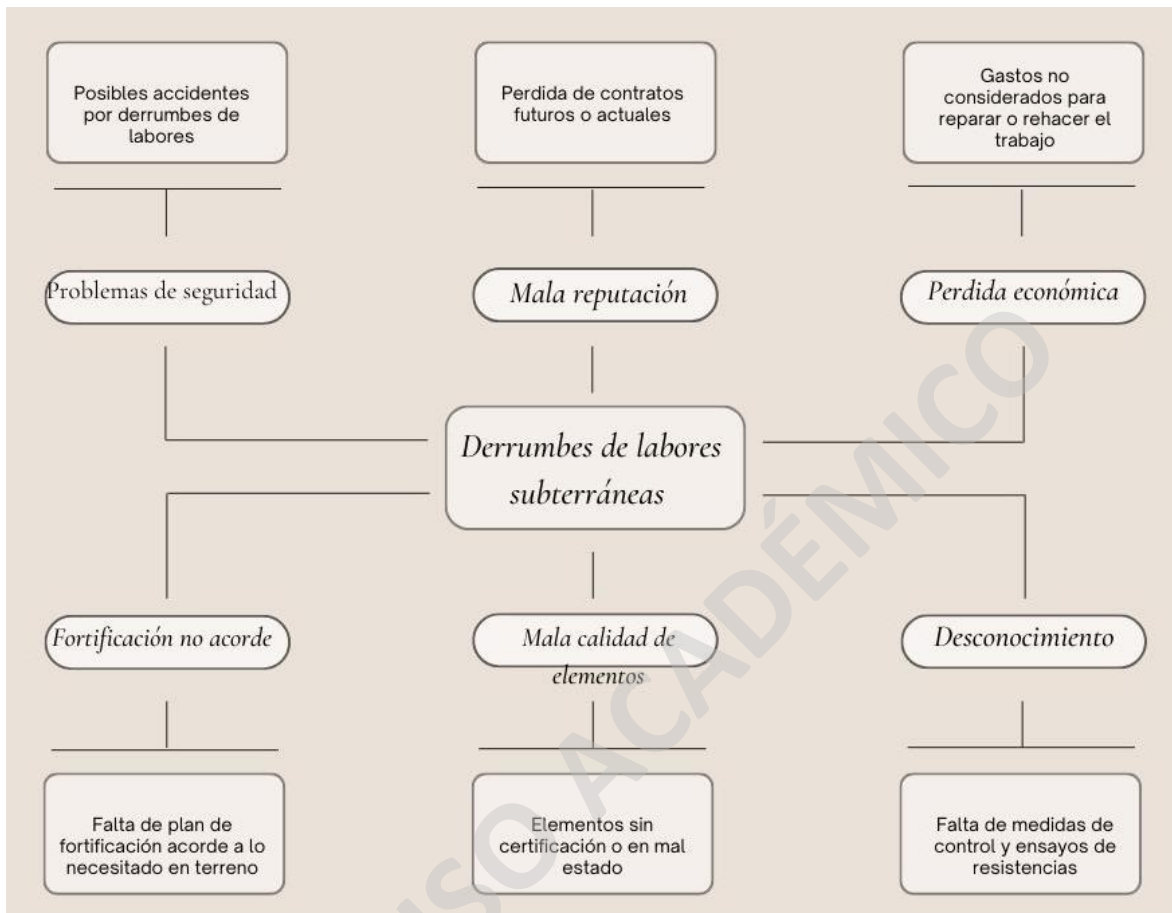


Figura B.4 árbol de problemas.

- **Mapa de contexto.**

El análisis de mapa de contexto en la fortificación de túneles revela una compleja red de factores que interactúan para influir en el éxito del proyecto. Factores externos como las condiciones geológicas y la normativa de seguridad, junto con factores internos como las capacidades técnicas del personal y la cultura organizacional, determinan la eficacia de los métodos de fortificación implementados. Abordar estos factores de manera integral es clave para garantizar la estabilidad de las estructuras subterráneas, la seguridad de los trabajadores y la viabilidad a largo plazo de las operaciones mineras. A continuación, se muestra la figura B.5 mapa de contexto.

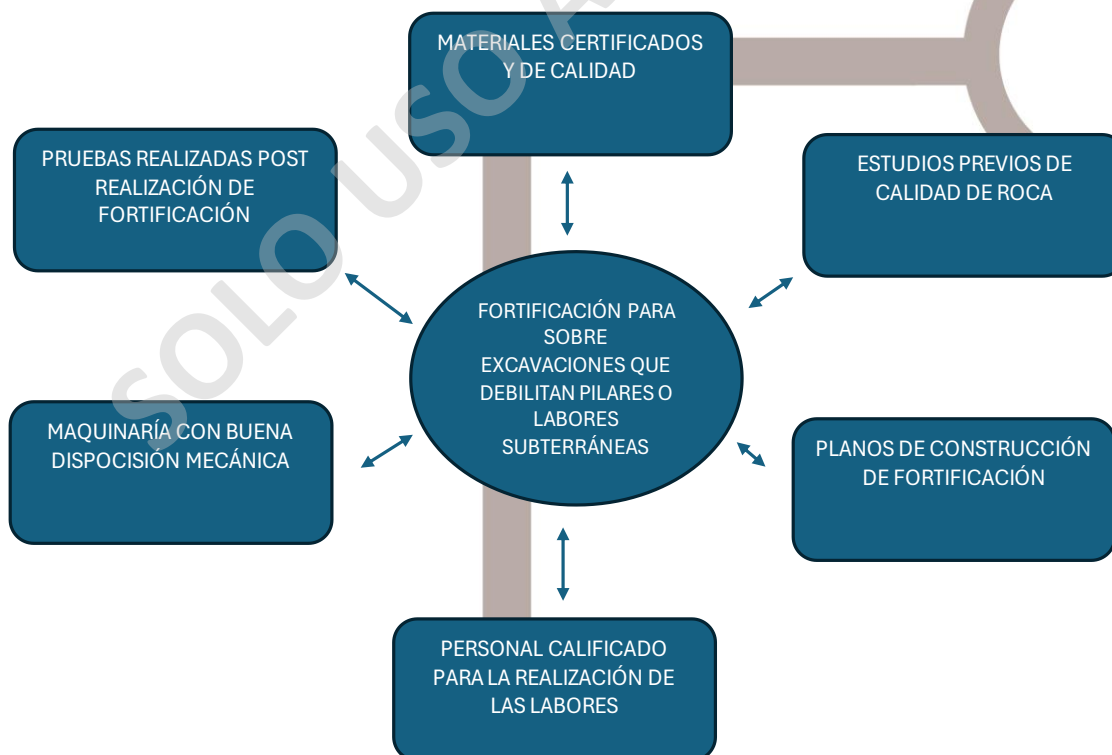


Figura B.5 mapa de contexto.

C. Entrevistas, insights y puntos de vista.

- ¿Quién es nuestro usuario?

Actualmente, nuestro principal usuario es Codelco, específicamente en su división Chuquicamata subterráneo. Sin embargo, el método de fortificación que ofrecemos puede aplicarse en otras minas y en diferentes proyectos de obras civiles.

- ¿Qué es lo que necesita?

Nuestro usuario necesita un método que garantice la estabilidad de los pilares construidos para la explotación futura de los macrobloques, permitiendo la extracción segura del mineral valioso.

- ¿Cuáles son sus percepciones?

El usuario valora un trabajo de alta calidad que sea duradero y se complete dentro del plazo prometido, para evitar retrasos en sus propios proyectos.

- **Entrevistas**

Se realizó una entrevista informal a tres personas: dos con experiencia en el tema y una sin conocimientos específicos en la materia.

El primer entrevistado fue Luis Contreras, jefe de terreno en la empresa Acop, que actualmente trabaja en la mina Chuquicamata subterránea, dedicándose a la fortificación de macrobloques para su posterior hundimiento. Al comentar el problema y el desafío, Contreras destacó que: "Es un tema crucial para el desarrollo de estos proyectos. Debe abordarse con profesionalismo para asegurar la

continuidad de la explotación minera." Su insights fue que: "El cliente quedará muy satisfecho con nuestro trabajo, el cual demostrará una excelencia nunca vista."

El segundo entrevistado fue César Correa, jefe de operaciones de la empresa Acop. Su opinión fue la siguiente: "Es fundamental analizar todas las posibles mejoras, enfocarse en nuestros puntos débiles y abordarlos. Debemos buscar la máxima productividad y promover la mejora continua." Su insights fue: "Un trabajo emblemático siempre atraerá nuevos proyectos. Los clientes nos eligen por nuestro sello de calidad."

La tercera entrevistada fue Lorena Galleguillos, prevencionista de la empresa Acop. Ella comentó: "El trabajo que ustedes realizan es evidentemente complejo, pero también destaco el gran equipo de trabajo que forman. Ya tienen sus actividades bien dominadas y todos saben exactamente lo que deben hacer. Este tema es muy interesante para quienes no están familiarizados con él, e invita a profundizar más en el asunto." Su insights fue: "Los clientes buscan siempre lo mejor. Con ustedes, están en buenas manos."

D. Definición del problema y redacción del desafío.

- **Problema**

El problema principal es la posibilidad de derrumbes causados por la baja estabilidad del macizo rocoso. Esta inestabilidad puede surgir debido a sobre excavaciones, mala calidad de la roca o construcciones previas deficientes. Este problema se centra en la fortificación de pilares en la minería subterránea, pero también es aplicable a la fortificación de túneles y taludes.

- **Desafío.**

¿Es posible solucionar los derrumbes en labores subterráneas causados por la baja estabilidad del macizo rocoso, ya sea por la calidad de la roca, derrumbes previos o malas tronaduras? Si, es posible e implica la implementación de una fortificación definitiva utilizando métodos de fijación, armadura de fierro y hormigón fluido. Según las pruebas realizadas por expertos de Codelco Chuquicamata, este método de fortificación ha demostrado ser eficaz en la nueva extensión subterránea del proyecto.

E. Lluvia de ideas.

Se realizará una lluvia de ideas para buscar posibles soluciones al problema antes planteado.

1. Replanteamiento de la ubicación del túnel o labor subterránea a construir.
2. Utilización de una fortificación a base de pernos helicoidales.
3. Utilización de una fortificación a base de pernos cables dobles.
4. Cambio en el diseño del diagrama de perforación.
5. Cambio en los explosivos o cantidad utilizada para la construcción de túneles.
6. Cambio en el diagrama de carguío de explosivos.
7. Cambio de fortificación inicial antes de fortificación definitiva (malla, pernos).
8. Cambio en la cantidad de enfierradura armada utilizada.
9. Combinación de dos o más elementos de fortificación.
10. Variación en la longitud de perforación de pernos de fortificación.
11. Cambio de hormigón proyectado a hormigón bombeable.
12. Cambio de resistencia de hormigón.
13. Utilización de fibras en hormigón.
14. Inducir la liberación de cargas del macizo rocoso con hidro fracturación.
15. Analizar la sismicidad del macizo rocoso con celdas de cargas.
16. Analizar la sismicidad del macizo rocoso con extensómetros.
17. Cambio de personal que realiza las actividades de fortificación.
18. Análisis del macizo rocoso con pruebas de geomecánica.
19. Aumentar el traslape de mallas electrosoldadas utilizadas.

20. Implementación de juntas de dilatación en pilares contruidos.
21. Implementación de juntas de retracción en pilares contruidos.
22. Traslapar mallas de pilares con mallas de la corona de la labor.
23. Cambio en secciones del túnel a construir.
24. Construcción de pilares con menos separación entre sí.
25. Implementación de placas de acero para pilares.
26. Instalación de marcos de acero armado.
27. Instalación de marcos de concreto prefabricado.
28. Instalación de marcos noruegos.
29. Instalación de marcos Y.
30. Utilización de marcos cuadrado de madera.
31. Instalación de vigas de acero.
32. Cambio de forma de túnel de curvo a cuadrado.
33. Utilización de tiros de alivio para desviar la energía en exceso de una tronadura.
34. Instalación de puntales de pared a pared.
35. Utilización de tuneladora para el avance de construcción de túneles.
36. Desviación de gradiente de forma ascendente del túnel.
37. Desviación de gradiente de forma descendiente del túnel.
38. Aumentar la altura de los pilares.
39. Aumentar el grosor de los pilares.

40. Dejar pilares con roca viva para facilitar la liberación de energía del macizo rocoso.

- **Mapa de afinidad.**

En el siguiente mapa de afinidad se puede apreciar que, dentro de las categorías, (ubicación y tamaño, fortificación, explosivo y distribución, perforación, hormigón, instrumentación y elementos) las que más se repiten son ideas relacionadas con la forma de fortificación y la utilización de diferentes elementos para esta fortificación.

MAPA DE AFINIDAD						
CATEGORIA 1 UBICACIÓN Y TAMAÑO	CATEGORIA 2 FORTIFICACIÓN	CATEGORIA 3 EXPLOSIVO Y DISTRIBUCIÓN	CATEGORIA 4 PERFORACIÓN	CATEGORIA 5 HORMIGÓN	CATEGORIA 6 INSTRUMENTACIÓN	CATEGORIA 7 ELEMENTOS
Replanteamiento de la ubicación del túnel o labor subterránea a construir.	Aumentar el traslape de mallas electrosoldadas utilizadas.	Cambio en los explosivos o cantidad utilizada para la construcción de túneles.	Cambio en el diseño del diagrama de perforación.	Cambio de hormigón bombeable a hormigón proyectado.	Analizar la sismicidad del macizo rocoso con celdas de cargas.	Implementación de juntas de dilatación en pilares construidos.
Cambio en secciones del túnel a construir	Traslapar mallas de pilares con mallas de la corona de la labor.	Cambio en el diagrama de carguío de explosivos.	Variación en la longitud de perforación de pernos de fortificación.	Cambio de resistencia de hormigón.	Analizar la sismicidad del macizo rocoso con extensómetros	Implementación de juntas de retracción en pilares construidos.
Construcción de pilares con menos separación entre sí.	Cambio de fortificación inicial antes de fortificación definitiva (malla, pernos).	Utilización de tiros de alivio para desviar la energía en exceso de una tronadura	Inducir la liberación de cargas del macizo rocoso con hidro fracturación.	Utilización de fibras en hormigón.	Análisis del macizo rocoso con pruebas de geomecánica.	Instalación de marcos de acero armado.
Cambio de forma de túnel de curvo a cuadrado	Cambio en la cantidad de enfierradura armada utilizada.					Instalación de marcos de concreto prefabricado.
Desviación de gradiente de forma ascendente del túnel.	Combinación de dos o más elementos de fortificación.					Instalación de marcos noruegos.
Desviación de gradiente de forma descendente del túnel	Cambio de personal que realiza las actividades de fortificación.					Instalación de marcos Y.
Aumentar la altura de los pilares.	Utilización de una fortificación a base de pernos helicoidales.					Utilización de marcos cuadrado de madera.
Aumentar el grosor de los pilares.	Utilización de una fortificación a base de pernos cables dobles.					Instalación de vigas de acero.
	Utilización de tuneladora para el avance de construcción de túneles.					Instalación de puntales de pared a pared
	Dejar pilares con roca viva para facilitar la liberación de energía del macizo rocoso					

Figura E.1 mapa de afinidad.

- **Scamper.**

A continuación, se realizará el análisis scamper el que contempla la sustitución, combinación, adaptación, modificación, propuesta de otros métodos, eliminar antiguos y una reestructuración de métodos existentes sobre la construcción de pilares o fortificación de labores subterráneas.

SCAMPER	
S	Cambiar planos de fortificación existentes y desarrollados por otras empresas para crear una forma novedosa de fortificar un pilar.
C	Implementar una combinación de elementos de fortificación para asegurar la estabilidad del macizo rocoso.
A	Debido a la irregularidad de la forma y calidad de la roca, estos pilares de modifican facilmente manteniendo su forma final.
M	Modificar planos con datos de geomecanicos e ingenieros para crear un plano de fortificación definitiva.
P	Proponer la unión de pernos cables, pernos helicoidales, malla electrosoldada y hormigón bombeable para la creación de pilares.
E	Eliminar antiguos metodos como la proyección de hormigón sin fibra en mallas electrosoldadas para finalizar unn pilar.
R	Se reestructura la forma de realizar los pilares, desde la etapa de perforación hasta la etapa de instalación de moldajes para el hormigón bombeable

Figura E.2 Scamper.

- **Elección de 3 ideas.**

Se seleccionará las 3 ideas más completas para la solución al problema antes descrito, sobre el derrumbe de labores subterráneas, analizando los criterios de cliente, factible y viable.

Cliente: En específico se utilizará el ejemplo de Codelco como cliente, su nuevo proyecto Chuquicamata subterráneo, el cual consiste en la construcción de macrobloques para su posterior hundimiento y extracción de mineral de interés, es por esto que para el cliente es de vital importancia que, al momento de hundir los macrobloques, los pilares construidos sostengan el nivel superior y así se pueda extraer el mineral. Las 3 ideas escogidas conseguirán que los objetivos del cliente se puedan lograr.

Factible: La construcción de este método de fortificación es totalmente factible, ya se esta implementando actualmente en el proyecto del cliente y ha demostrado buenos resultados, las 3 ideas elegidas ayudaron al desarrollo de este método.

Viables: Las 3 ideas escogidas e implementadas son viables económicamente, actualmente el metro lineal de la construcción de estos pilares tiene un valor cercano a los 2 millones de pesos, un pilar tiene un largo promedio de 24 metros lineales, por lo que la implementación de las 3 ideas se logra pagar con la construcción de 10 pilares mensualmente.

Analizados estos criterios las 3 ideas escogidas fueron:

1. Combinación de dos o más elementos de fortificación.
2. Cambio de hormigón proyectado a hormigón bombeable.
3. Instalación de marcos de acero armado.

F. Validación de solución

La solución presentada entonces para el problema de los posibles derrumbes por la baja estabilidad del macizo rocoso por calidad de la roca o sobre excavaciones del sector, es la fortificación de pilares con la combinación de varios elementos de fortificación que aseguren la resistencia a la compresión y tracción que pueda provocar la liberación de energía producto de las tronaduras ejecutadas para la extracción de mineral. Validaremos esta solución con personas expertas en el tema que puedan contestar algunas preguntas y presenten de mejor forma la solución al cliente. Las preguntas que se realizarán son las siguientes:

¿La combinación de elementos de fortificación como pernos helicoidales, pernos cables, armadura armada y hormigón asegura la estabilidad del macizo rocoso?

¿El hormigón bombeable es mejor que el hormigón proyectado utilizado en otros métodos de fortificación?

¿El uso de marcos de acero o puntos de extracción ayuda a prevenir derrumbes al momento de la extracción del mineral? ¿Por qué?

¿Utilizaría o recomendaría este método de fortificación para la fortificación de pilares? ¿Por qué?

- **Luis Contreras, jefe de terreno de la empresa Acop.**

¿La combinación de elementos de fortificación como pernos helicoidales, pernos cables, armadura armada, y hormigón asegura la estabilidad del macizo rocoso?

La combinación de elementos de fortificación como los mencionados anteriormente si ayuda a la estabilidad del macizo rocoso, lo que hace la combinación de estos elementos es recuperar el área perdida de los pilares que sufrieron sobre excavaciones durante el proceso de los desarrollos mineros y además de mantener las labores seguras para el tránsito de personal, vehicular y de equipos.

¿El hormigón bombeable es mejor que el Hormigón Proyectado utilizado en otros métodos de fortificación?

La diferencia entre el hormigón bombeable y el hormigón proyectado (shocrete), aunque la resistencia sea la misma la solicitada para el mismo elemento estructural a hormigonar, el hormigón proyectado es una mezcla de árido (arena) con cemento y aditivos no lleva grava (la grava es toda aquella bajo 13 m/m que normalmente tiene la arena), en cambio el hormigón bombeable también lleva arena cemento y aditivos pero este hormigón lleva grava la cual dependiendo de las características del hormigón puede ser con grava máximo $\frac{3}{4}$ o máximo 1" este quiere decir el tamaño máximo de la grava no debe ser mayor o estar dentro de esos rangos. El hormigón bombeable por sus características es un hormigón de alta docilidad o un cono alto para poder ser impulsado por la bomba de hormigón.

¿El uso de marcos de acero o puntos de extracción ayuda a prevenir derrumbes al momento de la extracción del mineral ¿Por qué?

El objetivo de los marcos de acero o puntos de extracción aparte de prevenir los derrumbes propios del proceso de explotación, los puntos de extracción es como la barrera protectora que tienen los operadores de los equipos al momento de extraer el mineral en simples palabras siempre el operador del equipo mecanizado estará protegido por este sistema de fortificación, estará ejecutando su trabajo desde una zona segura y no exponiéndose a los derrumbes propios del sistema de explotación.

¿Utilizaría o recomendaría este método de fortificación para la fortificación de pilares por qué?

Este método de fortificación de pilares se utiliza únicamente por las condiciones propias del macizo rocoso donde por la explotación se pierde área ya sea por las sobre excavaciones o por la calidad de la roca, el objetivo de este método es recuperar el área que se pierde por la explotación propia de los avances mineros, este método si lo recomendaría para la recuperación de las áreas afectadas por los avances mineros o por la condición propia del macizo rocoso asegura la estabilidad durante la explotación o la extracción del mineral.

- **Eduardo Castro, jefe de turno de la empresa Acop.**

¿La combinación de elementos de fortificación como pernos helicoidales, pernos cables, armadura armada y hormigón asegura la estabilidad del macizo rocoso?

Todos los elementos mencionados contribuyen a la fortificación del macizo y deberían actuar como complementos unos de otros, y según estudios previos es que se puede determinar la necesidad de refuerzos como pasa en los puntos de extracción o en zonas de fallas, siempre teniendo de base la fortificación primaria.

Ahora bien, dentro de los mismos métodos tradicionales se pueden proponer mejoras con el fin de extender la vida útil de la fortificación, como es el caso del refuerzo con muros de hormigón armado por sobre la fortificación primaria, que es un modelo que significa una modificación comparado a métodos tradicionales pero que van en busca de manera comprobada a la mejora continua en el proceso de fortificación de pilares, que aunque no puede asegurar la estabilidad del macizo (debido a que depende de otros factores posteriores como es el método de extracción del mineral), pero que si puede asegurar una mejor y más duradera fortificación yendo siempre de la mano con los elementos primarios de pernos cables y helicoidales.

¿El hormigón bombeable es mejor que el hormigón proyectado utilizado en otros métodos de fortificación?

Si bien el hormigón bombeable tiene algunas diferencias en las dosificaciones y tipo de hormigón en comparación con el proyectado, sus usos son para diferentes propósitos, ya que el proyectado es usado en los procesos de fortificación primaria

y en algunas partes como fortificación definitiva simple, el hormigón bombeable no podemos decir que es mejor o peor pero que si forma parte del conjunto de elementos de una fortificación con muros de hormigón armado, que también consideran pernos cables y helicoidales, pero a su vez una armadura armada que es hormigonada con hormigón bombeable y constituye el hormigón armado y por ende se convierte en una fortificación definitiva, que es más resistente y duradera que su comparativa.

¿El uso de marcos de acero o puntos de extracción ayuda a prevenir derrumbes al momento de la extracción del mineral? ¿Por qué?

El uso de marcos de acero si contribuyen a la prevención de derrumbes al momento de la extracción del mineral, aunque no se pueden asegurar la estabilidad como antes ya fue mencionado.

Ahora bien, el marco sirve como una estructura que reforzada con hormigón armado y el uso de pernos cables, servirán en su conjunto como apoyo para prevenir eventos en zonas de puntos de extracción o bien en zonas de fallas determinadas con estudios previos realizados del macizo rocoso.

¿Utilizaría o recomendaría este método de fortificación para la fortificación de pilares? ¿Por qué?

Si recomendaría el uso del método de fortificación de pilares con muros de hormigón armado debido a que siempre se debe buscar mejorar los procesos de fortificación de pilares y puntos de extracción en minería subterránea con el fin no solo de mejorar la operación, sino como fin principal la seguridad de las personas y equipos

que participan en los procesos de explotación del mineral y por ende el uso de armaduras como estructuras de muros de hormigón siempre significan mayor seguridad y durabilidad que solo hormigón de sello proyectado, así como también el uso de marcos metálicos en conjunto con el hormigonado en los puntos de extracción y zonas de fallas que trabajen en conjunto con la fortificación de pernos cables y helicoidales, siempre teniendo en cuenta que todos estos elementos nos puede asegurar al 100% la estabilidad del rocoso pero si pueden asegurar una mayor seguridad que otros métodos más simples.

- **Alan Castro, jefe de operaciones de la empresa**

Acop.

La combinación de elementos de fortificación como pernos helicoidales, pernos cables, armadura armada y hormigón, ¿asegura la estabilidad del macizo rocoso?

Todo elemento que se utilice como fortificación definitiva ayuda en el sostenimiento del macizo rocoso, no asegura una estabilidad total ya que el uso de fortificación, tanto ACTIVA como PASIVA, debe ir en estrecha relación con los métodos de explotación de las labores subterráneas y con la vida útil proyectada para estas labores.

¿El hormigón bombeable es mejor que el hormigón proyectado utilizado en otros métodos de fortificación?

Son conceptos diferentes y utilización diferente.

El hormigón proyectado (shotcrete) se utiliza como parte de la fortificación minera sistemática de labores, correspondiente a perno/malla/shotcrete.

El hormigón bombeable en cambio es utilizado como parte de los elementos de construcción de hormigón armado que van conformando todo el sistema de fortificación "PASIVA" de las labores subterráneas.

El uso de marcos de acero o puntos de extracción ayuda a prevenir derrumbes al momento de la extracción del mineral ¿Por qué?

Considerando que los sistemas de fortificación tienen como objetivos básicos proteger a los trabajadores, materiales y equipos, además de evitar deformaciones y/o derrumbes de las labores subterráneas, obviamente que la utilización de marcos metálicos en combinación con hormigón armado pasa a ser una fortificación “PASIVA”, externa al macizo rocoso, que debe ayudar a soportar los movimientos internos del macizo, pero sí deben ir instalados en conjunto con pernos cables visera que ayudan a mantener la forma de la batea cuando el panel entra en producción. ¿Utilizaría o recomendaría este método de fortificación para la fortificación (el sostenimiento) de pilares? ¿Por qué?

Sí es recomendable el sistema de puntos de extracción construido con marcos de acero y hormigón armado, pero combinado con una fortificación con cables de visera del punto, lo cual consolida de mejor forma el sostenimiento del área de socavación.

Los muros armados con la combinación de pernos cable, armaduras, pernos helicoidales y hormigón también ofrecen una buena alternativa de estabilidad del macizo rocoso, donde se mezclan los sistemas de fortificación “ACTIVOS” (pernos helicoidales, pernos cables, etc) con los sistemas “PASIVOS” (enfierraduras, mallas, hormigón, etc), pero siempre ligados al proceso y secuencia de tronadura y tiraje de mineral.

G. Business model canvas.

Se realizará un modelo de negocio siguiendo los 9 factores del model canvas, que son los siguientes:

- **Segmento con clientes**

¿Para quién estamos creando valor?

Esta solución a la problemática descrita anteriormente se está desarrollando y agregando valor en específico para el cliente Codelco en su minera Chuquicamata en su construcción de la fase subterránea, sin embargo, se puede aplicar para diferentes labores subterráneas como túneles. En síntesis, cualquier cliente que tenga la problemática de posibles derrumbes por baja estabilidad del macizo rocoso y necesite de fortificar el sector.

¿Cuáles son los segmentos de clientes más importantes (rentables)?

Para nuestro caso, aplicando este método de fortificación que no es del todo barato, los clientes deben tener la capacidad económica de generar un proyecto tan grande que necesite de la fortificación para asegurar su inversión, en este caso los clientes mas rentables serian los orientados al rubro de la gran minería.

¿Cuáles son sus necesidades o preocupaciones?

Las necesidades de los clientes es asegurar la inversión realizadas para poder obtener ganancias en un futuro y sus preocupaciones son la posible perdida del proyecto debido a derrumbes incontrolables que produzcan tanto daño irreparable, o peor aún que produzcan la muerte de algún trabajador.

¿nos dirigimos hacia un gran público, el mercado de masas o un nicho muy concreto?

Es un nicho muy concreto, obras subterráneas que necesiten de la fortificación y puedan costear el método.

¿Hay varios segmentos de clientes interrelacionados?

No hay varios clientes interrelacionados, aunque si participan varios clientes en la fortificación de sectores hacia el contratante, por ejemplo, para construir los pilares fortificados, Codelco, nuestro cliente, contrata a otra empresa que surta de los materiales, a otra que surta del hormigón y así van participando más clientes.

¿Qué factores del macroentorno influyen en tu futura empresa?

Primero hacer hincapié en que la empresa que realiza este método de fortificación ya existe como tal, y los factores del macroentorno que puedan afectar son: factores económicos, entorno político y legal, factores de tecnología.

¿Qué factores del microentorno influyen en tu futura empresa?

Los factores del microentorno que afectan a la empresa son: proveedores, competencia, distribuidores.

¿Quiénes son nuestros competidores?

Las demás empresas constructoras en minería subterránea que cuenten con departamento de obras civiles.

¿Qué ofrecen, a qué precio?

Las empresas competidoras ofrecen construcción de pilares para fortificación con diferentes métodos, el precio vario muy poco al precio de nuestro método, pero el método y los resultados son muy distintos.

Tipología de empresas, empresas dominantes o líderes

Las empresas lideres de este rubro son Acciona, Ossa, Pizzarotti, Geovita, Salfaconstrucción, Zublin, entre otros. La empresa que está implementando el método antes descrito es una alianza entre Acciona Ossa y Pizzarotti, creando la empresa denominada Acop.

- **Propuesta de valor.**

El producto o solución ofrecida al cliente es la construcción de muros de confinamiento de altura 3.4 metros, estos muros de confinamiento, como dice su nombre, confinan al pilar por sus dos caras (el pilar tiene 4 caras, pero dos caras deben ir sin fortificación, ya que, por esas caras se extrae el mineral, por ende, las otras dos caras deben sostener el peso de la labor). Estos muros están compuestos por pernos helicoidales rígidos de 6 y 3,5 metros, pernos cables doble de 15,5 metros, doble armadura armada o malla acma electrosoldada y se asegura un recubrimiento mínimo de 8 centímetros de hormigón bombeable. Con la combinación de estos elementos se asegura la estabilidad del macizo rocoso al momento de la tronadura para la extracción de mineral.

El diseño del muro como antes se menciona tiene una altura de 3.4 metros (esto obviamente depende de la altura de la galería construida) y los largos de los pilares son de 24 metros aproximado, también por diseño entregado por el cliente.

El precio de venta de estos muros de confinamiento terminados es de \$21.360.000 el muro terminado.

¿Qué valor le damos a los clientes?

El valor más apreciado para el cliente, en este caso Codelco, es la prueba del funcionamiento de la resistencia de los muros, en el macrobloque N02 del sector norte de producción de la mina Chuquicamata, se compartió entre dos empresas. Zublin por un lado construye sus muros de menor altura y con otros métodos. Acop, construye los muros con el método antes mencionado. Ese macrobloque se dividió 50% para Zublin y 50% para Acop. Al momento de entregar el macrobloque terminado a Codelco, ellos comenzaron a realizar las tronaduras para la extracción del mineral y solo la parte construida por Acop resistió dichas tronaduras y la parte construida por Zublin no resistió, tuvo derrumbes lo que paro la producción de Codelco y además tuvieron que reinvertir para colocar marcos y vigas en los sectores derrumbados con la finalidad de rescatar la inversión antes hecha.

¿Qué problema o necesidad de nuestros clientes estamos ayudando a resolver o satisfacer?

Este es la mayor necesidad del cliente que estamos ayudando a resolver, que, al momento de entrar a realizar su producción y extracción de mineral, no se encuentren con problemas como los antes mencionados.

¿Qué tipos de productos o servicios ofrecemos a cada uno de nuestros segmentos clientes?

Muros de confinamiento de 3.5 metros de alto por 24 metros de largo con puntos de extracción fortificados con marcos de acero. Asegurando la estabilidad del macizo rocoso preparado por su futura extracción de mineral.

El método detallado es:

Se entrega el sector con fortificación primaria por parte del departamento de minería (pernos helicoidales de 2,5 metros, malla MFI G80 y hormigón proyectado).

Luego de la entrega se chequea la sección libre con ayuda de topografía, asegurando 2.5 metros de distancia desde el muro terminado al eje de la calle, asegurando 5 metros libre de carpeta de rodado (diseño exigido por el cliente).

Luego el departamento de topografía realiza las marcas de los pernos para las perforaciones en el pilar, los que son 60 pernos helicoidales (40 de 6 metros en roca y 20 de 3,5 metros en roca), además de 24 pernos cables de 8 metros en roca y 21 pernos de anclaje de 1,5 metros.

Una vez perforado comienza el departamento de obras civiles a realizar la construcción del pilar. Se comienza con el chequeo de los vértices, luego la instalación de la primera malla acma la cual debe quedar a 20 cm del muro terminado. La malla tiene una dimensión de 4 metros por 3.4, por lo general entran 8 paños de malla por pilar. Luego de haber instalado la primera malla se comienza a la instalación y lechado de pernos helicoidales y pernos cables. La lechada lleva una dosificación de 8 sacos por 70 litros de agua y dos sacos de aditivo. Se debe

esperar un fragüe mínimo de 8 horas para realizar el proceso de tensado de pernos cables. Los pernos cables se entrelazan entre si para realizar un proceso de “amarre del pilar” con un tensado a 7 toneladas, como muestra la siguiente imagen.

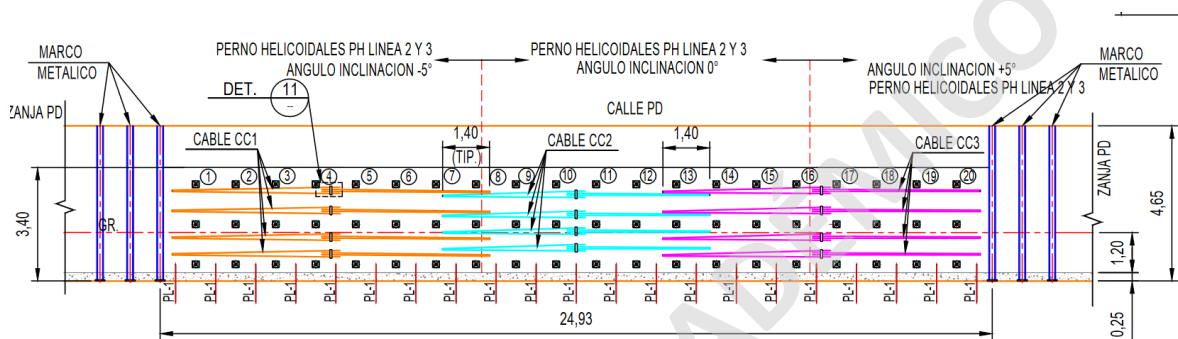


Figura G.1 Distribución de pernos cables.

Luego de tener los pernos cables tensados se procede a instalar la segunda malla acma que debe quedar a 10 cm de la primera malla y a 8 del muro terminado, para asegurar un recubrimiento de hormigón mínimo de 8 a 14 centímetros. Como se muestra en la imagen a continuación.

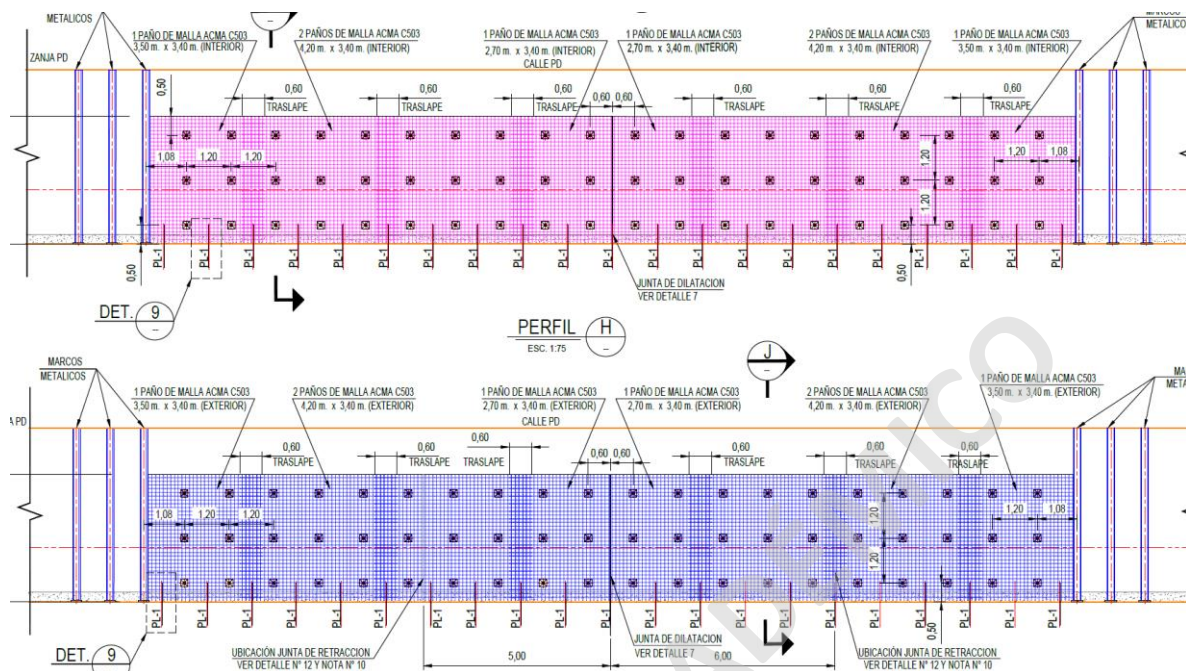


Figura G.2 Diagrama de mallas ACMA.

Con el muro ya con todos sus elementos instalados, se procese a la instalación de moldajes Alsina para contener el hormigón, el cual es un hormigón fluido y autonivelante. En la imagen G.3 se muestra el moldaje instalado.

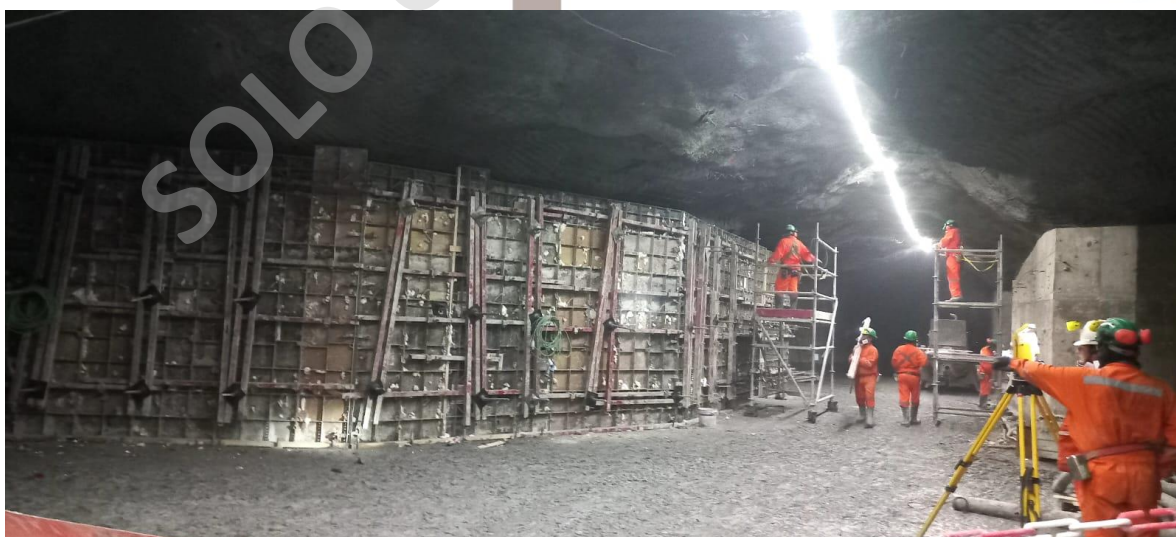


Imagen G.3 muro con moldaje para hormigón.

Con el moldaje instalado se procede a el bombeo de hormigón con una bomba estacionaria. Se debe asegurar la altura de 3,4 metros (diseño del cliente). Una vez el hormigón llegue a la altura requerida y llene todos los espacios se debe esperar un fragüe mínimo de 48 horas para su posterior descimbre, finalmente el muro terminado se ve como en la siguiente imagen.



Imagen G.4 muro de confinamiento terminado.

Descripción de necesidades o deseos que se van a satisfacer.

La construcción de estos pilares va a satisfacer la necesidad de tener un macrobloque listo y con una fortificación resistente para aguantar las tronaduras y poder extraer el material con los equipos Scoops o LHD. Asegurando así, lo invertido y la seguridad del personal que trabajará en ese macrobloque.

Aspectos complementarios.

Obviamente la presentación de los muros terminados es un plus, ya que todo entra por la vista de primera manera. También se realiza una caminata a los muros terminados para que el cliente levante todos los detalles de terminación que pudiese encontrar para subsanarlos de forma correcta y asegurar la satisfacción del cliente.

- **Canales**

¿Cómo vamos a entregar nuestra propuesta de valor a cada segmento de clientes?

Las empresas licitan contratos que ofrece Codelco, nuestro cliente. Por ende, las empresas ofrecen la construcción del proyecto según las necesidades del cliente, según las condiciones, se ofrecen tiempos, métodos, soluciones y costos. Luego de todo eso, el cliente decide cual es la mejor oferta o contrata al mejor postor.

¿A través de qué canales queremos llegar a nuestros clientes?

La licitación es el canal principal por el que se llega los clientes. También están las paginas web de cada empresa donde muestran los métodos empleados. Las redes sociales siempre son una buena opción para hacerse conocer.

- **Relación con los clientes**

¿Qué tipo de relación espera mantener cada segmento de clientes con la empresa o proyecto?

La relación con el cliente es totalmente presencial y con reuniones diarias a nivel operacional, semanal a nivel de jefatura y mensual a nivel gerencial, con el fin de ir viendo el progreso y el nivel de satisfacción del cliente.

¿Qué va a inspirar nuestra marca en ellos?

La marca inspira confianza, inspira satisfacción, inspira respeto y entrega una sensación de decisión correcta al habernos elegido.

¿Cómo vamos a captar clientes?

Poco a poco se hará conocido a las demás empresas, el método de fortificación por sus buenos resultados. El mismo cliente Codelco, verificará los buenos resultados y podrá implementar este método en las demás fases de expansión del proyecto e incluso implementarlo en las demás divisiones.

- **Flujo de ingresos**

¿Cuáles son las fuentes de ingresos? ¿Cómo contribuye cada fuente a los ingresos totales?

La empresa Acop tiene diferentes ingresos, primero su departamento de minería a la que le pagan por metros de avance de túneles. El departamento de infraestructura no minera encargada del montaje de ventiladores y montaje de portones a los que les pagan por sectores con ventilación en funcionamiento y el departamento de obras civiles, la que es en cargada de entregar los macrobloques al cliente para su explotación, a los que le pagan por muros de confinamiento entregados.

Criterios que se van a aplicar a la hora de fijar los precios:

Para definir el costo o el precio que se va a cobrar al cliente se ven los criterios de: costo de materiales, costo de personal, costo arriendo de equipos. A eso obviamente se le suma un porcentaje para obtener ganancias

- **Recursos claves**

¿Qué recursos clave requiere nuestra propuesta de valor?

Los recursos claves que requiere la propuesta de valor, son profesionales comprometidos, trabajadores expertos, materiales de primera calidad, supervisores pendientes a cada detalle y equipos con disponibilidad mecánica confiable.

¿Cómo obtenemos esos recursos clave?

Los profesionales de nuestra empresa llevan tiempo trabajando con su equipo, por lo que conoces sus aptitudes y debilidades, pueden componer un equipo de excelencia.

Los materiales se seleccionarán con un equipo de logística enterado de las necesidades.

- **Actividades claves.**

¿Qué soluciones o actividades clave requieren nuestras propuestas de valor?

La realización de cada etapa del proceso con excelencia.

La coordinación de todos los departamentos para llevar a cabo el proceso en el tiempo prometido.

La integración de cada elemento de fortificación para asegurar la estabilidad del macizo rocoso.

¿Qué actividades requieren las relaciones con clientes?

Las reuniones con el cliente cada cierto tiempo.

Los feedback que pueda entregar el cliente para saber su nivel de satisfacción.

- **Socios claves**

¿Quiénes son nuestros socios clave?

Los socios claves en este caso son los trabajadores a cargo de realizar las actividades de construcción, de ellos depende que el trabajo sea realizado de manera correcta y que la unión de elementos cumpla su objetivo.

Los supervisores son importantes socios también, son los encargados de fijarse en cada detalle de la construcción.

Los demás departamentos, de minería, topografía, mecánicos, deben trabajar en un mismo rumbo para que el proyecto tenga buenos resultados.

¿Qué actividades clave realizan los socios?

La construcción de pilares y puntos de extracción.

Verificación de secciones libres y orientaciones de construcción

Entrega de áreas para la construcción acorde a los plazos estipulados.

¿Qué partners pueden hacer mejor o a un costo menor y aportar valor añadido al negocio?

Si el departamento de minería entregará el área a el departamento de obras civiles con los pilares ya perforados se ganaría entre 2 a 3 días de producción.

- **Estructura de costos**

¿Cuáles son los costos (fijos, variables) más importantes dentro de nuestro modelo de negocio?

Los costos fijos son: arriendos de equipos, pago de sueldos.

Los costos variables son todos los insumos utilizados, que se programan con el programa mensual de operaciones.

¿Qué recursos clave son los más costosos?

Los costos más elevados corresponden a los sueldos de los trabajadores y los arriendos de equipo.

¿Qué actividades clave son las más costosas?

La actividad de perforación es la más costosa por el elevado precio de arriendo.

A continuación, se presentará el diagrama canvas con información reducida.



Imagen G.5 diagrama canvas.

H. Modelo lean canvas.

- **Segmentos de clientes**

¿Quiénes son los actores más relevantes relacionados con la situación problemática y la solución a la que le estamos diseñando el modelo de negocio?

El cliente o actor más relevante en este caso es Codelco, el actual cliente que esta implementando el método de fortificación en su división Chuquicamata en su fase de expansión subterránea, específicamente en la mina norte en los macrobloques N02-N03-N41-N42. Para ellos esta diseñado los muros de confinamiento y en ellos esta toda la atención.

- **Problema**

¿Cuál es la situación problemática que se va a solucionar con el negocio?

Veremos en la siguiente imagen un derrumbe de un túnel en la mina chuquicamata de Codelco.



Figura H.1 Derrumbe en mina Chuquicamata

Esta es la viva imagen de la problemática que se va a solucionar con el negocio, las inversiones para construir tuneles y galerías en una mina subterránea son millonarias, 6000 millones de dólares fueron inyectados al proyecto en 2023 según la página oficial de Codelco. Imaginense las pérdidas millonarias que provoca un derrumbe, perdiendo tiempo de producción, atrasando las ganancias del proyecto, invirtiendo más dinero para poder reparar y esperando que el derrumbe no afecte a ningún trabajador, perder una vida no se recupera por nada. Esta es la gran problemática que se pretende resolver con este método de fortificación.

- **Propuesta de valor.**

¿Cuáles es la propuesta de valor que ofrecemos a los actores relevantes con la solución?

La protección de la inversión de la construcción subterránea y la protección de su personal para la obtención de ganancias.

- **Solución.**

¿Cuál es la solución y sus características para entregar la propuesta de valor?

La construcción de pilares de 3,4 metros de alto por 24 metros de largo con marcos de acero triple en cada extremo del pilar. Con convinación de elementos de fortificación activa y pasiva.

- **Canales.**

¿A través de qué canales nos comunicamos y entregamos nuestra propuesta de valor a los actores relevantes? ¿Cómo llegamos a nuestros clientes?

Codelco tiene sus necesidades, diseña sus proyectos y presenta sus problemas. Las empresas deben licitar sus contratos presentando los metodos de trabajo, soluciones, comprometiendose a poner la seguridad por delante de todo y entregando costos de todo lo que aplica en el contrato. Ese es el canal principal en estos casos y la forma de llegar al cliente.

- **Flujo de ingreso.**

¿Cómo se sustenta la solución? ¿Cómo vamos a obtener los recursos para ello?

Se realizan planes semanales vinculados a los cobros que van desde miércoles a martes, todos los muros de confinamiento que se logren construir durante ese periodo de tiempo entraran en el siguiente estado de pago que se libera los días 20 de cada mes.

Los materiales utilizados como pernos o mallas las surte Codelco, luego se aplica un descuento ya que los muros de confinamiento se venden como trabajo terminado incluyendo los materiales.

- **Estructura de costos.**

Los costos fijos son: arriendos de equipos, pago de sueldos.

Los costos variables son todos los insumos utilizados, que se programan con el programa mensual de operaciones.

Como costos de pernos, costos de mallas, costos de hormigón bombeable por m³, etc.

- **Métricas claves.**

¿Cómo mide su satisfacción con la solución, los actores relevantes?

Con reuniones diarias, semanales y mensuales en donde se sienta a conversar con el cliente, se le comunica los avances y se les pregunta si tienen alguna otra necesidad, están satisfechos, les nace alguna inquietud. De no estar satisfechos

por algún motivo, se procede a solucionarlo de inmediato para mantener al cliente contento.

También se realizan caminatas con el departamento de calidad para levantar cualquier detalle de terminación que pudiese haber y así, el cliente no encuentre fallas en las construcciones.

- **Ventaja especial.**

¿Cuál es esa ventaja especial que nos va a ayudar a hacer que los actores relevantes conozcan la propuesta de valor de la solución, mantenga enganchados a los actores con la solución y permita aumentar el número de actores que se benefician de la propuesta de valor?

La mayor ventaja con la que se cuenta es que el método ya demostró ser eficaz y funcionar, esto porque ya se implementó y funciona. Es un método que permitió al cliente utilizar sus instalaciones de manera segura y poder extraer todas las ganancias de lo invertido, con otros métodos utilizados en la misma fase de expansión han tenido que reinvertir en reparaciones y se han atrasado en la obtención de sus ganancias. Este método es el primero en utilizar moldaje para darle forma al muro con la retención del hormigón y el uso de hormigón bombeable con una bomba estacionaria, esto hace única la solución ofrecida.

I. La experiencia del cliente.

Codelco, en su mina Chuquicamata, implemento este método en 4 de sus macrobloques de la mina norte en su expansión subterránea, solo uno de esos macrobloques (N03) fue construido 50% con este método y 50% con un método de otra empresa. Lamentablemente el método de la otra empresa no resistió al momento de que se iniciaran las tronaduras para el retiro de mineral, se derrumbaron 2 de las 5 calles que componían este macrobloque, debiendo instalar marcos Y que posteriormente tampoco resultaron. Hoy en día esas 2 calles están inoperativas y no se puede obtener el total de ganancias de ese macrobloque. Una perdida sin duda millonaria. A favor nuestro, el método utilizado por Acop, el método descrito anteriormente, resistió de excelente forma, solo dos de sus pilares fueron agrietados por la energía de las tronaduras, pero esos pilares fueron revisados y las grietas no implicaban mayor daño, las 3 calles están dando ganancias al cliente. Se le realizo una pregunta a dos importantes geomecánicos de Codelco, encargados de verificar que las construcciones aseguren la estabilidad del macizo rocoso para su posterior proceso, a continuación, se presentan sus respuestas.

- **Claudio Barria, geomecánico de la división**

Chuquicamata de Codelco.

¿Qué tan satisfecho estas con la implementación de este método para la construcción de muros de confinamiento?

La implementación de los muros de confinamiento ha sido creo yo un gran aporte para aumentar las resistencias y sustento de los pilares, ahora la metodología aplicada se debe netamente a la disciplina operacional lograda y alcanzada por el personal a cargo de la construcción. En donde cada vez se encontraban menos desviaciones al momento de revisar las áreas entregadas y por la curva de aprendizaje alcanzada por los supervisores en el menor tiempo posible.

- **Manuel Pizarro, geomecánico de la división**

Chuquicamata de Codelco.

Mi opinión acerca de los muros de confinamiento de proceso constructivo ACOP. La metodología utilizada es más ordenada y se ciñe más apegado a diseño original. Y las modificaciones operacionales de terreno son fácilmente aplicables en cortos periodos de tiempo. En general se puede indicar que el proceso constructivo responde bien a los tiempos establecidos y a la programación semanal.

Adicionalmente se puede indicar que este tipo de muros presenta menores desviaciones post entrega o en el seguimiento de comportamiento de daños en producción se detectan menos deficiencias.

J. Inspiración del prototipado.

- **Objetivo Principal:**

El propósito es garantizar la estabilidad del macizo rocoso en túneles mineros para prevenir derrumbes, proteger la infraestructura y asegurar la seguridad de los trabajadores.

- **Concepto Central: “Muros de Confinamiento de Alta Resistencia”**

Dimensiones de referencia:

Altura: 3.4 metros

Largo: 24 metros

Materiales clave: Hormigón bombeable, pernos helicoidales y pernos cables dobles.

Propósito: Soportar la energía de las tronaduras, protegiendo la integridad del túnel durante y después de la extracción de mineral.

- **Componentes Esenciales del Prototipo:**

Diseño Estructural del Pilar Fortificado

Primer Capa de Fortificación: Instalación de pernos helicoidales en una red de mallas electrosoldadas.

Segunda Capa de Reforzamiento: Aplicación de hormigón bombeable en capas para asegurar un recubrimiento mínimo de 8 cm, lo que refuerza la durabilidad y resistencia estructural.

Integración de Fortificación Activa y Pasiva:

Fortificación Activa: Incluye pernos helicoidales y cables tensados para soportar el macizo de manera dinámica.

Fortificación Pasiva: Involucra la estructura de hormigón armado con enfierradura y mallas, complementando la resistencia y proporcionando una barrera adicional.

Marcos de Acero para Protección en Puntos de Extracción:

Propósito: Protege a los operadores de maquinaria de posibles derrumbes durante la extracción.

Diseño: Marcos de acero ubicados estratégicamente, que se integran con los muros de confinamiento para brindar máxima seguridad.

- **Propuesta Visual (Sketch o Diagrama Simple):**



Figura J.1 diseño de muros de confinamiento

- **Experiencia del Cliente (Codelco) con el Método**

ACOP:

Beneficios observados: Codelco ha constatado la estabilidad del método en las comparaciones de campo, lo que valida la efectividad de esta técnica.

Ahorro de costos a largo plazo: La metodología minimiza las pérdidas por derrumbes y evita la necesidad de reinvertir en áreas comprometidas.

Seguridad: Contribuye a una mayor seguridad, ya que reduce significativamente la exposición de los trabajadores a riesgos operacionales.

- **Elemento de Inspiración: Sostenibilidad y Eficiencia en Minería Subterránea**

Inspirado en el uso de materiales duraderos y técnicas avanzadas de construcción, este prototipo busca establecer un nuevo estándar en minería subterránea, donde la fortificación no solo representa protección, sino también productividad y eficiencia sostenibles.

K. Validación de prototipo

Nuestros early adopters es Codelco en este caso en específico, también en este caso se trabaja en una solución en conjunto al cliente para adaptar el prototipo a las sobre excavación mayores a lo acostumbrado con el fin de asegurar la estabilidad al tener que rellenar con mucho más hormigón.

Para que se pueda entender de mejor forma cuando se habla de sobre excavación veamos la figura K.1



Figura K.1 sobre excavación de 5 metros de anomalía.

El plano inicial conllevaría en rellenar todo eso con hormigón el que se encontraría sin armadura en 5 metros, esto al primer esfuerzo se fracturaría provocando daños irreparables en el pilar.

Se presento una idea al cliente y bajo algunos ajustes el prototipo quedo de la siguiente manera,

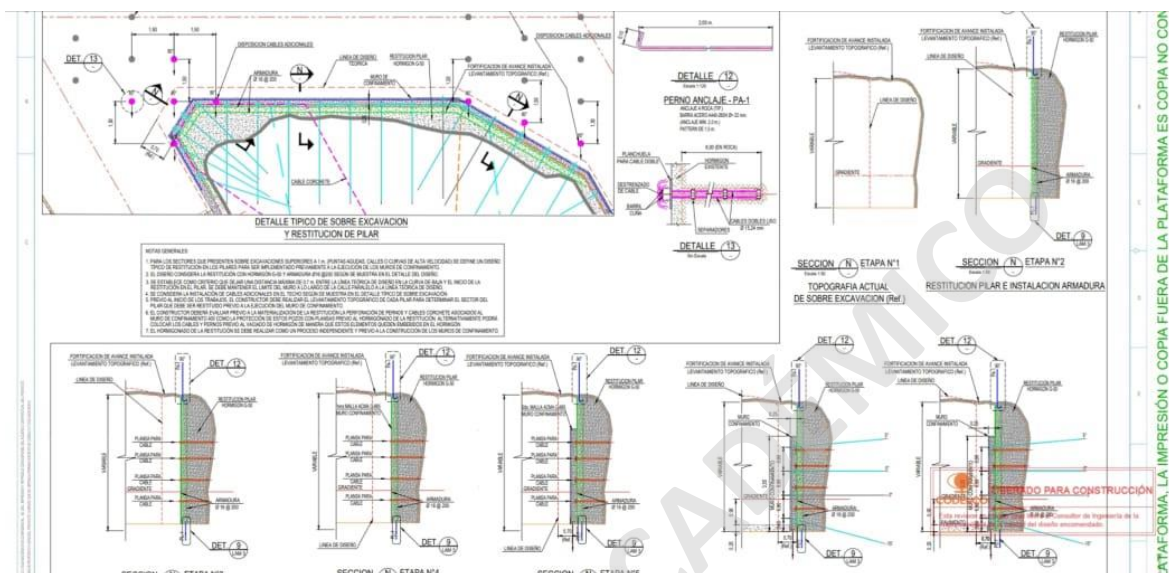


Figura K.2 plano de prototipo para muros especiales.

Básicamente se restituye el pilar de roca dañado con una armadura y hormigón extra y diferente al muro principal, el cual se construye luego de este muro especial. La diferencia es que la armadura es con fierro de 16" tejido con separación de 20 cm. Luego se rellena con un hormigón con más granulometría.

Para validar este método se aplicó la construcción del prototipo en una de las calles del macrobloque N42 norte del nivel de producción, quedando de la siguiente manera



Figura K.3 muro especial terminado.

El prototipo tuvo éxito y cumplió con todas las expectativas del cliente, quedando validado el prototipo.

L. Flujo de caja.

Para realizar un flujo de caja del prototipado, primero vamos a revisar algunos datos necesarios para entender la viabilidad económica del proyecto.

TABLA AUXILIAR	
Nombre del Proyecto	MUROS DE CONFINAMIENTO
tasa de impuesto	25%
inflación anual	4,5%
tasa	5,00%
Precio M2	\$890.000
Precio Total muros	\$21.360.000
Muros construidos Anual	109

L.1: Tabla auxiliar de flujo de caja.

En la tabla L.1 podemos apreciar datos importantes como el precio y cantidad de muros y las tasas de impuestos elegidas para realizar el flujo. En la siguiente tabla podemos apreciar lo que son costos, tanto los fijos como los variables.

CUENTA DE RESULTADOS	
INGRESO	\$ 2.328.240.000
COSTOS VARIABLES	\$ 640.498.824
COSTOS FIJOS	\$ 636.000.000
ANTES DE IMPUESTOS	\$ 1.051.741.176
DESPUES DE IMPUESTO	\$ 262.935.294
B. NETO	\$ 788.805.882
B. NETO % AHORRO	34%

L.2: tabla de resultados

Con todos estos datos, se realiza un flujo de caja, resaltando que el financiamiento del proyecto es por parte del consorcio, sin necesidad de recurrir a alguna entidad financiera.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos	\$ -	\$ 2.328.240.000	\$ 2.328.240.000	\$ 2.328.240.000
Costos fijos	\$ -	\$ -636.000.000	\$ -664.620.000	\$ -694.527.900
Costos variables	\$ -	\$ -640.407.432	\$ -669.225.766	\$ -699.340.926
Depreciación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad antes de impuesto	\$ -	\$ 1.051.832.568	\$ 994.394.234	\$ 934.371.174
Impuesto (25%)	\$ -	\$ -262.958.142	\$ -248.598.558	\$ -233.592.794
Utilidad neta	\$ -	\$ 788.874.426	\$ 745.795.675	\$ 700.778.381
Depreciación Total	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
inversión Inicial	\$ -1.276.407.432	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de Caja Neto	\$ -1.276.407.432	\$ 788.874.426	\$ 745.795.675	\$ 700.778.381
Flujo de Caja Descontado	\$ -1.276.407.432	\$ 751.308.977	\$ 676.458.662	\$ 635.626.649
Flujo de Caja Acumulado	\$ -1.276.407.432	\$ -525.098.455	\$ 151.360.207	\$ 786.986.856

L.3: Flujo de caja.

Con este flujo de caja, se pueden obtener datos relevantes como saber a que año se recupera la inversión, vemos en este caso, que el año cero es donde se invierte, el primer año es solo de recuperación y a partir de segundo año, ya se comienza a obtener ganancias.

Con el flujo de caja se puede obtener también los siguientes análisis.

VAN	\$ 756.718.921
TIR	35%
PAYBACK	1,70

L.4: Análisis de flujo de caja.

En la tabla anterior podemos entender que:

VAN (Valor Actual Neto): \$756.718.921, indicando una rentabilidad positiva.

TIR (Tasa Interna de Retorno): 35%, superior a la tasa de corte (5%), lo que lo hace muy atractivo.

Payback: 1,70 años, lo que implica una rápida recuperación de la inversión.

SOLO USO ACADÉMICO

M.Análisis de sensibilidad.

Con el flujo de caja, podemos realizar análisis de sensibilidad para entender como afectan los cambios en algunas variables, en este caso, se eligió en la variable 1 (horizontal) el precio del muro, desde 64% del total a un 148%. En la variable 2 (vertical) tenemos el costo variable del proyecto, desde un 23% hasta un 33%. Cabe destacar que el costo variable corresponde al 27,51% del 100% del precio de los muros.

Variable Nro. 1	Precio	12%
Variable Nro.2	% Costo Variable	5%

COSTOS VARIABLES			PRECIO							
			64%	76%	88%	100%	112%	124%	136%	148%
\$ 640.498.824			\$ 13.670.400	\$ 16.233.600	\$ 18.796.800	\$ 21.360.000	\$ 23.923.200	\$ 26.486.400	\$ 29.049.600	\$ 31.612.800
% COSTOS VARIABLES	85%	23%	\$ 348.431.360	\$ 413.762.240	\$ 479.093.120	\$ 544.424.000	\$ 609.754.880	\$ 675.085.760	\$ 740.416.641	\$ 805.747.521
	90%	25%	\$ 368.927.323	\$ 438.101.196	\$ 507.275.069	\$ 576.448.942	\$ 645.622.815	\$ 714.796.688	\$ 783.970.561	\$ 853.144.434
	95%	26%	\$ 389.423.285	\$ 462.440.151	\$ 535.457.017	\$ 608.473.883	\$ 681.490.749	\$ 754.507.615	\$ 827.524.481	\$ 900.541.347
	100%	27,51%	\$ 409.919.247	\$ 486.779.106	\$ 563.638.965	\$ 640.498.824	\$ 717.358.683	\$ 794.218.542	\$ 871.078.401	\$ 947.938.260
	105%	29%	\$ 430.415.210	\$ 511.118.062	\$ 591.820.913	\$ 672.523.765	\$ 753.226.617	\$ 833.929.469	\$ 914.632.321	\$ 995.335.172
	110%	30%	\$ 450.911.172	\$ 535.457.017	\$ 620.002.862	\$ 704.548.706	\$ 789.094.551	\$ 873.640.396	\$ 958.186.241	\$ 1.042.732.085
	115%	32%	\$ 471.407.134	\$ 559.795.972	\$ 648.184.810	\$ 736.573.648	\$ 824.962.485	\$ 913.351.323	\$ 1.001.740.161	\$ 1.090.128.998
	120%	33%	\$ 491.903.097	\$ 584.134.927	\$ 676.366.758	\$ 768.598.589	\$ 860.830.419	\$ 953.062.250	\$ 1.045.294.081	\$ 1.137.525.911

M.1 análisis de sensibilidad.

Este análisis permite visualizar el impacto de posibles cambios en precios y eficiencia, y evaluar el riesgo financiero. Por ejemplo, si el costo variable sube o el precio de venta baja, la rentabilidad se reduce significativamente.

N. Conclusión.

En el desarrollo de esta investigación, se ha abordado de manera exhaustiva el problema de la baja estabilidad del macizo rocoso en la minería subterránea, un desafío crítico que impacta directamente la seguridad y eficiencia de las operaciones. A lo largo del análisis, se han identificado factores determinantes como la sobre excavación, la mala calidad de la roca y los derrumbes peligrosos, que subrayan la necesidad de implementar un sistema de fortificación eficaz.

La propuesta de un método de fortificación, que incluye la construcción de muros de confinamiento de 3.4 metros de altura y 24 metros de largo, se fundamenta en la utilización de materiales especializados, tales como pernos helicoidales, cables y hormigón bombeable. Este enfoque no solo busca mitigar los riesgos asociados a los derrumbes, sino que también se apoya en métodos validados por expertos geomecánicos de Codelco, garantizando así su efectividad y viabilidad en el entorno minero.

Asimismo, la colaboración con expertos en la materia y la atención a las necesidades específicas de los clientes, como Codelco en su mina Chuquicamata, resaltan la importancia de un enfoque multidisciplinario que contemple tanto la seguridad como la sostenibilidad en las operaciones mineras. Esta investigación no solo ofrece soluciones prácticas y concretas para los problemas identificados, sino que también establece un marco para futuras mejoras y adaptaciones en la fortificación de túneles en la minería subterránea.

En conclusión, el método de fortificación propuesto representa una contribución significativa al campo de la minería, promoviendo un entorno de trabajo más seguro y eficiente. Se recomienda continuar con investigaciones adicionales que evalúen la aplicación de estos métodos en otros contextos mineros y que consideren el desarrollo de nuevas tecnologías y materiales que puedan potenciar aún más la estabilidad y seguridad en las operaciones subterráneas.

En el ámbito relacionado con costos, se puede observar varios costos que asume la empresa para desarrollar el método de fortificación. Además de identificar inversión con capital propio y préstamos de bancos. En un periodo de 3 años realizando los 327 muros del proyecto completo, se puede concluir que el proyecto es viable económicamente con resultados muy positivos.

Con respecto a los Pitch NABC Y DECK se logra comunicar el método de una forma más didáctica ofreciéndose como solución para una problemática en labores subterráneas y oportunidad de inversión con múltiples clientes en varios países.

O. Referencias bibliográficas

Universidad Mayor. (n.d.). *Guía para la elaboración de informes académicos*.

Campus Virtual de la Universidad Mayor.

https://campusvirtual.umayor.cl/ultra/courses/_150415_1/outline/file/_4914462_1

Salazar, R. (2010). *Diagrama de contexto*. SlideShare.

<https://es.slideshare.net/slideshow/diagrama-de-contexto/4321067>

Nube Inversiones. (2021). *Presentación técnica: Árbol de problemas*. Nube

Inversiones. [https://nubeinversiones.cl/wpnube/wp-](https://nubeinversiones.cl/wpnube/wp-content/uploads/2021/04/Presentacio%CC%81n-Te%CC%81cnica-A%CC%81rbol-de-Problemas.pdf)

[content/uploads/2021/04/Presentacio%CC%81n-Te%CC%81cnica-](https://nubeinversiones.cl/wpnube/wp-content/uploads/2021/04/Presentacio%CC%81n-Te%CC%81cnica-A%CC%81rbol-de-Problemas.pdf)

[A%CC%81rbol-de-Problemas.pdf](https://nubeinversiones.cl/wpnube/wp-content/uploads/2021/04/Presentacio%CC%81n-Te%CC%81cnica-A%CC%81rbol-de-Problemas.pdf)

HubSpot. (2023, marzo 22). *¿Qué es un mapa de empatía? Cómo crear uno y por*

qué es importante. HubSpot Blog. <https://blog.hubspot.es/service/mapa-empatia>

Teckup Online. (2024, 27 mayo). Arriendo Cuerpo Andamio Euro Móvil (1 cuerpo +

cierre) - Teckup online. Teckup Online - Insumos Para la Industria y Construcción -

Andamios - Escaleras - Seguridad Vial - Carros y Rampas - Moldaje.

<https://teckuponline.cl/producto/arriendo-cuerpo-andamio-euro-1-cuerpo-cierre/>

Pernos de Anclaje Split Set. (s/f). Prodalam. Recuperado el 15 de noviembre de

2024, de <https://www.prodalam.cl/categorias/153/pernos-anclaje-split-set/>