

Universidad Técnica Federico Santa María
MITE, Depto de Industrias



**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
MITE**

**“Realizar un Prototipo de la Variante de Socavación para La
Explotación de una Mina Subterránea”**

Tesis de Grado presentada por

Hugo Eduardo Constanzo Beitia

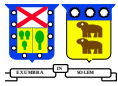
Como Requisito para optar al grado de

MITE

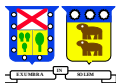
Profesor Guía

Sr. Andres Fuentes C.

Noviembre 2014



A mi mujer Pachy y a mis hijas Arantxa, Josefa y Amaya por todo el amor, alegría y comprensión que me dan. A Alberto Beitia Mentxaca, mi Abuelo, que me mostró que en la vida hay que perseverar para lograr tus objetivos.



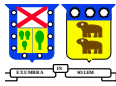
RESUMEN EJECUTIVO

La experiencia de explotación de minas subterráneas por Panel Caving en el mundo, indica que en todos los sectores productivos existe un porcentaje de infraestructura minera que deja de estar disponible para la extracción de mineral en algún momento de la historia de éstos. Los factores que controlan este fenómeno son la calidad del macizo rocoso, el estado tensional del Sector y la minería aplicada (Diseño y Explotación).

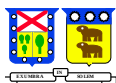
La explotación de la Minas subterráneas profundas por Panel Caving, será un proceso más complejo y los desafíos comunes de la Minería del Caving, estarán concentrados en dar soluciones a problemas similares. Los colapsos de galerías se han observado en diferentes minas en el mundo, independiente de la variante de caving. La problemática de estallidos de rocas y colapsos será más compleja, si es que no somos capaces de encontrar soluciones de diseño y explotación adecuadas a estados tensionales más altos.

El detalle de las conclusiones más relevantes del presente estudio se detalla a continuación:

- Los RFI Identificados a partir de las contradicciones que se desarrollaron, que deben dar respuesta a los objetivos estratégicos que tienen en la Mina futura para la justificación de su materialización, fueron los siguientes:
 - ✓ Tipo de roca. **RFI: Roca que no se derrumbe y no estalle.**
 - ✓ Diseño de producción. **RFI: Diseño para producir arriba y producir abajo.**
 - ✓ Mecanismo De Extracción. **RFI: Extracción de menor riesgo y menor costo.**
 - ✓ Método De Explotación. **RFI: Explotación simple y de bajo riesgo.**
 - ✓ Velocidad de explotación. **RFI: Velocidad para mayor producción y bajo riesgo.**

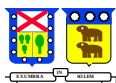


- La aplicación de la Matriz AHP, permitió identificar la variable de **diseño de layout (54%), como la que tiene mayor importancia** por lo que los prototipos a desarrollar deben poner énfasis en este aspecto.
- Al realizar la evaluación de las tres alternativas desarrolladas como prototipo digital con respecto de los RFI, se obtuvo que la Alternativa C es la que obtuvo mayor puntaje (11), con respecto a la alternativa A (8) y B(7), incluso si se castigara la evaluación en los RFI 3 con un puntaje 2 y el RFI 5 con un puntaje 2, la alternativa C obtendría una puntuación de 9, por lo cual esta satisface de mejor forma los requerimientos, tomando la decisión de construir el prototipo de la Alternativa C.
- La variante A, es la que reúne la mayor cantidad de riesgos residuales para su operación en las categorías “Alto” y “Medio”, seguida por la Alternativa B para finalmente terminar con la Alternativa C.
- La Alternativa C concentra la menor cantidad de riesgos residuales a la seguridad de las personas y además en una categoría de orden inferior a las otras dos variantes analizadas.
- La alternativa C, es la que tiene el mejor VAN (78 MUS\$) al considerar una explotación por un periodo de 3 años.
- La Alternativa C, tiene un 37% más de VAN con respecto a la alternativa A.



INDICE

1.	INTRODUCCION	1
2.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	2
2.1	OBJETIVOS Y ALCANCE	2
2.2	PLANTEO DEL PROBLEMA A RESOLVER	2
2.3	RELEVANCIA Y ANTECEDENTES DEL TEMA	3
3.	ESTADO DEL ARTE	4
4.	METODOLOGIA DE TRABAJO	6
4.1	TECNICAS DE DOCUMENTACION	6
5.	DESARROLLO DE TEMA	7
5.1	DESIGN THINKING	7
5.2	POST – EVALUACION VARIANTE DE SOCAVACION	8
5.3	RFI	11
5.4	PROCEDIMIENTO ESTRUCTURADO DE DISEÑO PDCA	16
5.5	MATRIZ AHP	17
6.	DESARROLLO DEL PROTOTIPO	18
7.	RIESGOS	25
7.1	DEFINICIONES	25
7.2	ESTRUCTURA DEL ANALISIS	27
7.3	PROCESO DE EVALUACION	28
7.4	ANALISIS DE RESULTADOS	29



7.5	RESULTADOS ALTERNATIVA A	30
7.6	RESULTADOS ALTERNATIVA B	31
7.7	RESULTADOS ALTERNATIVA C	32
7.8	COMENTARIOS FINALES	34
8.	EVALUACION ECONOMICA	36
9.	CONCLUSIONES	37
10.	BIBLIOGRAFIA	38

1. INTRODUCCION

La experiencia de explotación de minas subterráneas por Panel Caving en el mundo, indica que en todos los sectores productivos existe un porcentaje de infraestructura minera que deja de estar disponible para la extracción de mineral en algún momento de la historia de éstos. Los factores que controlan este fenómeno son la calidad del macizo rocoso, el estado tensional del Sector y la minería aplicada (Diseño y Explotación).

El tener disponible las infraestructuras para producción, aseguran el cumplimiento de las metas de producción esperadas de acuerdo al presupuesto. Cualquier variación de la disponibilidad, se verá reflejado directamente en variación en el presupuesto operacional de un sector productivo, lo que se traduce en mayores o menores costos de operación.

En las minas subterráneas de Panel Caving en el mundo, se utiliza el post – hundimiento (ver figura n°1) y Hundimiento Avanzado (ver Figura n°2), los cuales se caracterizan por llevar un frente de hundimiento dinámico, que modifica la condición del macizo rocoso, los que dependiendo de la variante de panel caving utilizada, se traducen en mayores o menores daños en la infraestructura minera.

Figura n° 1. Variante de Panel Caving Post Hundimiento

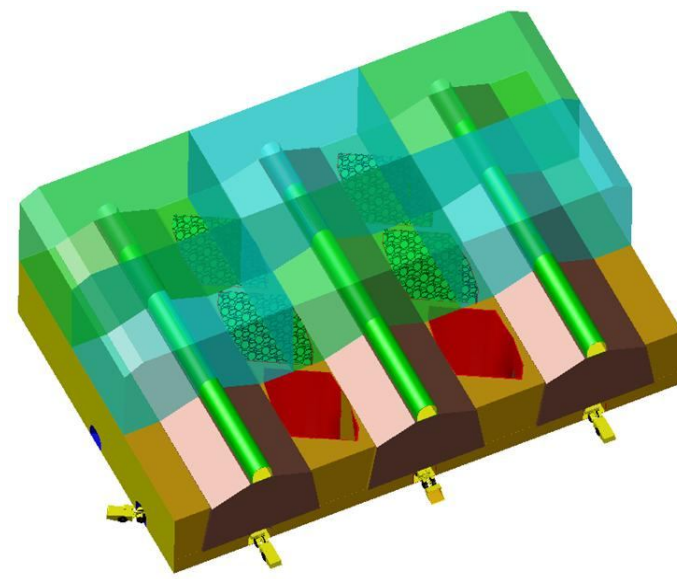
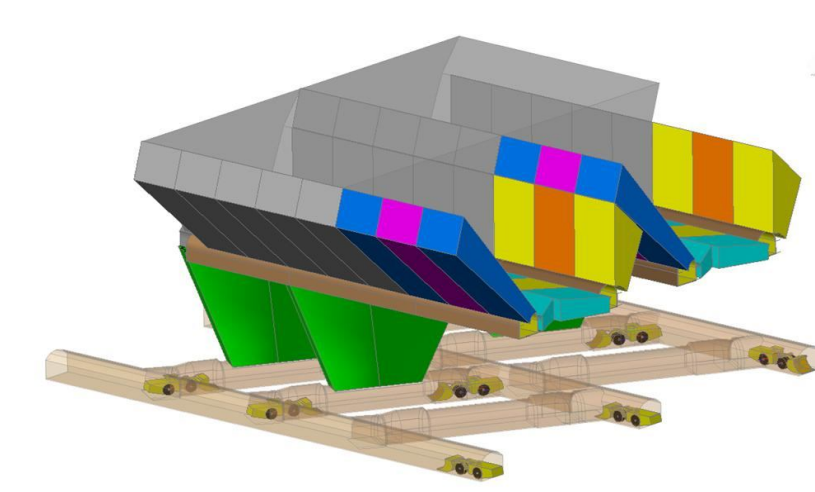


Figura n° 2. Variante de Panel Caving Hundimiento Avanzado



2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

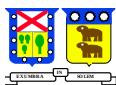
El objetivo del estudio es identificar aspectos básicos del diseño y desarrollo de productos innovadores, con la finalidad de desarrollar un prototipo de un Diseño Innovador, basado en las necesidades del cliente.

Realizar un Análisis de Riesgos a las Alternativas de Socavación del Método de Explotación.

Realizar una Evaluación Económica de la Implementación del Diseño Definido

2.2 PLANTEO DEL PROBLEMA A RESOLVER

Con la profundización de la explotación de la Minas que se explotan por Caving, el proceso será más complejo y los desafíos comunes de la Minería del Caving, estarán concentrados en dar soluciones a problemas similares, por lo que en el caso del nivel de hundimiento se deberá llegar a obtener un diseño que privilegie la estabilidad del nivel con el objetivo de asegurar la servicialidad de las galerías, que permita asegurar el corte basal del panel



(sin pilares remanentes), permitiendo un buen progreso del caving y a su vez la variante de Panel Caving a utilizar, debe permitir asegurar la disponibilidad de proyecto del área y minimizar la situación de estallidos de rocas en el nivel de producción.

2.3 RELEVANCIA Y ANTECEDENTES DEL TEMA

Con la profundización de las principales minas explotadas por Rajo Abierto; Chuquicamata, Grasberg y en el futuro Escondida, Collahuasi y otras, su explotación no resultará con la rentabilidad deseada, debido a que se incrementan sus costos de transporte de mineral y lastre, por lo cual irán a una explotación por minería subterránea de Panel Caving a gran escala, forma tal que les permita seguir siendo competitivos en costos ante una variabilidad en el precio, que le permita asegurar una rentabilidad mínima a sus accionista.

La explotación de la Minas subterráneas profundas por Panel Caving, será un proceso más complejo y los desafíos comunes de la Minería del Caving, estarán concentrados en dar soluciones a problemas similares. La extracción de marinas en el nivel de hundimiento, es compleja desde el punto de vista del riesgo a las personas y a su vez una variable crítica en el proceso del caving, ya que debe asegurar el corte basal del panel. Los colapsos de galerías se han observado en diferentes minas en el mundo, independiente de la variante de caving. La problemática de estallidos de rocas y colapsos será más compleja, si es que no somos capaces de encontrar soluciones de diseño y explotación adecuadas a estados tensionales más altos.

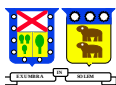
3. ESTADO DEL ARTE

Las principales minas de Block/Panel Caving en el mundo, utilizan básicamente dos variantes: Post-hundimiento y Pre-hundimiento. Este último, a su vez, presenta dos modalidades: Narrow cut y Crinkle Cut. En general, la tendencia que se ha observado entre operaciones que utilizaron el Block Caving para la extracción de mineral, fue derivar al Panel Caving, ello debido principalmente a un cambio en la competencia de la roca y mayor fragmentación. La diferencia entre operaciones ubicadas en otras partes del mundo con operaciones de Panel Caving chilenas (Ver Tabla n°1), es que en general las operaciones fuera de Chile han optado por el Panel Caving con Prehundimiento (frentes con losa, es decir H. Previo y H. Avanzado), específicamente por el Panel Caving con Hundimiento Avanzado.

Tabla N°1: Faenas explotadas con posthundimiento y prehundimiento

Sector	Pais	Variante	Método
Esmeralda	Chile	Pre- HDTO	PCHP
Reservas Norte	Chile	Pre- HDTO	PCHA
Ten-4 Sur	Chile	Post-HDTO	PCHC
Salvador	Chile	Post-HDTO	PCHC
Andina	Chile	Post-HDTO	PCHC
North Parkes Lift2	Australia	Pre- HDTO	PCHA
Ridgeway Deeps	Australia	Pre- HDTO	PCHA
Henderson	USA	Post-HDTO	PCHC
DOZ	Indosnesia	Pre- HDTO	PCHA
Palabora	Sudafrica	Pre- HDTO	PCHA
Premier	Sudafrica	Pre- HDTO	PCHA

Las razones por las cuales algunas minas han optado por Panel Caving con Hundimiento Avanzado (PCHA) por sobre el Panel Caving con Hundimiento Convencional (PCHC), plantean que la aplicación del PCHC generó colapsos y pérdida de área productiva, producto del paso del frente de hundimiento y el stress inducido que generó además daños en las labores (principalmente en el nivel de producción), lo que motivó el cambio a la variante de PCHA para desarrollar las labores del nivel de producción en zonas des estresadas.

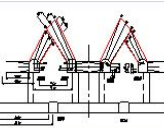
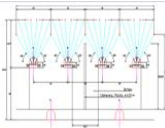
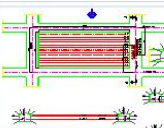
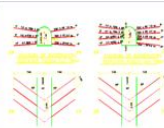
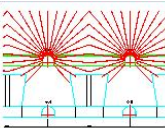


Por otro lado, las faenas que habían operado sin grandes problemas con la variante Convencional, analizaron posibles variaciones en la selección del método en la medida que se profundizaba la explotación del yacimiento. De esta manera, las variables consideradas como el incremento en la competencia de la roca, la profundidad y el cambio en el estado tensional, determinaron la decisión de operar con una variante Avanzada en los nuevos sectores. No obstante, se debe tener presente que la experiencia en una mina subterránea de caving en Chile, la explotación de Hundimiento Previo o Hundimiento Avanzado (HA) ha presentado algunos problemas, principalmente por el nivel de daño que se ha generado en el nivel de hundimiento.

Con el objetivo de definir la variante de Panel Caving que asegure la continuidad en la incorporación de área para los futuros proyectos de explotación, se realizaron visitas técnicas a empresas mineras de Caving en Australia, Indonesia, Estados Unidos y Canadá, los focos de la visita se centraron en materias de parámetros de diseño minero y de perforación y tronadura, esto desde el punto de vista de la estabilidad y daños en el macizo rocoso, como así también la planificación y constructibilidad de la variante. En general las conclusiones apuntan a que el diseño de socavación por medio de Crinklecut ha sido exitoso en todas las faenas visitadas y propone una secuencia y aspectos operacionales que la hacen más sencilla y robusta en términos de vulnerabilidades/siniestralidades a la socavación baja para (pilares/JW) un hundimiento avanzado, además se pudo observar un menor grado de daño en los niveles de producción visitados comparado con un Post-Undercut (Convencional), sin embargo la variante de Panel Caving con Hundimiento Avanzado no ha tenido una buena performance en una de las minas de caving de la empresa minera de Chile.

Se realizó una evaluación y comparación de los principales aspectos para el éxito de la socavación y excavación de bateas, que actualmente se utilizan el mundo, y ver cuál de estos diseños, ofrece la mejor calificación de riesgo.

Tabla n°2

						
	Grasberg	Ridgeway Deeps	Front Caving	Parallel Shooters	John Wayne	PC Convencional
Conexión apex producción	5	5	3	3	5	3
Conexión socavación/batea	5	1	5	3	3	1
Estabilidad Crownpillar	1	1	1	3	5	5
Excavación Batea	3	1	3	5	5	1
Socavación	3	3	3	3	3	3
TOTAL	17	11	15	17	21	13

Esta evaluación muestra que el diseño de Ridgeway Deeps (Crinkle Cut) y el Panel Caving Concencional, exhiben un mejor desempeño técnico en función de las variables críticas para el éxito del corte basal y excavación de bateas, sin embargo el comportamiento de estas variantes es bastante diferente, si el nivel a evaluar es el de hundimiento o producción.

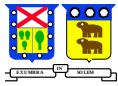
4. METODOLOGIA DE TRABAJO

4.1 Técnicas de Documentación

Conocimiento Previo: la investigación tendrá como punto de partida los conocimientos previos que el autor tiene sobre el tema.

Fase de Documentación Secundaria: Lecturas de estudios y trabajos relacionados con el tema.

Fase de Documentación Primaria: Obtenido el marco teórico, se obtendrán datos a través de post-evaluaciones de la variantes de socavación utilizadas en las minas de caving de la empresa minera de Chile.



Técnicas de Contrastación de la Hipótesis.

Para realizar la contrastación de la hipótesis se realizará desde dos puntos de vista:

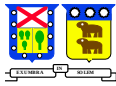
- a) Evaluación Económica de aplicación de los tres prototipos seleccionados con realidades diferentes.
- b) Evaluación Cualitativa de los Prototipos seleccionado como Variante de Socavación.

5. DESARROLLO DEL TEMA

5.1 DESIGN THINKING

Design Thinking, es una disciplina que usa la sensibilidad de diseñadores y métodos para encontrar las necesidades de la gente, con saber que es tecnológicamente factible, y que es posible con estrategia del negocio puedo convertir a los clientes internos en valor y oportunidad de mercado. Es una metodología que precisamente procura dar una mirada diferente a la realidad. Hacer que las personas participen en el proceso creativo de la cadena de valor de una empresa es un asunto poco frecuente en las organizaciones actuales. Una de las bases de esta metodología es que las buenas ideas surgen de un proceso creativo participativo en el que se implica a diferentes personas de la empresa, clientes, proveedores, etc. Esto hace que el proceso de innovación sea un proceso sistemático y no una acción puntual fruto de una genialidad. La forma en que desarrollamos la búsqueda de la solución del problema fue el siguiente:

- **OBSERVAR:** Se realiza post-evaluaciones a todas las variantes de socavación que se han utilizado en las minas de caving de la empresa minera de Chile.
- **ENTENDER:** Se realizaron talleres en los cuales estaban involucrados los profesionales que están relacionados con el diseño Minero. Especialista de Perforación y Tronadura, Planificación,



Preparación, Geomecanica, para entender la mejor forma de operación y utilización de la variante de socavación.

- **VISUALIZAR e INTEGRAR:** Se definieron actividades críticas que debe considerar el Diseño: Estabilidad, Constructibilidad, Daño Infraestructura. En resumen se debe hacer una síntesis de las lecciones aprendidas.

5.2 POST-EVALUACION VARIANTE DE SOCAVACION

La post-evaluación de daño en los puntos de extracción y la determinación de la disponibilidad, se obtuvo a partir de evaluaciones, que se realizaron en las minas explotadas por panel caving en la empresa minera subterránea de Chile. Para entender de mejor forma las alternativas de variantes de panel caving evaluada, se entrega las características de cada una de ellas:

- **Alternativa A:** Corresponde a una variante perteneciente al método Panel Caving donde la preparación de área y tronadura de batea es realizada en su totalidad delante del frente de hundimiento. A su vez la socavación en el nivel de hundimiento se realiza sobre un nivel de producción desarrollado en su totalidad. (calles y zanjas).
- **Alternativa B:** Corresponde a una variante perteneciente al método Panel Caving donde la preparación de área es realizada delante del frente de hundimiento en su totalidad y parcialmente en el nivel de producción (calles), mientras que la tronadura de bateas es efectuada detrás del frente de hundimiento. A su vez la socavación en el nivel de hundimiento se realiza sobre un nivel de producción parcialmente desarrollado, dejando las galerías de zanjas y bateas para ser excavadas bajo área hundida o socavada.

5.2.1 Puntos de Extracción

La importancia de la evaluación del estado de daño en los puntos de extracción radica en que las reparaciones de éstos representa el mayor impacto sobre los costos de mantención por metro cuadrado del nivel de producción y además juegan un rol **importante** toda vez que de la

operatividad de éstos depende la rentabilidad del negocio. Los resultados obtenidos son que en las minas donde se aplica la Alternativa B de panel caving avanzado se obtuvo el menor daño y en las minas donde se aplica la Alternativa A el panel caving convencional el daño en los puntos de extracción es mayor (Ver Figura n°3).

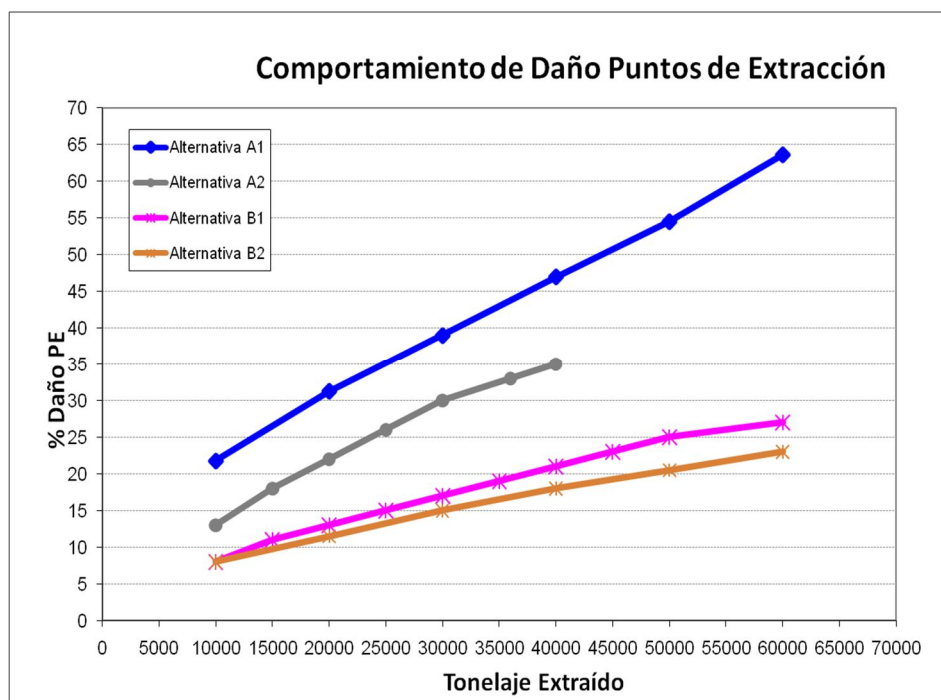


Figura n°3

5.2.2 Disponibilidad de la Infraestructura de Producción

El efecto del daño en el macizo rocoso de un nivel en producción, se ve reflejado en la Disponibilidad que tiene esa infraestructura de estar apta para que se realice la producción. El tener disponible las infraestructuras para producción, aseguran el cumplimiento de las metas de producción esperadas de acuerdo al presupuesto. Cualquier variación de la disponibilidad, se verá reflejado directamente en variación en la rentabilidad de su operación.

Se analizó el comportamiento de la Disponibilidad de diferentes sectores productivos de las minas explotadas por panel caving en la empresa

minera subterránea de Chile (ver figura n° 4), ente los años 1996 – 2006 y 2003-2006, para la minas que utilizan la alternativa A1 y A2 de explotación, 2008- 2012 Alternativa B1, 2004-2102 Alternativa B2 y 2007-2012 Alternativa B3, obteniéndose un indicador considerablemente mejor en las Minas donde se utilizan la variante de Panel Caving Avanzado (99%), “Alternativa B” y una disponibilidad considerablemente más baja en las Minas donde se utiliza la variante de Panel Caving Convencional (70%), “Alternativas A”.

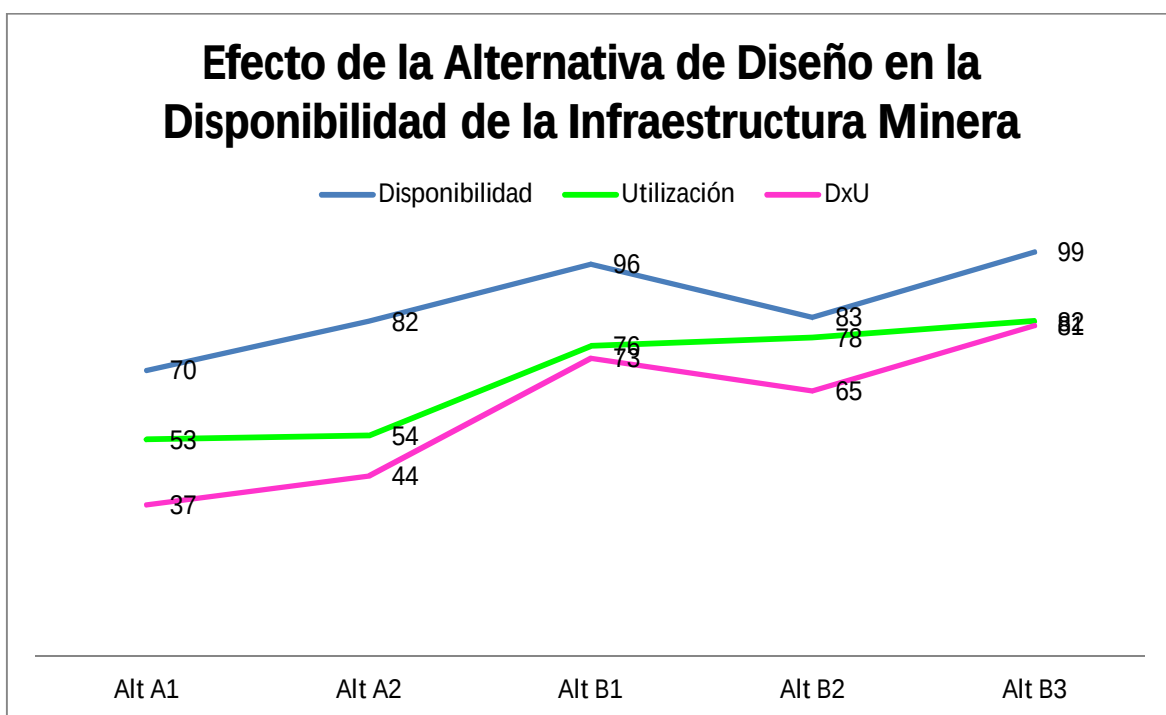


Figura n° 4

Sector	Mine	Variant	D (%)	U (%)	DxU
1	Alt A1	HC	70	53	37
2	Alt. A2	HC	82	54	44
3	Alt. B1	HA	96	76	73
4	Alt. B2	HA	83	78	65
5	Alt. B3	HA	99	82	81

5.3 RFI

La Variante de Socavación para la Explotación de una Mina Subterránea, tiene la contradicción técnica es que si utilizo una variante de explotación A, tengo colapsos en el nivel de hundimiento y un muy buena estabilidad en el nivel de producción y si utilizo una variante de explotación B, tengo un muy buen estabilidad en el nivel de hundimiento y colapsos en el nivel de producción.

La premisa que se formula, es que el explotar la mina futura, las galerías colapsaran, por las condiciones de roca, profundidad de la Mina, desviaciones operacionales, diseño de layout no son las mejores. En una primera se trabajo con la premisa que las galerías colapsan y que esta situación era gobernada por el material, diseño de layout, desviación operacional y profundidad de la mina, sin embargo no fue posible ver con claridad que a partir de un problema (ver tabla n°3), existiera un clara contradicción y partir de estas encontrar el resultado final ideal (RFI).

TABLA N°3. Identificación de Problemas

PREMISA		LAS GALERIAS COLAPSAN	
MATERIAL			
PROBLEMA	ROCA BLANDA COLAPSA	V/S	ROCA DURA ESTALLA
CONTRADICCION	QUIERO QUE SEA BLANDA PARA QUE SEA EXPLOTABLE	Y	QUE SEA DURA PARA QUE SEA EXTRAIBLE
RFI	QUE LA ROCA SEA EXPLOTABLE Y ESTABLE		
DISEÑO DE LAYOUT			
PROBLEMA	ESTABILIDAD EN NIVEL DE PRODUCCION	V/S	COLAPSO EN NIVEL DE HUNDIMIENTO
CONTRADICCION	UN NIVEL DE PRODUCCION ESTABLE PARA EXPLOTAR	Y	UN NIVEL DE HUNDIMIENTO ESTABLE PARA NO COLAPSAR
RFI	TENER NIVELES DE EXPLOTACION Y HUNDIMIENTO ESTABLES		
DESVIACIÓN OPERACIONAL			
PROBLEMA	UN DISEÑO COMPLEJO FACILITA UNA OPERACIÓN DESVIADA	V/S	UN DISEÑO SIMPLE MITIGA LA DESVIACION EN LA OPERACIÓN
CONTRADICCION			
RFI			
PROFUNDIDAD DE LA MINA			
PROBLEMA			
CONTRADICCION			
RFI			

La metodología TRIZ, el cual indica que todo problema inventivo implica la solución de una contradicción. Una contradicción representa una situación en la que la mejora en una característica de un sistema deriva en el deterioro de la otra. El proceso de innovación sistémica de TRIZ se enfoca en contradicciones y busca su resolución haciendo que desaparezcan en vez de las habituales soluciones de compromiso de ingeniería y otros métodos. La formulación de la Contradicción

Técnica ayuda a entender mejor la raíz de un problema y averiguar más rápido la solución exacta para este problema. Si no hay ninguna contradicción técnica entonces no estamos ante un problema inventivo (no es un problema TRIZ).

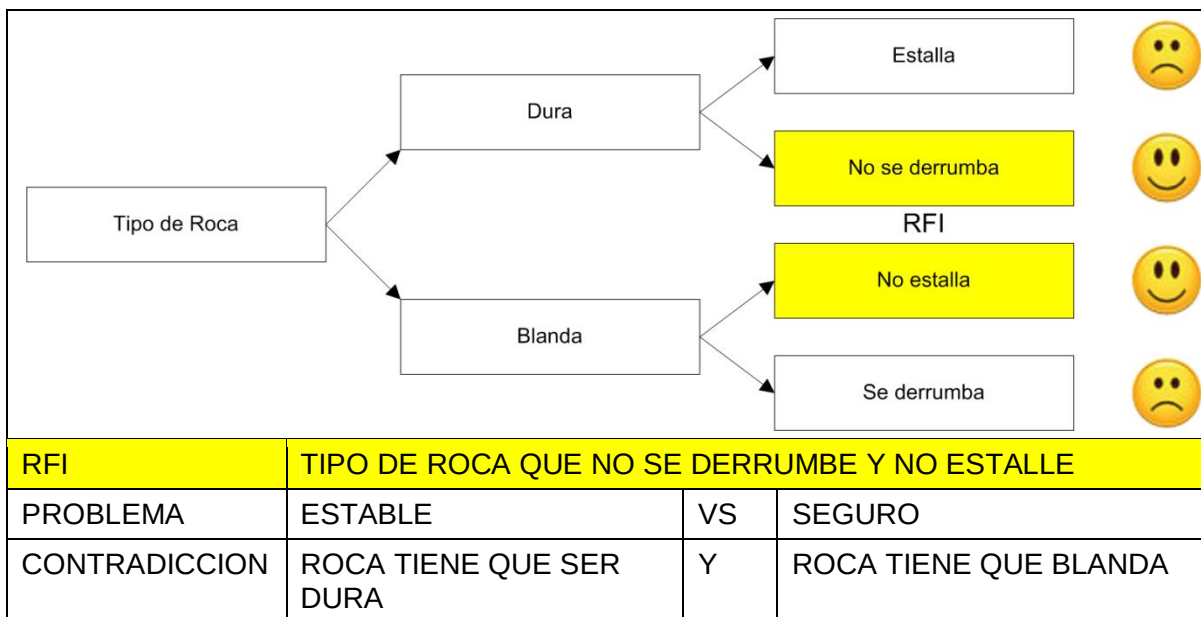
TRIZ recomienda que NO evitemos las contradicciones. Hasta utiliza la lógica inversa: **¡encontrar la contradicción e intensificarla!** La contradicción técnica realmente no soluciona un problema, pero muestra una dirección mental poderosa hacia conceptos de solución excelentes que pueden resolver la contradicción.

Se volvió a realizar el ejercicio, en este caso la premisa fue **“La explotación de la Mina Futura”**, pero a través de mini problemas los cuales entregaron los siguientes RFI (Resultado Final Ideal):

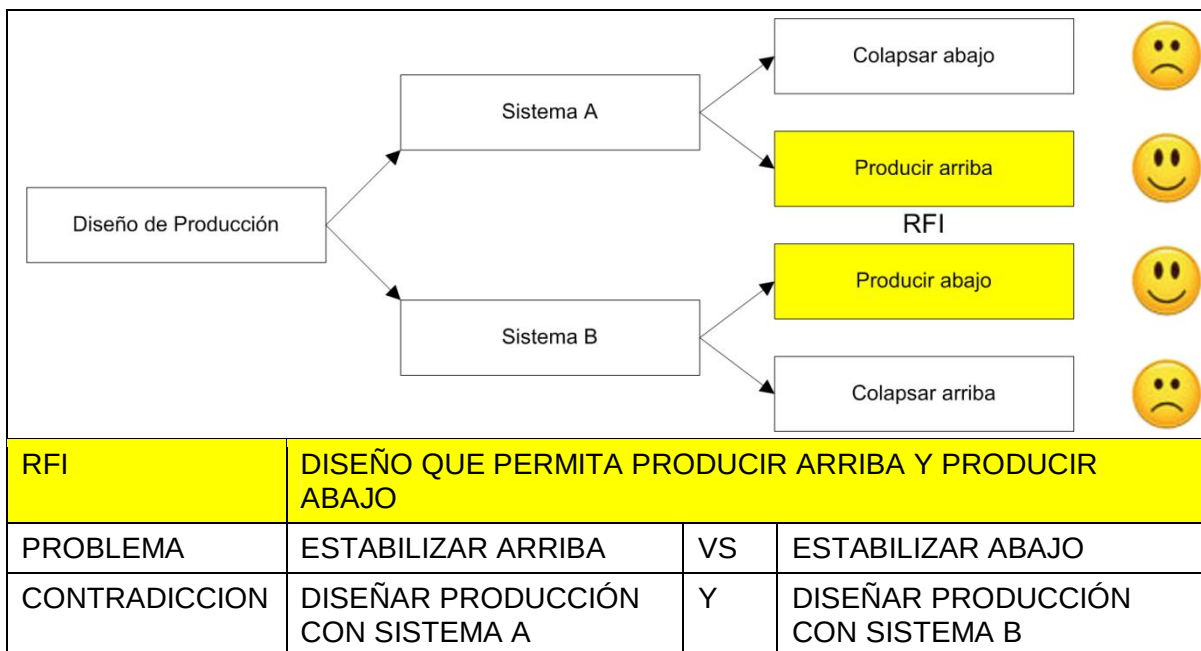
- 1) Tipo de roca. **RFI: Roca que no se derrumbe y no estalle.**
- 2) Diseño de producción. **RFI: Diseño para producir arriba y producir abajo.**
- 3) Mecanismo De Extracción. **RFI: Extracción de menor riesgo y menor costo.**
- 4) Método De Explotación. **RFI: Explotación simple y de bajo riesgo.**
- 5) Velocidad de explotación. **RFI: Velocidad para mayor producción y bajo riesgo.**

El planteamiento de los cinco mini problemas se presenta en los siguientes recuadros.

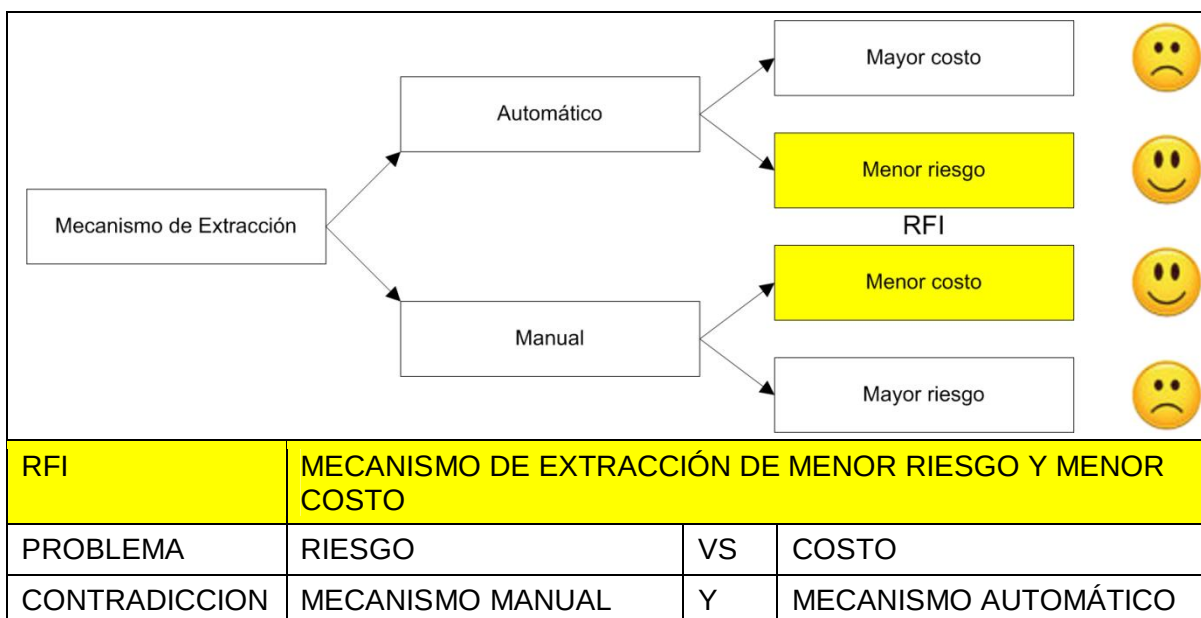
Mini Problema Parámetro 1. Tipo de Roca



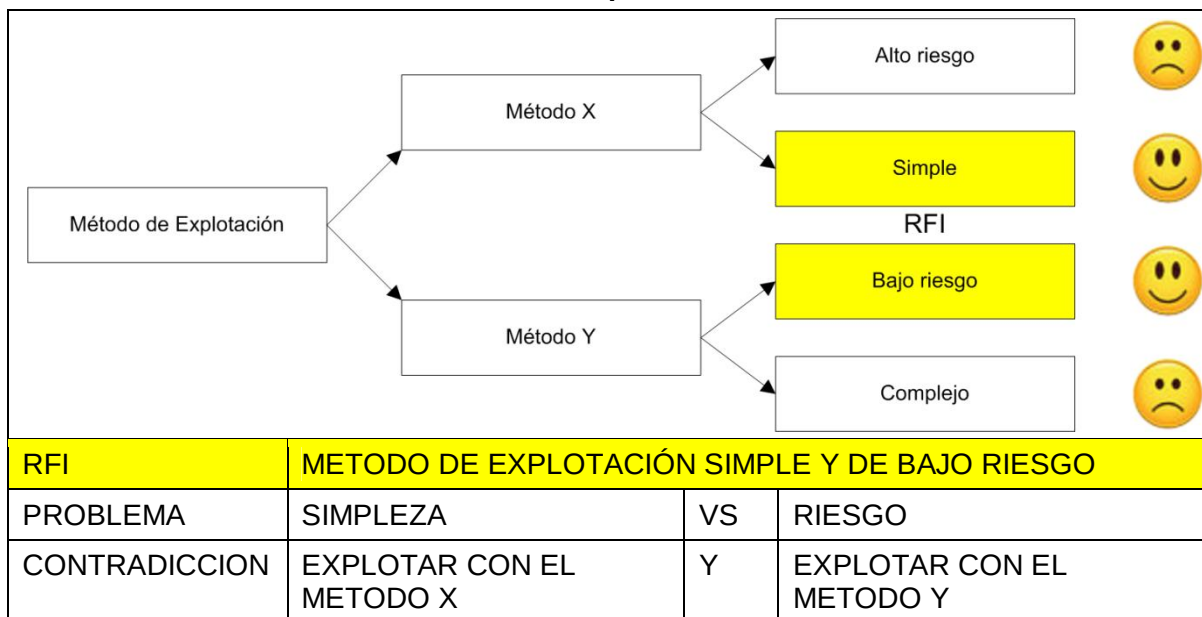
Mini Problema Parámetro 2. Diseño de Producción



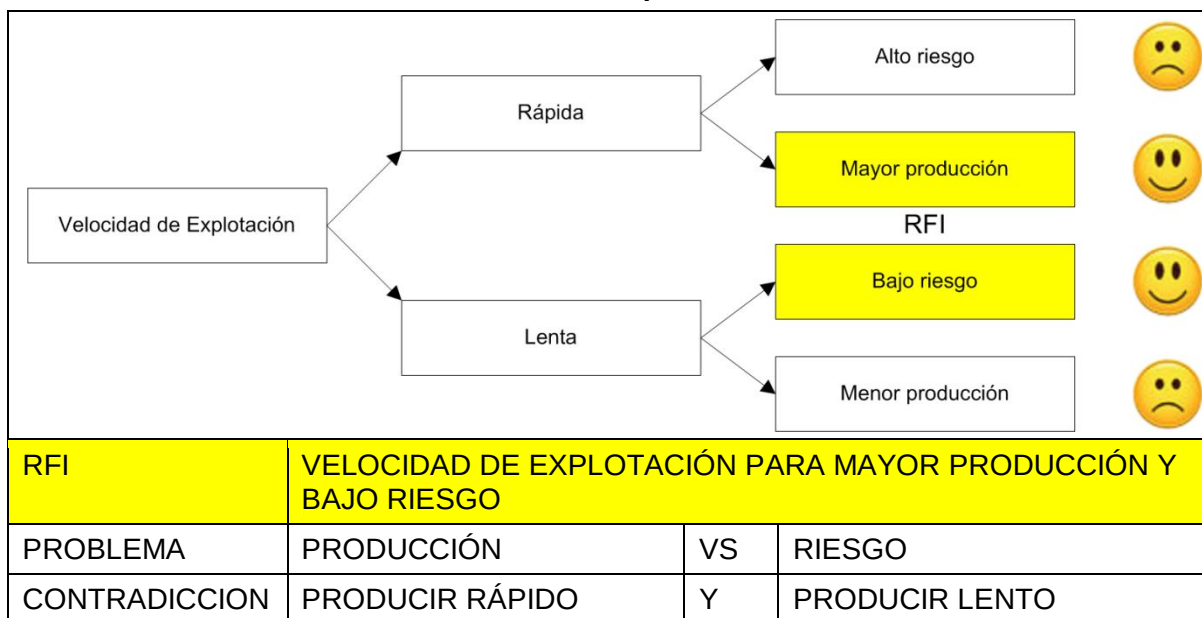
Mini Problema Parámetro 3. Mecanismo de Extracción



Mini Problema Parámetro 4. Método de Explotación



Mini Problema Parámetro 5. Velocidad de Explotación



5.4 PROCEDIMIENTO ESTRUCTURADO DE DISEÑO PDCA

Para el desarrollo de prototipos de diseño, que puedan dar respuesta como sistema a los RFI que se indicaron el punto anterior, se construyo la matriz PDC, con la finalidad de pasar del “QUE” al “COMO” se da una solución de diseño a una problemática no resuelta . En este caso la matriz PDCA, describe desde que se inicia el proceso, “buscar que existe en el mercado”, hasta la “Presentación del Prototipo Final a los Gerentes”.

			Vice- Presidente Ejecutivo	Gerente General	Gerente Operación	Gerente Planificación	Superintendente	Especialista Diseño Minero	Especialista Planificación y Construcción	Especialista Gestión Operacional	Especialista Geomecánica	Especialista Modelamiento Numérico	Proyectistas
C	Busco que existe "Estado del arte"	C Que empresa voy a visitar	●										
		C Defino un plan de visitas	○				●						
		A Visito las empresas					●	○		○			
		A Ejecuto plan de visitas					○	●		●			
		P Defino parámetros de informe					●	○		○			
		D Ejecuto informe de variable relevantes					○	●		●			
A	Se prueba lo existente y se realiza el modelamiento numérico	C Defino plan de post evaluación					●	○	○	●	○	○	○
		A Ejecuto plan de post evaluación					○	●	●	●	●	●	○
		P Listar los resultados					○	○	○	●	○	○	○
		D Ejecuto el informe de pruebas y del modelo numérico					○	●	○	○	○	○	○
P	Se definen requerimientos y se proponen alternativas	C Definir los requerimientos					○	●					
		A Desarrollo diseño prototipo					○	●	●	●	●	●	●
		P Defino los criterios para evaluar las alternativas de diseño					○	●					
		D Defino las alternativas					●	●	○				
D	Se desarrollan la alternativas de prototipo y se realiza la presentación	C Estudio empresas que puedan hacer el prototipo						●				○	○
		A Defino la empresa que desarrollara el prototipo					●	○					○
		P Planificar la presentación de la alternativa y prototipo					●	○		●			
		D Desarrollar el prototipo					○			●			
		D Presentar la alternativa de prototipo		○	○	●				○			

5.5 MATRIZ AHP

Como resultado de la aplicación de la Matriz AHP, a las variables que tienen un impacto en la explotación de la Mina se obtuvo como resultado, que la variable de **diseño de layout tiene un 54% de ponderación**, por lo que los prototipos a desarrollar deben poner énfasis en este aspecto

MATRIZ AHP				
EXPLOTAR LA MINA				
	MATERIAL	DISEÑO DE LAYOUT	DESVIACIÓN OPERACIONAL	PROFUNDIDAD DE LA MINA
MATERIAL	1	1/5	5	0,33
DISEÑO DE LAYOUT	5	1	7	3
DESVIACIÓN OPERACIONAL	0,2	0,14	1	0,14
PROFUNDIDAD DE LA MINA	3	0,33	7	1

MATRIZ AHP-B				
EXPLOTAR LA MINA				
	MATERIAL	DISEÑO DE LAYOUT	DESVIACIÓN OPERACIONAL	PROFUNDIDAD DE LA MINA
MATERIAL	1	0,20	5	0,33
DISEÑO DE LAYOUT	5	1	7	3
DESVIACIÓN OPERACIONAL	0,20	0,14	1	0,14
PROFUNDIDAD DE LA MINA	3	0,33	7	1
TOTAL	9,20	1,68	20,00	4,48

MATRIZ AHP-B (ponderación matricial)							
EXPLOTAR LA MINA							
	MATERIAL	DISEÑO DE LAYOUT	DESVIACIÓN OPERACIONAL	PROFUNDIDAD DE LA MINA	TOTAL	PONDERADO (PRIORIDAD)	%
MATERIAL	0,11	0,12	0,25	0,07	0,55	0,14	14%
DISEÑO DE LAYOUT	0,54	0,60	0,35	0,67	2,16	0,54	54%
DESVIACIÓN OPERACIONAL	0,02	0,09	0,05	0,03	0,19	0,05	5%
PROFUNDIDAD DE LA MINA	0,33	0,20	0,35	0,22	1,10	0,27	27%
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	1,00	

6 DESARROLLO DEL PROTOTIPO

El modo Prototipos es la generación de elementos informativos como dibujos, artefactos y objetos con la intención de responder preguntas que nos acerquen a la solución final. O sea no necesariamente debe ser un objeto sino cualquier cosa con que se pueda interactuar. Puede ser un post-it, un cartón doblado o una actividad e incluso un storyboard. Idealmente debe ser algo con que el usuario pueda trabajar y experimentar. Es un proceso de mejora o sea en las fases iniciales de cada proyecto puede ser un poco amplio y el prototipado debe ser de manera rápida y barata de hacer pero que puedan entregar tema para debatir y recibir feedback de usuarios y colegas. Este proceso se va refinando mientras el proyecto avanza y los prototipos van mostrando más características como funcionales, formales y de uso.

Como parte del estudio, se analizaron diferentes alternativas de diseño para la explotación del proyecto, considerando para ello el benchmarking realizado a otras operaciones subterráneas a nivel mundial, los resultados preliminares obtenidos a partir del desarrollo del estudio de las variantes, así como también la experiencia y conocimiento adquirido por parte de la empresa minera subterránea de Chile de la gran minería del cobre, en el desarrollo de proyectos subterráneos entre otros aspectos. Para contextualizar la operación de cada variante se consideró las siguientes características de cada una de ellas:

- **Alternativa A:** Corresponde a una variante perteneciente al método Panel Caving donde la preparación de área y tronadura de batea es realizada en su totalidad delante del frente de hundimiento. A su vez la socavación en el nivel de hundimiento se realiza sobre un nivel de producción desarrollado en su totalidad. (calles y zanjas), presentando una exposición de personas a ZT en los Niveles de Hundimiento y Producción.
- **Alternativa B:** Corresponde a una variante perteneciente al método Panel Caving donde la preparación de área es realizada delante del frente de hundimiento en su totalidad y parcialmente en el nivel de producción (calles), mientras que la tronadura de bateas es efectuada detrás del frente de hundimiento. A su vez la socavación en el nivel de hundimiento se realiza sobre un nivel de producción parcialmente desarrollado, dejando las galerías de zanjas y bateas para ser excavadas bajo área hundida o socavada, presentando una exposición de personas a ZT sólo en Nivel de Hundimiento.

Alternativa C: Corresponde a una variante perteneciente al método Panel Caving, siendo una Alternativa B con socavación Alta, donde la preparación de área es realizada delante del frente de hundimiento en su totalidad y parcialmente en el nivel de producción (calles), mientras que la tronadura de bateas es efectuada detrás del frente de hundimiento. A su vez la socavación en el nivel de hundimiento se realiza sobre un nivel de producción parcialmente desarrollado, dejando las galerías de zanjas y bateas para ser excavadas bajo área hundida o socavada. Por su parte considera un nivel adicional sobre el Nivel de Hundimiento, el que permite asegurar y verificar el corte basal del bloque. Si bien este nivel presenta exposición de personas a ZT éste es menor que en Nivel de Hundimiento pues corresponde sólo para efectos de verificación u observación.

Se diseñaron 3 prototipos digitales (figuras 5,6 y 7) de las alternativas de variante de explotación, que se indicaron anteriormente, los cuales deben ser testeados con los RFI, indicados en el punto 5.3.

Figura n° 5 Prototipo Digital Variante A

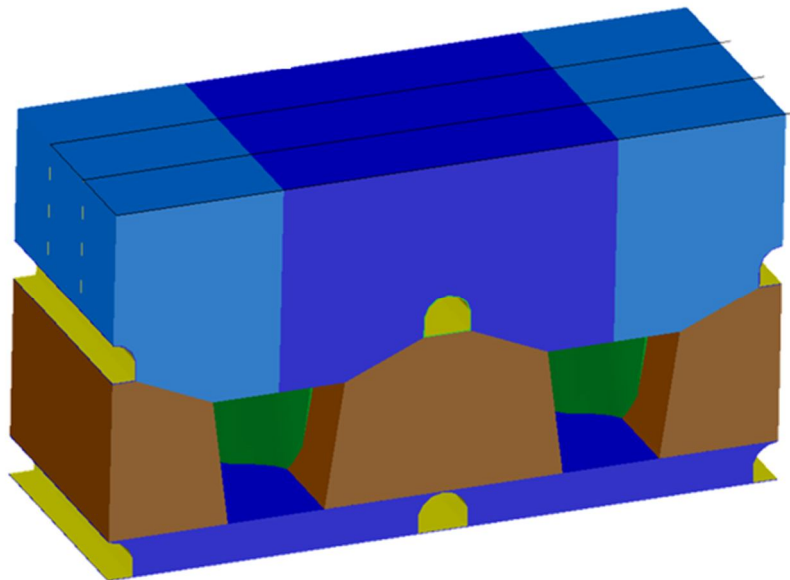


Figura n° 6 Prototipo Digital Variante B

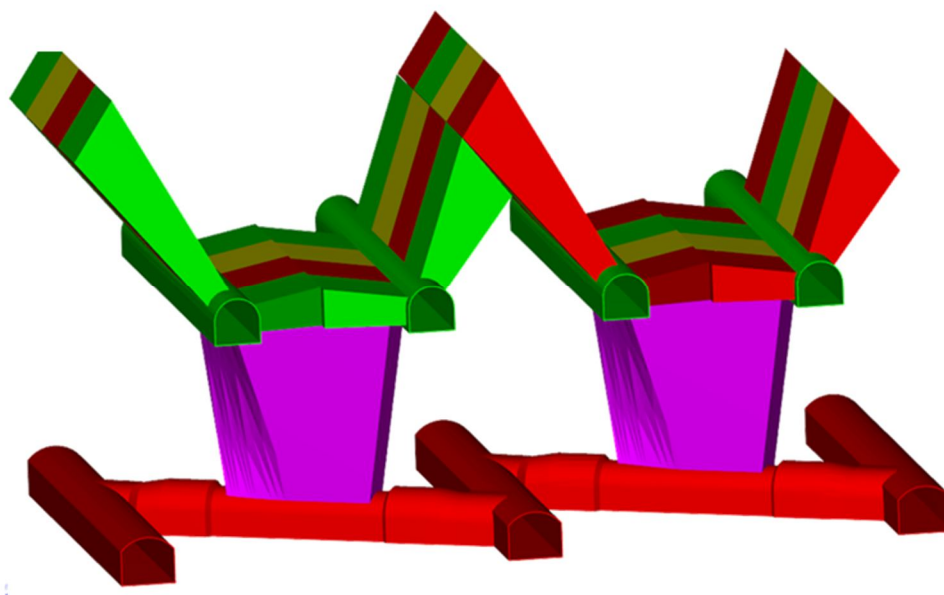
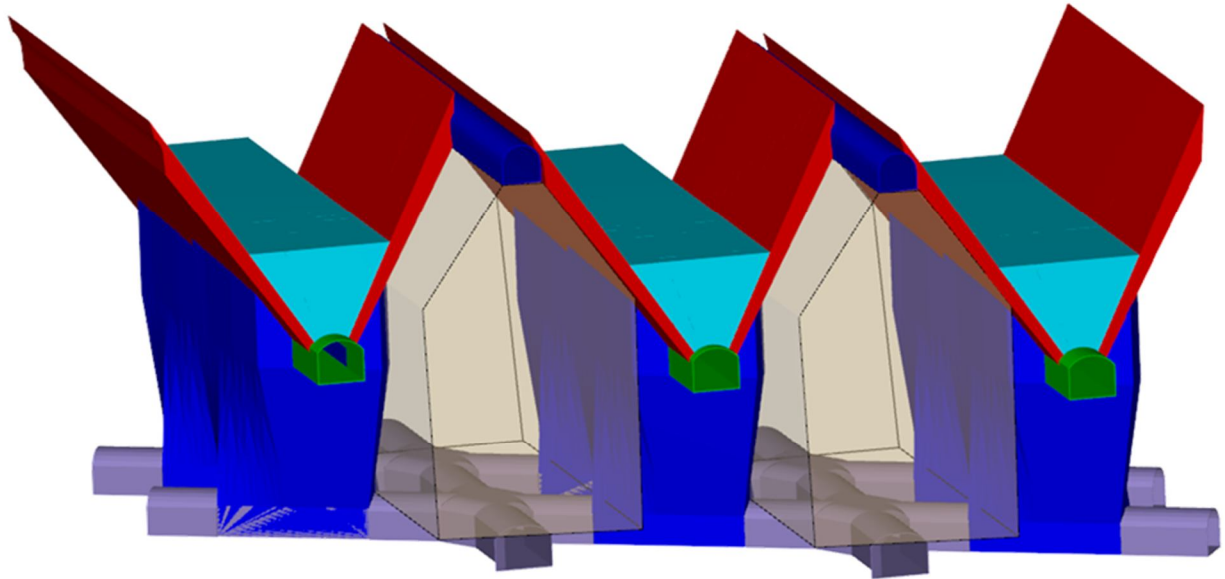


Figura n° 7 Prototipo Digital Variante C



La alternativa Variante C, recoge entre otros aspectos: un benchmarking o el estado del arte de la explotación de operaciones subterráneas en el mundo y basa su diseño en generar mejoras en aspectos relativos a estabilidad y daño de los niveles de hundimiento y producción (Incremento Crown Pillar), tanto a nivel de galerías como en los tiros de perforación, el aseguramiento del corte basal y mejoras en la disponibilidad y utilización de área productiva, la figura siguiente describe a nivel conceptual esta variante.



Figura 8: Diseño Conceptual Variante C

Así mismo, considera las mejoras que propone tanto la variante A en lo relativo a estabilidad del nivel de hundimiento, flexibilidad y constructibilidad en la operación, así como mejoras de la variante avanzada en disponibilidad y daño de la infraestructura productiva. En otras palabras, la variante C es una variante de socavación para Panel Caving Avanzado (Alternativa B) con Corte Alto.

Para determinar que prototipo Digital, satisface de mejor forma los requerimientos de los RFI identificados, se construyó una matriz comparativa de las distintas alternativas de variantes. A cada variante se le asignó un puntaje de uno a tres, con el puntaje mayor (tres) representado la mejor condición de la variante analizada.

Tabla N° 4: Resumen comparativo de Alternativas de Variantes c/r a los RFI

RFI	A	B	C
1.- Roca que no se derrumbe y no estalle.	NA	NA	NA
2.- Diseño para producir arriba y producir abajo.	2	2	3
3.- Extracción de menor riesgo y menor costo.	1	2	3
4.- Explotación simple y de bajo riesgo.	3	1	2
5.- Velocidad para mayor producción y bajo riesgo.	2	2	3
Suma Total	8	7	11

El RF1, no se evaluó debido a que la roca es una condición común para todas las alternativas de variante. El tema del riesgo se explica en detalle en el punto 7 del trabajo y el tema de la mayor velocidad de extracción y costo se desarrolla en el punto 8 del trabajo.

Al realizar la evaluación de las tres alternativas desarrolladas como prototipo digital con respecto de los RFI, se obtuvo que la Alternativa C es la que obtuvo mayor puntaje (11), con respecto a la alternativa A (8) y B(7), incluso si se castigara la evaluación en los RFI 3 con un puntaje 2 y el RFI 5 con un puntaje 2, la alternativa C obtendría una puntuación de 9, por lo cual esta satisface de mejor forma los requerimientos, tomando la decisión de construir este prototipo (Alternativa C).

El proceso de construcción del prototipo final considero 2 etapas claves que son: Diseño conceptual (ver figura n°9) y prueba de materiales y las especificaciones técnicas de

construcción, las cuales son claves para la obtención de los resultados esperados (ver figura n°10, 11 y 12)

Figura n°9 Diseño Preliminar y Pruebas de Materiales



Figura n°10 Prototipo Físico Alternativa C



Figura n°11 Prototipo Físico Alternativa C



Figura n°12 Prototipo Físico Alternativa C



7 RIESGOS

Para analizar los riesgos de cada variante de explotación, se llevó a cabo talleres en los cuales se analizó el comportamiento de cada una de ellas, ello en términos de estallido de rocas y colapso. Mediante este análisis y según la magnitud de riesgo obtenida, se determinó cuál es la variante que presenta un mejor comportamiento.

El desarrollo de este análisis, conto con la participación de profesionales de distintas áreas de la minería, aplicando el criterio y juicio experto y aportando además con presentaciones e información técnica.

El estudio además, se centró en estimar la magnitud de riesgo debido a los efectos del Estallido de Rocas y Colapso, tanto en las Personas como en la Infraestructura Minera, estableciendo y determinando además controles para ello, esto al aplicar una u otra variante.

7.1 Definiciones

A modo de contribuir a un mejor entendimiento del estudio realizado se consideran las siguientes definiciones:

- **Colapso:** Falla gradual del macizo rocoso que afecta una gran área de un sector productivo. Este fenómeno, genera un descenso paulatino de la infraestructura, caracterizada por intensos daños en las galerías del Nivel de Hundimiento y Producción cuya expresión máxima es el cierre total de ellas.
- **Estallido de Rocas:** Ruptura y proyección instantánea del macizo rocoso, asociada a un evento sísmico que genera pérdida de la continuidad del proceso productivo en la operación minera.
- **Evento de Riesgos:** Ocurrencia o cambio de un conjunto particular de circunstancias (Norma NCh-ISO GUIA 73:2012)

- **Riesgo:** Efecto de la incertidumbre sobre los objetivos (Norma ISO 31000:2009)
- **Zona Transición (ZT):** Zona que se encuentra en las inmediaciones del frente de socavación, en que el macizo rocoso “evidencia” el efecto de la concentración, variación y rotación de esfuerzos que genera el frente de socavación. La extensión de esta zona es diferente para cada sector en explotación.

Así también para contextualizar la operación de cada variante se consideró las siguientes características de cada una de ellas:

- **Alternativa A:** Corresponde a una variante perteneciente al método Panel Caving donde la preparación de área y tronadura de batea es realizada en su totalidad delante del frente de hundimiento. A su vez la socavación en el nivel de hundimiento se realiza sobre un nivel de producción desarrollado en su totalidad. (calles y zanjas), presentando una exposición de personas a ZT en los Niveles de Hundimiento y Producción.
- **Alternativa B:** Corresponde a una variante perteneciente al método Panel Caving donde la preparación de área es realizada delante del frente de hundimiento en su totalidad y parcialmente en el nivel de producción (calles), mientras que la tronadura de bateas es efectuada detrás del frente de hundimiento. A su vez la socavación en el nivel de hundimiento se realiza sobre un nivel de producción parcialmente desarrollado, dejando las galerías de zanjas y bateas para ser excavadas bajo área hundida o socavada, presentando una exposición de personas a ZT sólo en Nivel de Hundimiento.
- **Alternativa C:** Corresponde a una variante perteneciente al método Panel Caving, siendo una Alternativa B con socavación Alta, donde la preparación de área es realizada delante del frente de hundimiento en su totalidad y parcialmente en el nivel de producción (calles), mientras que la tronadura de bateas es efectuada detrás del frente de hundimiento. A su vez la socavación en el nivel de hundimiento se realiza sobre un nivel de producción parcialmente desarrollado, dejando las galerías de zanjas y bateas para ser excavadas bajo área hundida o

socavada. Por su parte considera un nivel adicional sobre el Nivel de Hundimiento, el que permite asegurar y verificar el corte basal del bloque. Si bien este nivel presenta exposición de personas a ZT éste es menor que en Nivel de Hundimiento pues corresponde sólo para efectos de verificación u observación.

7.2 Estructura del Análisis

La estructura del análisis consideró las actividades donde existe una eventual exposición a riesgos de las personas y los bienes físicos por efecto de estallido de rocas y colapsos. Dicha estructura se presenta en la siguiente tabla.

Tabla N° 5: Estructura del Análisis		
Área	Sub-Área	Evento de Riesgo
Comportamiento Variante Socavación Alternativa A, Alternativa B y Alternativa C	Personas – Estallido de Rocas	Daño a Personas en operación - Chimenea Piloto (Diam. 1,5 mts.)
		Daño a Personas en operación - Perforación de Batea
		Daño a Personas en operación - Carguío de Batea
		Daño a Personas en operación - Perforación Hundimiento
		Daño a Personas en operación - Carguío Hundimiento
		Daño a Personas en operación - Extracción de Marinas Tronadura Hundimiento
		Daño a Personas en operación - Extracción de Esponjamiento en Bateas
	Infraestructura Minera – Estallido de Rocas	Daño en Pilares Nivel de Hundimiento
		Daño en Pilares Nivel de Producción
		Daño en Visera UCL
		Daño en Piques de Traspaso
		Daño en Zanjas
		Daño en Puntos de Extracción
		Daños en Niveles de Ventilación
		Daño en Nivel de Drenaje
		Daño en Nivel de Transporte
		Daño en los Accesos Principales
	Infraestructura Minera - Colapso	Daño en Nivel de Hundimiento (Pilares, XC - Accesos, Chimeneas de Marinas / Ventilación)
		Daño en Nivel de Producción (Pilares, Zanjas, Calles, Piques, Chimeneas, Accesos)

Esta estructura fue generada a partir del mejor entendimiento tanto de las actividades o tareas unitarias a ejecutar en la operación de las variantes a analizar, así como de la infraestructura minera que pudiese verse afectada por su implementación.

7.3 Proceso de Evaluación

La matriz de probabilidad, matriz de consecuencia y magnitud de riesgos que se utilizó para determinar la frecuencia, consecuencia y magnitud de riesgo. La tabla describe la forma en que se combinan los parámetros C y P para determinar el valor de la Magnitud de Riesgo (MR). Para efectos de la aplicación del procedimiento la determinación de la magnitud de riesgos previa a los controles se denomina Magnitud de Riesgos Inherentes y posterior a los controles, Magnitud de Riesgo Residual, la siguiente figura describe el mapa de proceso para la evaluación del riesgo de cada variante, donde se puede ver cada una de las etapas del proceso de evaluación.



Figura 13: Mapa Proceso Análisis de Riesgo Variantes

Una vez establecido el riesgo inherente se procedió a determinar y evaluar los controles tanto preventivos como mitigadores y a su vez a establecer su nivel de efectividad. Una vez determinado el valor de la magnitud del riesgo inherente y combinando la evaluación y efectividad de los controles se procede a determinar la magnitud del riesgo residual, en atención a las Matrices de Probabilidad (P), Consecuencia (C) y Magnitud de Riesgo (MRI), conociendo entonces la magnitud del riesgo después de los controles, conocida como Magnitud de Riesgo Residual.

Tabla N° 6: Valores de la Magnitud de Riesgos						
Probabilidad	Muy Probable	4	Alto (1,4)	Muy Alto (2,4)	Muy Alto (3,4)	Muy Alto (4,4)
	Probable	3	Medio (1,3)	Alto (2,3)	Muy Alto (3,3)	Muy Alto (4,3)
	Posible	2	Bajo (1,2)	Medio (2,2)	Alto (3,2)	Muy Alto (4,2)
	Remoto	1	Bajo (1,1)	Bajo (2,1)	Medio (3,1)	Alto (4,1)
			1	2	3	4
			Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
			Consecuencia			

De esta manera y como resultado del proceso de análisis de riesgos y tomando en cuenta los resultados obtenidos, se establecieron controles adicionales a fin de generar una estrategia que tienda a mantener los riesgos residuales en zonas amarillas (Riego Medio) o verdes (Riesgo Bajo) o en su defecto para reforzar el mantenimiento de un riesgo en alguna de esas zonas.

7.4 Análisis de Resultados

Se analizaron las tres (3) áreas que comprendieron las Variantes Alternativa A, Alternativa B y Alternativa C, y tres (3) Sub-áreas que abarcaron Personas - Estallido de Rocas, Infraestructura Minera – Estallido de Rocas e Infraestructura Minera – Colapso. Estas dieron lugar a total de diecinueve (19) Eventos de Riesgos que aplicaron a una o más Sub-áreas y Áreas y variantes analizadas, permitiendo evaluar en su totalidad 51 eventos de riesgos.

7.5 Resultados Alternativa A

Respecto de la Alternativa A y efectuado el análisis de riesgos (Ver Figura 13), esta presenta en su perfil de riesgo inherente un total de diecinueve (19) riesgos, de los cuales seis (6) se encuentra en la zona roja o riesgo “Muy Alto”, ocho (8) en la zona anaranjada o riesgo “Alto”, cuatro (4) en la zona amarilla o riesgo “Medio” y solo un (1) en la zona verde o riesgo “Bajo”. Este resultado comprende las sub-áreas evaluadas Personas - Estallido de Rocas, Infraestructura Minera – Estallido de Rocas e Infraestructura Minera – Colapso.

Por su parte la Figura 14, muestra el perfil de riesgos residual global donde sólo seis (6) se encuentran en zona anaranjada o riesgo “Alto”, nueve (9) en zona amarilla o riesgo “medio” y cuatro (4) en zona verde o riesgo “Bajo”, asumiendo que los controles existentes permanecen vigentes y que los controles adicionales ha sido implementados correctamente.

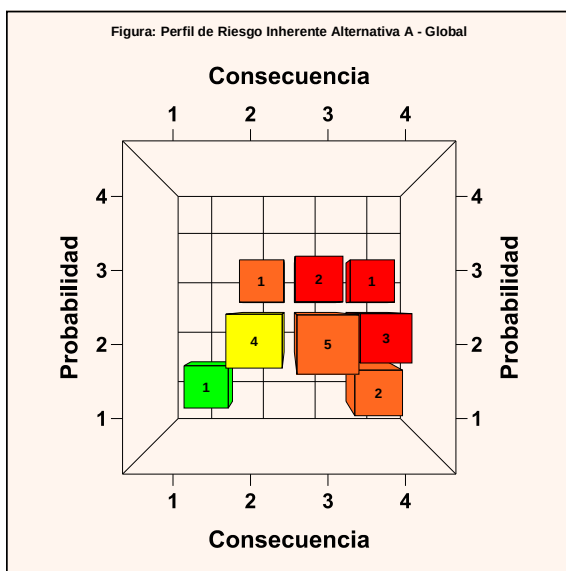


Figura 13: Perfil de Riesgo Inherente Global - Alternativa A

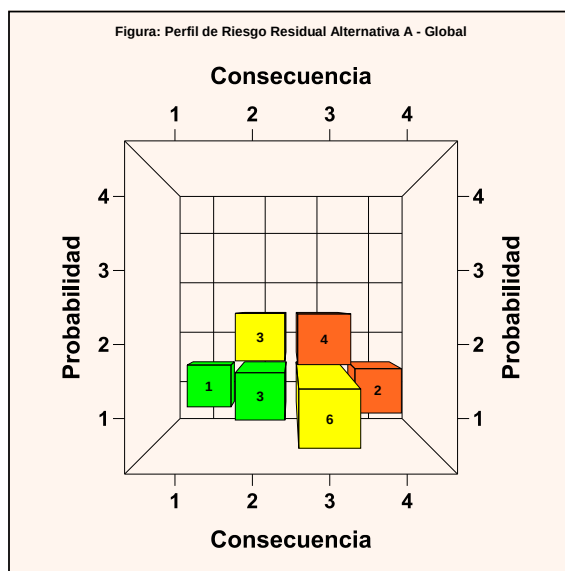


Figura 14: Perfil de Riesgo Residual Global - Alternativa A

De lo anterior, se desprende que de ser implementados en forma correcta y sistemática todos y cada uno de los controles existentes como adicionales identificados, dicha variante operaría asumiendo a lo menos seis (6) riesgos de orden “Alto”, los que corresponden a:

Tabla N° 7: Resumen Riesgos Residual Global “Alto” – Alternativa A		
Sub-Área	Evento de Riesgo	Riesgo Residual
Personas – Estallido de Rocas	Daño a Personas en operación - Carguío de Batea	Alto (3,2)
Personas – Estallido de Rocas	Daño a Personas en operación - Chimenea Piloto (Diam. 1,5 mts.)	Alto (4,1)
Personas – Estallido de Rocas	Daño a Personas en operación - Perforación de Batea	Alto (4,1)
Infraestructura Minera - Estallido de Rocas	Daño en Piques de Traspaso	Alto (3,2)
Infraestructura Minera - Estallido de Rocas	Daño en Puntos de Extracción	Alto (3,2)
Infraestructura Minera - Colapso	Daño en Nivel de Producción (Pilares, Zanjas, Calles, Piques, Chimeneas, Accesos)	Alto (3,2)

7.6 Resultados Alternativa B

Respecto de la Alternativa B y efectuado el análisis de riesgos, de acuerdo a la figura 15 es factible indicar que presenta en su perfil de riesgo inherente un total de dieciséis (16) riesgos, de los cuales dos (2) se encuentran en la zona roja o riesgo “Muy Alto”, tres (3) en la zona anaranjada o riesgo “Alto”, siete (7) en la zona amarilla o riesgo “Medio” y cuatro (4) en la zona verde o riesgo “Bajo”. Este resultado comprende las sub-áreas evaluadas Personas - Estallido de Rocas, Infraestructura Minera – Estallido de Rocas e Infraestructura Minera – Colapso.

Por su parte la Figura 16 muestra el perfil de riesgos residual global donde sólo tres (3) se encuentran en zona anaranjada o riesgo “Alto”, tres (3) en zona amarilla o riesgo “medio” y diez (10) en zona verde o riesgo “Bajo”.

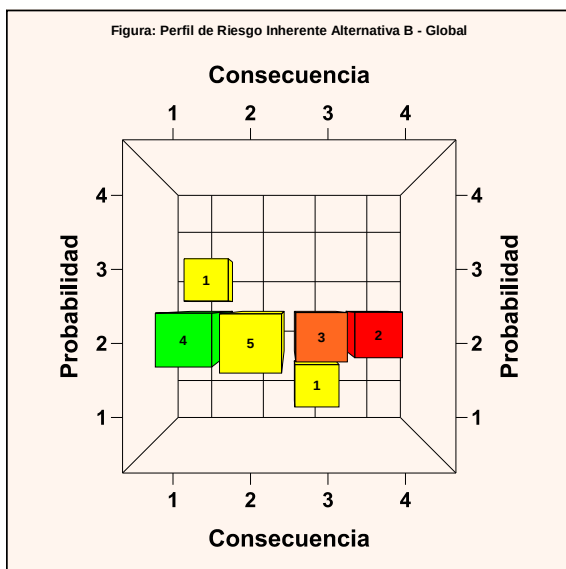


Figura 15: Perfil de Riesgo Inherente Global - Alternativa B

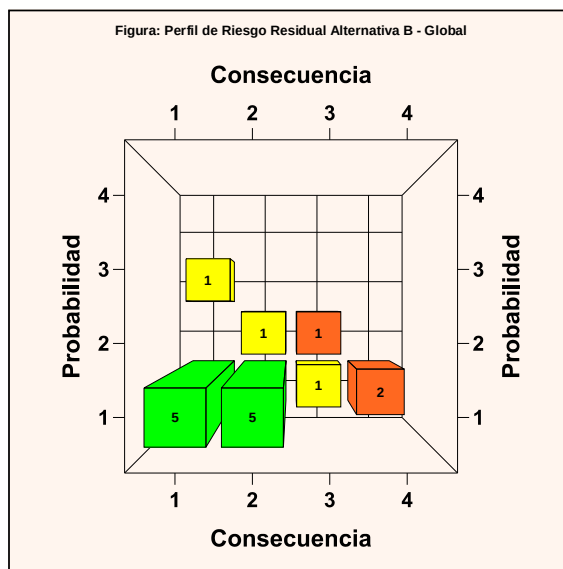


Figura 16: Perfil de Riesgo Residual Global - Alternativa B

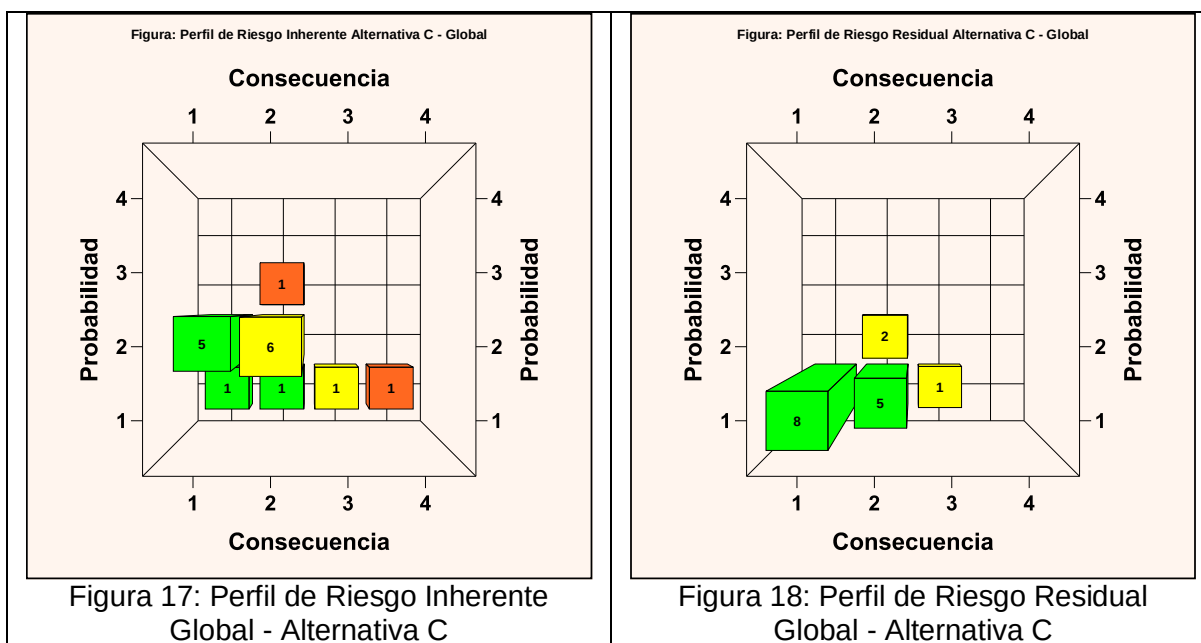
De eso se desprende que de ser implementados en forma correcta y sistemática todos y cada uno de los controles existentes como adicionales identificados, dicha variante operaría asumiendo a lo menos seis (3) riesgos de orden “Alto”, los que corresponden a:

Tabla N° 8: Resumen Riesgos Residual Global “Alto” – Alternativa B		
Sub-Área	Evento de Riesgo	Riesgo Residual
Personas – Estallido de Rocas	Daño a Personas en operación – Perforación Hundimiento	Alto (4,1)
Personas – Estallido de Rocas	Daño a Personas en operación – Carguío Hundimiento	Alto (4,1)
Infraestructura Minera - Estallido de Rocas	Daño en Pilares Nivel de Hundimiento	Alto (3,2)

7.7 Resultados Alternativa C

Respecto de la Alternativa C y efectuada el análisis de riesgos, de acuerdo a la figura 17 es factible indicar que presenta en su perfil de riesgo inherente un total de dieciséis (16) riesgos, de los cuales dos (2) se encuentran en la zona anaranjada o riesgo “Alto”, siete (7) en la zona amarilla o riesgo “Medio” y siete (7) en la zona verde o riesgo “Bajo”. Este resultado comprende las sub-áreas evaluadas Personas - Estallido de Rocas, Infraestructura Minera – Estallido de Rocas e Infraestructura Minera – Colapso.

Por su parte la Figura 18 muestra cual correspondería el perfil de riesgos residual global donde sólo tres (3) se encuentran en zona amarilla o riesgo “medio” y trece (13) en zona verde o riesgo “Bajo”, asumiendo que los controles existentes permanecen vigentes y que los controles adicionales ha sido implementados correctamente.



De eso se desprende que de ser implementados en forma correcta y sistemática todos y cada uno de los controles existentes como adicionales identificados, dicha variante operaría asumiendo a lo menos tres (3) riesgos de orden “Medio”, los que corresponden a:

Tabla N° 9: Resumen Riesgos Residual Global “Medio”		
Sub-Área	Evento de Riesgo	Riesgo Residual
Personas – Estallido de Rocas	Daño a Personas en operación – Carguío Hundimiento	Medio (3,1)
Personas – Estallido de Rocas	Daño a Personas en operación - Extracción de Marinas Tronadura Hundimiento	Medio (2,2)
Infraestructura Minera - Estallido de Rocas	Daño en los Accesos Principales	Medio (2,2)

7.8 Comentarios Finales

Tomando en cuenta el análisis realizado, es factible indicar que todo proyecto se debe diseñar de manera tal de mantener los riesgos en categorías “Medio” y “Bajo”, evitando categorías de riesgos “Altos y/o “Muy Altos”. De esta forma, aquellos riesgos en las categorías “Medio” y “Bajo” se han considerado como niveles de riesgos aceptables para efectos del presente análisis.

Por otro lado a partir del análisis realizado se puede mencionar lo siguiente:

- Respecto del resultado de riesgo residual global de las variantes en términos de seguridad a las personas e infraestructura minera, casos de estallido de rocas y colapso, es posible establecer que las variantes Alternativa A, Alternativa B y Alternativa C, se comportan de manera disímil. Lo anterior, dado que la Alternativa A resulta con al menos seis (6) riesgos residuales en categoría “Alta”, de los cuales tres (3) afectarían a la Seguridad de las Personas y tres (3) a la Infraestructura Minera. Por su parte la Alternativa B resulta con tres (3) riesgos residuales en categoría “Alta”, de los cuales dos (2) de ellos afectarían a la Seguridad de las Personas y el restante a la Infraestructura Minera. Respecto de la Alternativa C, ésta resulta con tres (3) riesgos residuales en categoría “Medio”, de los cuales dos afectarían a la Seguridad de las Personas y el siguiente a la Infraestructura Minera. Por lo anterior es deducible indicar que la variante que reúne la mayor cantidad de riesgos residuales para su operación en las categorías “Alto” y “Medio” corresponde a la Alternativa A, seguida por la Alternativa B para finalmente terminar con la Alternativa C.
- En el caso de la evaluación riesgo a las personas por estallido de rocas, es posible indicar que la variante que concentra la mayor cantidad de riesgos residuales es la Alternativa A con siete (7) riesgos, de los cuales tres (3) se encuentran en categoría “Alta”, tres (3) en categoría “Medio” y sólo uno (1) en categoría “Bajo”, seguido por la Alternativa B que concentra sólo cuatro (4) riesgos, de los cuales dos (2) se encuentran en categoría “Alta” y dos (2) en categoría “Bajo”. Por su parte la Alternativa C concentra igualmente cuatro (4) riesgos, siendo dos (2) en

categoría “Medio” y dos (2) en categoría “Bajo”. De ello se desprende que la variante que presenta un mejor comportamiento corresponde a la Alternativa C, pues es la que concentra la menor cantidad de riesgos residuales a la seguridad de las personas y además en una categoría de orden inferior a las otras dos variantes analizadas.

- Respecto de la evaluación de la Infraestructura Minera que pueda verse afectada por un estallido de rocas, el análisis mostró que todas las variantes analizadas presentan la misma cantidad de riesgos y que por ende no existe una concentración de ellos en alguna variante específica. Sin embargo la evaluación indicó que de los diez (10) riesgos residuales, la Alternativa A presenta dos (2) de ellos en categoría “Alto”, seis (6) en categoría “Medio” y dos (2) en categoría “Baja”, mientras que la Alternativa B presenta un (1) riesgo en categoría “Alto”, dos (2) en categoría “Medio” y siete (7) en categoría “Bajo”. Por su parte la Alternativa C presenta sólo un (1) riesgo en categoría “Medio” y los nueve (9) restantes en categoría “Bajo”. De ello es posible deducir que la variante que concentra el mayor número de riesgos en categorías “Alto” y “Medio” corresponde a la Alternativa A con ocho (8) de ellos, seguido por la Alternativa B con tres (3) y finalmente la Alternativa C con sólo uno (1) de ellos, siendo esta última la que muestra un mejor comportamiento geomecánico en términos del análisis de riesgos a la Infraestructura Minera por estallido de rocas.
- El análisis de la Infraestructura Minera que pueda verse afectado por un colapso, mostró que todas las variantes presentan la misma cantidad de riesgos. No obstante la evaluación determinó que de los dos (2) riesgos determinados en su valor residual, la Alternativa A presenta un (1) riesgo categoría “Alto” y uno (1) en categoría “Medio”, la Alternativa B presenta un (1) riesgo en categoría “Medio” y un (1) riesgo en categoría “Bajo” y la Alternativa C ambos riesgos en categoría “Bajo”. De ello es posible indicar que la variante que concentra el mayor número de riesgos en categorías “Alto” y “Medio” corresponde a la Alternativa A con la totalidad de ellos, seguido por la Alternativa B con uno (1) de ellos. La Alternativa C presenta sólo riesgos en categoría “Bajo”. Por ende esta última variante es la

que muestra un mejor comportamiento en términos del análisis de riesgos a la Infraestructura Minera por colapso.

8 EVALUACION ECONOMICA

Las post-evaluaciones económicas de los métodos de explotación utilizados actualmente, en la empresa minera subterránea de Chile de la gran minería del cobre, indican que la Disponibilidad y Utilización tienen un 74% de efecto en la evaluación económica (ver figura n° 19), relación que demuestra el impacto de estas variables en los costos de operación de una Mina explotada por Panel Caving.

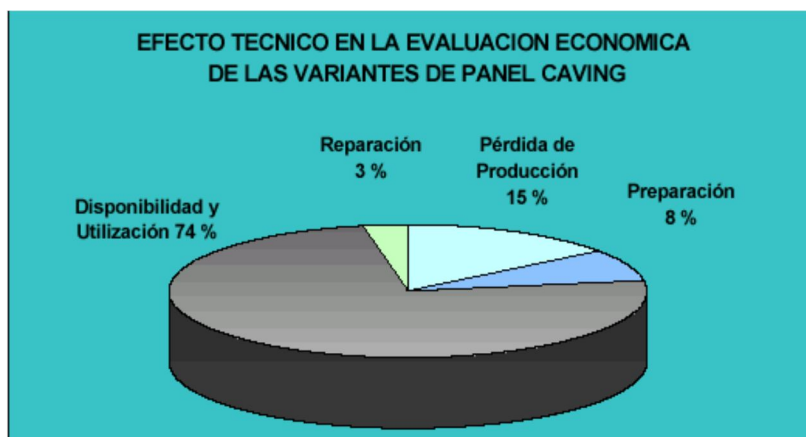


Figura n° 19 Efecto Técnico en la Evaluación Económica de la Variantes de Panel Caving

En el punto 5.2.2 Disponibilidad Infraestructura Minera, se indican las diferencias que tienen las alternativas A y B de variante de socavación utilizada. Para el caso de la evaluación se considera que la vida útil del sector son 3 años, los costos de operación mina y planta son iguales, la utilización de área es la misma para las tres variantes, el precio de venta del mineral es el mismo, por lo cual la diferencia se obtendrá a partir de la menor producción de mineral, que se obtiene al tener una menor disponibilidad de la infraestructura de producción. Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla n°. La alternativa C de variante de socavación, basa su diseño en generar mejoras en aspectos relativos a estabilidad y daño de los niveles de hundimiento y producción (Incremento Crown Pillar), lo que se traduce en mejoras en la

disponibilidad y utilización de área productiva, para el caso en particular se considero la utilización constante para las tres alternativas.

Tabla n° 10

Alternativa	Disponibilidad (%)	Utilización (%)	Inv. Pre(MUS\$)	VAN (MUS\$)
A	70	80	29,5	57
B	83	80	29,67	67
C	90	80	30,44	78

Al realizar la evaluación económica, se obtuvo que la alternativa C, es la que tiene el mejor VAN 78 MUS\$, la cual es un 37% mayor que la alternativa A..

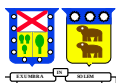
9 CONCLUSIONES

Los RFI Identificados a partir de las contradicciones que se desarrollaron, que deben dar respuesta a los objetivos estratégicos que tienen en la Mina futura para la justificación de su materialización, fueron los siguientes:

- Tipo de roca. **RFI: Roca que no se derrumbe y no estalle.**
- Diseño de producción. **RFI: Diseño para producir arriba y producir abajo.**
- Mecanismo De Extracción. **RFI: Extracción de menor riesgo y menor costo.**
- Método De Explotación. **RFI: Explotación simple y de bajo riesgo.**
- Velocidad de explotación. **RFI: Velocidad para mayor producción y bajo riesgo.**

La Utilización de la Matriz PDCA, permite pasar del “QUE” al “COMO” y estructurar y planificar la solución de diseño a una problemática no resuelta. En este caso la matriz PDCA, describe desde que se inicia el proceso, “buscar que existe en el mercado”, hasta la “Presentación del Prototipo Final a los Gerentes”.

La aplicación de la Matriz AHP, permitió identificar la variable de **diseño de layout (54%), como la que tiene mayor importancia** por lo que los prototipos a desarrollar deben poner énfasis en este aspecto.



Al realizar la evaluación de las tres alternativas desarrolladas como prototipo digital con respecto de los RFI, se obtuvo que la Alternativa C es la que obtuvo mayor puntaje (11), con respecto a la alternativa A (8) y B(7), incluso si se castigara la evaluación en los RFI 3 con un puntaje 2 y el RFI 5 con un puntaje 2, la alternativa C obtendría una puntuación de 9, por lo cual esta satisface de mejor forma los requerimientos, tomando la decisión de construir el prototipo de la Alternativa C.

La variante A, es la que reúne la mayor cantidad de riesgos residuales para su operación en las categorías “Alto” y “Medio”, seguida por la Alternativa B para finalmente terminar con la Alternativa C.

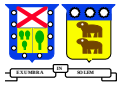
La Alternativa C concentra la menor cantidad de riesgos residuales a la seguridad de las personas y además en una categoría de orden inferior a las otras dos variantes analizadas.

La alternativa C, es la que tiene el mejor VAN (78 MUS\$) al considerar una explotación por un periodo de 3 años.

La Alternativa C, tiene un 37% más de VAN con respecto a la alternativa A.

8 BIBLIOGRAFIA

- Osterwalder A. & Pigneur Y. “Generación de Modelos de Negocios” (2011)
- Ulrich K & Eppinger S. “Diseño y Desarrollo de Productos” (2009)
- Brown T. “Design Thinking” (2008).
- Constanzo & Espinoza “Comparación Geométrica entre Diseños de Zanja Recolectoras Utilizadas en Mina El Teniente” (1999).
- Constanzo & Parraguez “Utilización de Modelo Observacional de Daño en el Macizo Rocoso como Herramientas de Apoyo en los Diseños Geomecánicos”(2001).
- Constanzo & Pierola “Infrastructure Design Effects on the Pipa Norte Mine, División El Teniente” (2009).
- Constanzo H. “Presentación Instituto de Ingenieros de Minas, Estado del arte de la Minería de Caving en el Mundo”(2012)



- CAVING KNOWLEDGE WORKSHOP (2013),
- Constanzo H.& Videla J. "State of The Art in Cave Mining" (2013)
- Constanzo H. & Rodríguez F. "Design Criteria and Impacts on Production Capacity in Mines Operated by Panel Caving Method" (2013)
- Constanzo H.& López S. " Technical Back Analysis Crinkle Cut Method El Teniente Mine" (2013)
- Constanzo H.& Madrid A." Operational Definition of the Three undercutting Fronts for the New Level Mine Project" (2013).
- Procedimiento Gestión de Riesgos "SGP-GAS-RI-PRO-001."