



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS**

**DIAGNÓSTICO DEL USO DE HERRAMIENTAS EMPÍRICAS UTILIZADAS EN
EL DISEÑO DE MINAS DE SUBLEVEL STOPING EN CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

ENRIQUE JAVIER POBLETE CASADO

**PROFESORA GUÍA:
KIMIE SUZUKI MORALES**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MILIVOJ SMOLJANOVIC MUÑOZ
JOSÉ LÓPEZ VARGAS**

**SANTIAGO DE CHILE
2023**

Resumen

El marco legal minero a través del reglamento de seguridad minera D.S. 132/2022 establece que previo al inicio de sus operaciones debe presentarse un proyecto o método de explotación, como primera instancia preventiva en materia de seguridad. La revisión de los proyectos mineros y métodos de explotación está a cargo del Departamento de Evaluación de Proyectos Mineros de Sernageomin quien aprueba o rechaza los proyectos. Dentro de la gama de permisos, encontramos la aprobación de método de explotación, la cual involucra muchos temas como, por ejemplo: fortificación, perforación y tronadura, el método como tal, diseño, entre otros aspectos técnicos. Dentro de esta gama de temas, la estabilidad física de las preparaciones y desarrollos es crucial, debido a que la evaluación de esto da un techo seguro a los trabajadores y garantiza la evacuación de emergencia como la ventilación. Con base en lo anterior, esta memoria nace como la necesidad de plantear un diagnóstico del uso de metodologías empíricas de losas, pilares y caserones.

Para realizar el diagnóstico, se usan aquellos proyectos en que se haya justificado la estabilidad física en métodos de sublevel stoping, y que tengan información en formato digital. La muestra corresponde a métodos de explotación en las regiones de Arica y Parinacota, Antofagasta, Atacama y Coquimbo. Se escogieron proyectos con producciones mayores a 5.000 tpm. Lo anteriormente descrito resultó en una muestra que involucra 17 proyectos, uno de los cuales fue presentado como un proyecto múltiple que involucra tres instalaciones, totalizando 19 proyectos para el análisis o evaluación del presente estudio. Respecto al diseño de caserones existen 17 de 19 proyectos que utilizan metodología empírica dentro de sus análisis. De los mencionados, en 5 de ellos se aplica sólo metodología de Laubscher, en 5 se aplica sólo alguna variante de la metodología de Mathews y, en 7 proyectos aplican tanto metodología de Laubscher como alguna variante de la metodología de Mathews. La metodología más ocupada es la metodología de Mawdesley et al. (2001). Respecto al diseño de pilares, hay 9 de 19 proyectos que utilizan metodología empírica. La metodología más utilizada es la de Lunder y Pakalnis (1997). Finalmente, respecto al diseño de losas, hay 8 de 19 proyectos que utilizan metodología empírica. En general se usa la metodología de Carter, sin embargo, sólo en un proyecto se usa la versión de la metodología de Carter más actualizada del 2014, el resto usa alguna versión desactualizada.

Los proyectos revisados anteriormente fueron calificados por medio de una rúbrica donde se evalúa: justificación de los parámetros de entrada, selección de la herramienta empírica, el uso de la metodología y la interpretación de resultados. En resumen, si consideramos un caso promedio (estadísticamente hablando), la calidad de los datos de entrada es “regular”, el uso de metodología de caserones y de pilares es “regular”, y el uso de metodología de losas es la única que se clasifica como “buena”. Al momento de aplicar metodologías empíricas para el diseño de caserones, losas y pilares, en general, no se usa un estándar en la presentación y/o evaluación de proyectos en la industria, ni tampoco se considera lo planteado por los autores en cuanto a la aplicabilidad de estas herramientas. Este trabajo sugiere que se sigan ciertas recomendaciones mínimas, muchas veces propuestas por los autores de las metodologías empíricas.

Agradecimientos

Me dirijo a ustedes hoy con un corazón lleno de gratitud y emoción al finalizar este importante proyecto en mi vida: mi Trabajo de Título. Y es que, sin el apoyo, amor, aliento y paciencia de cada uno de ustedes, este logro hubiera sido imposible.

A mi madre, por siempre haber encendido esa chispa dentro de mí que me ha llevado a ser una persona mejor cada día. Tu ejemplo de fuerza y perseverancia, mezclado con amor, me ha guiado siempre en la vida.

A mi padre, aunque físicamente ya no estás con nosotros, quiero que sepas que siempre te he sentido muy cerca de mí. Tú has sido mi ángel de la guarda en los momentos felices y en las etapas difíciles de mi vida.

A mis hermanos, Macarena y Alfredo, por confiar en mí y por ser mi fuente de inspiración constante. Su apoyo y aliento me han impulsado a seguir adelante y a mejorar continuamente en la vida.

A Carolina, Cariño mío, por ser un pilar para mí. Me inspiras y me motivas. La flor de nuestro amor crece y se nutre más con cada logro que conseguimos juntos. ¡Celebremos!

A Kimie Suzuki, Milivoj Smoljanovic y José López, mis profesores guía, por las incontables horas de reuniones que llevaron a este resultado. Su conocimiento, paciencia, constancia y dedicación han sido mi guía para avanzar en los puntos correctos. Gracias por ser mis mentores y por ayudarme en mi desarrollo profesional.

A Sernageomin, por mantener su mano abierta a las solicitudes que realicé para llevar a cabo esta tarea. En especial a David Montenegro, Jaime Martínez y Jorge Vargas por respaldar este proyecto, Mery Ramos y a Marlen Rojas por su buena voluntad y sus gestiones, a Cristian Infante, Luis Guerra, Ricardo Berríos, Roberto León, Carlos Rojas, por sus enseñanzas, compañerismo y correcciones y Bruno Alvarado por su respaldo en momentos difíciles y su confianza en mí.

A mis amigos que conocí en la universidad, Héctor Reyes, Giovanni Rozas, Héctor Alarcón, Ignacio Machuca, Diego Rodríguez, Bonnie Vega y Romina Gutiérrez, por ser mis compañeros en las buenas y en las malas. Su apoyo y aliento me han ayudado a sortear los obstáculos y a lograr mis metas.

En resumen, gracias a todos ustedes por ser parte de mi vida y por ayudarme a llegar hasta aquí. Este logro no es solo mío, sino de todos nosotros, y estoy muy agradecido por ello. Espero que, cuando me toque enfrentar nuevos desafíos, ustedes estén en mi mente y corazón, y así poder superar cualquier obstáculo que se presente en el futuro.

Con cariño y gratitud,

Tabla de contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Alcances	2
2. Antecedentes	3
2.1. Legislación Minera en Chile	3
2.1.1. Decreto Ley N° 3.525 / 1980: Servicio Nacional de Geología y Minería	3
2.1.2. Decreto Supremo 132 / 2002 Aprueba Reglamento de Seguridad Minera	3
2.1.3. Avisos y autorizaciones de Sernageomin.....	4
2.2. Minería subterránea.....	6
2.3. Método de explotación Sublevel Stoping	8
2.4. Datos de entrada, sistemas de clasificación y estimación de esfuerzos	9
2.4.1. RQD	10
2.4.2. RMR.....	10
2.4.3. Q de Barton	11
2.4.4. GSI	11
2.4.5. Estimación de esfuerzos in situ	11
2.5. Metodologías de Diseño Geomecánico.....	14
2.5.1. Métodos empíricos de diseño de caserones.....	14
2.5.2. Métodos empíricos de diseño de pilares	21
2.5.3. Métodos empíricos de diseño de losas	24
3. Metodología.....	28
4. Resultados y análisis de resultados.....	30
4.1. Calificación de los proyectos	30
4.1.1. Mina A.....	30
4.1.2. Mina B.....	32
4.1.3. Mina C – Sector C1	34
4.1.4. Mina C – Sector C2.....	35
4.1.5. Mina C – Sector C3.....	36
4.1.6. Mina C.....	36
4.1.7. Mina D.....	38

4.1.8. Mina E	39
4.1.9. Mina F	40
4.1.10. Mina G – Sector G1	41
4.1.11. Mina G – Sector G2	43
4.1.12. Mina H – Sector H1	44
4.1.13. Mina H – Sector H2	45
4.1.14. Mina I	46
4.1.15. Mina J	47
4.1.16. Mina J-extensión	48
4.1.17. Mina K	48
4.1.18. Mina L	49
4.1.19. Mina M	50
4.2. Resumen y calificación Global de los proyectos	51
4.2.1. Datos de entrada	52
4.2.2. Caserones	52
4.2.3. Pilares	54
4.2.4. Losas	56
5. Conclusiones	59
6. Bibliografía	61
Anexo	64
Decreto Supremo 132 / 2002 Aprueba Reglamento de Seguridad Minera	64

Índice de Figuras

Figura 1. Métodos de Explotación Subterráneos (Brady & Brown, 2006)	6
Figura 2. Desarrollos característicos del método SLS. (Hamrin, 2011).....	8
Figura 3. Procedimiento de cálculo de RQD (Deere, 1989).....	10
Figura 4. Hoek & Brown (1980)	13
Figura 5. Sheorey (1994).....	13
Figura 6. Celda utilizada en el método Hollow Inclusion Cell (Duncan y Pender, 1980)	14
Figura 7. Procedimiento para medir esfuerzos mediante la celda CSIRO Hollow Inclusion (Ljunggren et. Al, 2003)	14
Figura 8. Factores de corrección A, B y C para método de estabilidad (Mathews et al, 1981)	15
Figura 9. Relación entre el número de estabilidad y el radio hidráulico (Mathews et al, 1981)	16
Figura 10. Gráfico de estabilidad modificado para 175 casos históricos (Potvin, 1988)	17
Figura 11. Factores A, B y C propuestos por Potvin (1988)	17
Figura 12. Gráfico de estabilidad modificado de Nickson (1992)	18
Figura 13: Gráfico de estabilidad (Mawdesley et al., 2001)	19
Figura 14. Gráfico de estabilidad con líneas de isoprobabilidad de falla (Mawdesley et al., 2001)	19
Figura 15. Gráfico de estabilidad con líneas de isoprobabilidad de “falla mayor” (Mawdesley et al, 2001)	20
Figura 16. Gráfico de Hundibilidad de Laubscher (Bartlett,1998)	20
Figura 17. Geometría para el análisis del área tributaria de pilares en compresión uniaxial	22
Figura 18. Diagrama de estabilidad de pilares de Lunder y Pakalnis (1997).....	23
Figura 19. Esquema que muestra un caserón con su ancho (S), su longitud (L) y su manteo (θ). Y la sección vertical del caserón, con el espesor de la losa (T), el ancho del caserón (S) y el manteo de la foliación (θ). (Carter, 2014)	25
Figura 20. Gráfico de Carter, incluye un resumen de casos de Crown pillar, muestra el ancho de la losa modificado versus la calidad del macizo rocoso Q o RMR. (Carter, 2014)	25
Figura 21. Gráfico del Span escalado vs rock Quality (Q) incluyendo intervalos de probabilidad de falla (Carter T. A., 2014).....	26
Figura 22: Resumen de calificación de proyectos.....	52
Figura 23. Gráfico de estabilidad de pilares, según metodología de Lunder y Pakalnis (1997)	56
Figura 24. Gráfico empírico de estabilidad de losas según metodología de Carter (2014).....	58
Figura 25. Gráfico empírico de estabilidad de losas según metodología de Carter (2014), Isoprobabilidad de falla	58

Índice de Tablas

Tabla 1. Permisos D.S. 248/2007 y D.S. 99/2015 requeridos en una faena minera.....	4
Tabla 2. Permisos D.S. N° 132/2004 requeridos en una faena minera.....	5
Tabla 3. Clasificación índice de calidad RQD	10
Tabla 4. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski 1989)	10
Tabla 5. Clasificación de calidad del macizo rocoso según el índice Q (Barton et al. 1974)	11
Tabla 6. Métodos de determinación de esfuerzos (Ljunggren et. Al, 2003)	13
Tabla 7. Métodos empíricos de diseño de pilares (Yrarrazaval, 2013).....	21
Tabla 8. Categorías de estabilidad, consecuencias y actuaciones según resultados del análisis por ancho escalado (traducido y modificado de Carter, 2014)	27
Tabla 9: Rúbrica de evaluación de métodos empíricos	29
Tabla 10: Rúbrica de evaluación de datos de entrada	29
Tabla 11. Calificación mina A	31
Tabla 12. Calificación mina B. No aplica metodología empírica de losas.....	33
Tabla 13. Calificación Mina C – Sector C1. No aplica metodología empírica de pilares ni de losas.....	34
Tabla 14. Calificación Mina C – Sector C2. No aplica metodología empírica de pilares ni de losas.....	35
Tabla 15. Calificación Mina C – Sector C3. No aplica metodología empírica de caserones, ni de pilares ni de losas.....	36
Tabla 16. Calificación Mina C	37
Tabla 17. Calificación Mina D. No aplica metodología empírica de pilares ni de losas	38
Tabla 18. Calificación Mina E. No aplica metodología empírica de losas	39
Tabla 19. Calificación Mina F. No aplica metodología empírica de caserones	41
Tabla 20. Calificación Mina G – Sector G1	42
Tabla 21. Calificación Mina G – Sector G2. No aplica metodología empírica de pilares ni de losas	43
Tabla 22. Calificación Mina H – Sector H1	45
Tabla 23. Calificación Mina I. No aplica metodología empírica de pilares.....	46
Tabla 24. Calificación Mina J. No aplica metodología empírica de pilares ni de losas.....	47
Tabla 25. Calificación Mina K. No aplica metodología empírica de pilares ni de losas	49
Tabla 26. Calificación Mina L. No aplica metodología empírica de losas	50
Tabla 27. Calificación Mina M. No aplica metodología empírica de pilares.....	51
Tabla 28. Estudio de presentación de proyectos, Caserones – metodología de Mathews.....	53
Tabla 29. Estudio de presentación de proyectos, Pilares – metodología de Lunder y Pakalnis.....	55

Tabla 30. Resumen del estudio de presentación de proyectos con losas - metodología de Carter, el color verde indica que si hay información y el color rojo que no	57
---	----

1. Introducción

Chile se ha levantado sobre la base de la minería y ha sido una pieza clave en el desarrollo de la economía. En el año 2021, la industria minera contribuyó con el 14,6% del PIB del país, convirtiéndose en un motor macroeconómico para impulsar la producción y dinámica económica. (Anuario Sernageomin 2021).

La larga historia de Chile en minería y sus condiciones geológicas, lo han llevado a ser uno de los países que se encuentran a la vanguardia en la industria minera. El desarrollo tecnológico, marco legal y mano de obra calificada conlleva el fortalecimiento en las medidas de preventivas ante accidentes y afectaciones al medio ambiente, para lo cual existe la institución que debe controlar, asegurar, y resguardar la sostenibilidad y sustentabilidad de los proyectos mineros y entregar las directrices que deben seguir y asegurarse que ellas cumplan, de tal modo que cada faena es responsable de la seguridad de sus instalaciones.

El Ministerio de Minería es el encargado de diseñar, ejecutar y evaluar políticas públicas mineras orientadas a contribuir al crecimiento del sector minero del país y tiene entre ellos, organismos de apoyo para esta misión como Cochilco y Sernageomin. Hoy en día existen más de mil setecientas faenas operativas, tanto de pequeña, mediana y gran minería, por lo que la autoridad competente tiene la obligación de revisar y aprobar los expedientes de los métodos o diversos proyectos mineros. Para que todos estos proyectos mineros se ejecuten de una manera apropiada, se creó el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) en el año 1980, compuesto por una serie de departamentos a lo largo del territorio nacional que cumplen funciones de fiscalizar, revisar proyectos mineros, elaborar catastro de propiedad minera, divulgar y capacitar personal y elaborar las cartas geológicas del país. El presente trabajo se enmarca en las labores propias del Departamento de Evaluación de Proyectos Mineros de la Subdirección Nacional de Minería, en donde se evalúan proyectos mayores a 5.000 toneladas por mes, los cuales corresponden a proyectos principalmente de mediana y gran minería.

El proceso de revisión de proyectos al interior del Sernageomin requiere lo siguiente:

- a. Contar previamente de una autorización ambiental, ya sea a través de una declaración de impacto ambiental (DIA), evaluación de impacto ambiental (EIA), o una pertinencia orientada a modificaciones menores, extensión vida útil y aplicaciones del marco legal ambiental.
- b. Aprobación del método de explotación o proyectos mineros concebida con lo establecido principalmente el artículo 22 y otros del Reglamento de Seguridad Minera que implica la revisión y aprobación de los aspectos de diseño, ejecución de obras, operación, equipamiento y todas las unidades de apoyo que conlleva a la ejecución de manera segura y la protección de toda la infraestructura minera. Adicionalmente el método de explotación conlleva a materializar diversas autorizaciones de otras necesidades inherentes a la

actividad minera, tales como, proyectos de ventilación, electrificación, estaciones de combustible y talleres, etc.

De modo de asegurar la integridad de las labores se aplican distintas herramientas de diseño tales como herramientas empíricas y de modelamiento numérico, pero surgen problemas al momento de evaluar si cumplen o no con criterios técnicos, entre ellos, que la metodología aplicada sea adecuada para el contexto en el que se está aplicando y que esté siendo correctamente aplicada.

- c. Con posterioridad a la aprobación del método de explotación deberá proceder a la revisión y aprobación del plan de cierre de la faena, según el marco legal establecido en la ley 20.551 y su reglamento, cuya responsabilidad recae en el Departamento de Gestión Ambiental y Plan de Cierre.

1.1. Objetivos

El presente trabajo tiene por objetivo general realizar un diagnóstico del uso de las herramientas empíricas aplicables al diseño minero en los proyectos, método de explotación cuyo foco está en aquellas herramientas geomecánicas de diseño que actualmente se aplican en el método de sublevel stoping, tanto en la mediana como en la gran minería.

Los objetivos específicos son:

- Revisar las metodologías empíricas actualmente utilizadas, su aplicación en forma correcta y valorar que los resultados entregados se ajustan al cumplimiento del marco legal que involucra la estabilidad de las unidades productivas.
- Evaluar el uso correcto de estas metodologías y generar recomendaciones de buenas prácticas para la aplicación de estas.

1.2. Alcances

Se definen alcances para el presente trabajo:

- Aquellas faenas pertenecientes de las regiones de Arica y Parinacota, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, debido a que estas son las zonas que cuentan con mayor actividad minera en Chile.
- Metodología de diseño para proyectos de minería subterránea explotados mediante el método Sublevel Stopping, particularmente para pilares, losas y caserones.
- Proyectos cuya producción es mayor a 5.000 tpm, es decir, para sectores de la mediana y gran minería.
- Sólo se estudiarán proyectos que se encuentren disponibles en la plataforma digital de Sernageomin, año 2014. Con fecha de aprobación del proyecto hasta junio de 2022.

2. Antecedentes

El diseño de minas subterráneas tiene sus limitantes, por una parte en el marco legal vigente y por otra parte en las restricciones geomecánicas y estructurales del macizo rocoso, restricciones operacionales, sin dejar de lado el factor económico intrínseco en el negocio minero, tanto por la calidad mineralógica y los precios del mercado. Estos márgenes se trastocan con el éxito del diseño minero principalmente cuando estos diseños mineros fallan provocando accidentes y daño a la infraestructura minera.

Esta memoria tiene como objetivo detectar las distorsiones, errores, omisiones y establecer finalmente los mejores elementos o condiciones que puedan aportar en mejorar el proceso de revisión de los métodos de explotación o proyectos al interior del Sernageomin para cumplir cabalmente el artículo principal del Reglamento de Seguridad Minera.

2.1. Legislación Minera en Chile

El sector minero tiene una amplia gama de situaciones que debe enfrentar para asegurar las condiciones propias del trabajo y el cuidado de la infraestructura minera, en todo ello se deben cumplir la normativa y las condiciones estándares asociados a la ejecución del proyecto. Estas normativas abordan temas que van desde lo ambiental, pasando por la seguridad y plan de cierre, y los compromisos de inversión entre otros.

En el proceso de revisión de proyectos al interior del Departamento de Evaluación de Proyectos del Sernageomin, se basa en la disposición legal existente y los criterios preestablecidos con los cuales se buscan las mejores condiciones de estabilidad y operaciones y por lo cual implica el desarrollo de esta memoria.

2.1.1. Decreto Ley N° 3.525 / 1980: Servicio Nacional de Geología y Minería

El Sernageomin fue creado bajo esta ley el año 1980 con características de ser un organismo descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propios que se comunica con el poder Ejecutivo a través del Ministerio de Minería. Su objetivo es servir a este ministerio como asesor técnico en materias relacionadas a geología y minería además de otras funciones. Dentro de todas sus funciones, toman principal peso en el presente documento aquellas relacionadas con *“Velar porque se cumplan los reglamentos de policía y seguridad minera (nombre con el que solía denominarse a Sernageomin) y aplicar las sanciones respectivas a sus infractores”* y *“Proponer la dictación de normas que tiendan a mejorar las condiciones de seguridad en las actividades mineras de acuerdo con los avances técnicos y científicos”*.

2.1.2. Decreto Supremo 132 / 2002 Aprueba Reglamento de Seguridad Minera

El D.S. 132 aplica para todas las faenas mineras y tiene por objetivo proteger la vida e integridad física de las personas que se desempeñan en dicha Industria y de aquellas que bajo circunstancias específicas y definidas están ligadas a ella, además de proteger las instalaciones e infraestructura que hacen posible las operaciones mineras, y por ende, la continuidad de sus procesos (Artículo 1).

Entre sus capítulos se cubren temas como objetivos, atribuciones del Sernageomin, normas generales, condiciones sanitarias y obligaciones ambientales. También se discuten las normas y regulaciones específicas para la explotación de minas subterráneas, minas a cielo abierto, minería del carbón, minería del petróleo, procesamiento de sustancias minerales y construcción de proyectos y obras civiles en la industria extractiva minera. Además, se discuten los requisitos para el cierre de faenas mineras y las normas de seguridad para la manipulación de explosivos.

En el capítulo de anexos se entrega un resumen detallado de aquellos artículos más relevantes para el diseño de proyectos mineros subterráneos.

2.1.3. Avisos y autorizaciones de Sernageomin

En la Tabla 2 y 2, basadas en el Reglamento para la Aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de depósitos de relaves D.S. 248/2007 del Ministerio de Minería y el Reglamento para la Homologación de Cursos de Inducción Básica en Faenas Mineras D.S. 99/2015 del Ministerio de minería, y el Reglamento de Seguridad Minera D.S. 132/2004, del Ministerio De Minería, Reglamento De Seguridad Minera, respectivamente, se presentan todos los permisos requeridos en una faena minera que deben ser solicitados a Sernageomin.

Tabla 1. Permisos D.S. 248/2007 y D.S. 99/2015 requeridos en una faena minera

Tipo	Nombre del Permiso	Normas de Registro
Permiso	Permiso para la Construcción del Depósito de Relaves	D.S. N° 248/2007, Art. 9°.
Aviso	Aviso del Inicio de las Faenas de Construcción del Depósito de Relaves	D.S. N° 248/2007, Art. 22.
Aviso	Aviso del Término de las Faenas de Construcción Depósito de Relaves	D.S. N° 248/2007, Art. 26.
Aviso	Aviso del Inicio de la Operación del Depósito de Relaves	D.S. N° 248/2007 Art. 27.
Permiso	Aprobación Proyecto de Plan de Cierre de Depósito de Relaves	D.S. N°248/2007, Art. 45.
Autorización	Inclusión en el Listado de Entidades Calificadoras de Cursos Homologados de Inducción Básica en las Faenas Mineras.	D.S. N° 99/2015, Art. 14.

Tabla 2. Permisos D.S. N° 132/2004 requeridos en una faena minera

Tipo	Nombre del Permiso	Normas de Registro
Permiso	Aprobación de Método de Explotación Mina Subterránea	Art 22.
Permiso	Autorización para Instalaciones y Almacenamiento de Combustibles en Mina Subterránea	Art. 203.
Permiso	Autorización para Abastecimiento de Combustible en Lugares de Trabajo Mina Subterránea	Art. 211.
Permiso	Autorización de Voltaje especial de Ferrocarriles Eléctricos Subterráneos	Art. 229.
Permiso	Autorización Reglamento Interno de Fortificación	Art. 164.
Permiso	Autorización de Proyecto de Ventilación	Art.. 136
Permiso	Autorización Electrificación de la Mina	Art. 24.
Aviso	Aviso al Servicio de Modificaciones al Sistema Abastecimiento Eléctrico	Art. 218.
Permiso	Autorización para Instalación de Transformadores en Minas Subterráneas (condiciones especiales)	Art. 228.
Permiso	Autorización Reglamento Carguío y Transporte de Mineral y Estériles	Art. 239.
Permiso	Permiso para Establecer un Botadero de Estériles o Acumulación de Mineral.	Art. 339.
Permiso	Aprobación del Reglamento de Perforaciones y Tronaduras	Art. 239.
Permiso	Autorización para el Cambio de Condiciones en el Método de Perforación de Roca o Mina	Art. 22.
Permiso	Aprobación Reglamento de Explosivos en Faenas Mineras.	Art. 504.
Permiso	Autorización para Proceder al Tapado de Hoyos Cargados con Explosivos mediante equipo especial, en Faenas Mineras.	Art. 250.
Permiso	Autorizaciones Especiales para Vehículos que Transportan Explosivos	Art. 507.
Permiso	Autorización para Modificación del Método de Eliminación de Tiros Quedados	Art. 527.
Permiso	Autorización de Método de Explotación a Rajo Abierto	Art. 22.
Permiso	Autorización para Explotación Subterránea y Abierta en Forma Simultánea.	Art. 243.
Aviso	Aviso Inicio o Reinicio de Obras o Actividades	Art. 21.
Aviso	Aviso Inicio o Reinicio de Obras o Actividades por Contratistas	Art. 21.
Permiso	Aprobación de Reglamento General de las Operaciones que se Ejecutan en una Fundición	Art. 330.
Permiso	Aprobación Proyecto Plantas de Beneficio o Tratamiento de Minerales	Art. 315.
Permiso	Aprobación de Reglamento de Sistema de Emergencias	Art. 239.
Permiso	Autorización Reglamento Interno de Seguridad Minera de Instalaciones Portuarias	Art. 589.
Permiso	Aprobación Reglamento de Tránsito de Personas y Vehículos en la Mina	Art. 239.
Permiso	Autorización para Modificación de Medios de Transporte de Personal de cada Faena	Art. 365.
Permiso	Aprobación de Programa de Mejoramiento del Ambiente de Trabajo de los lugares donde se emane contaminantes químicos.	Art. 329.
Aviso	Notificación de Planes y Programas de Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales	Art. 37.
Certificado	Requerimiento de Libro SERNAGEOMIN	Art. 17.
Permiso	Autorización del Proyecto Plan de Cierre de Faenas Mineras	Art.23.

2.2. Minería subterránea

La elección del método de explotación en minería subterránea debe considerar varios aspectos para garantizar condiciones óptimas de seguridad y rentabilidad en su aplicación (Figura 1). Algunos de los factores críticos a tener en cuenta incluyen la geología, la geometría, las características del macizo rocoso, la tectónica, la distribución de leyes y el ritmo de producción. Entre los métodos de explotación subterránea, el Sublevel Stopping es el más utilizado debido a su aplicabilidad a los cuerpos mineralizados presentes en los yacimientos y al grado de seguridad que ofrece.

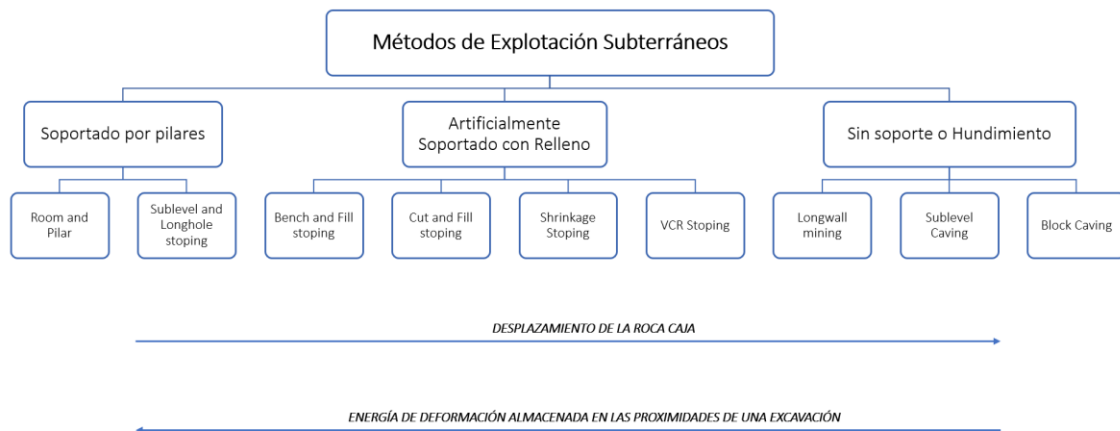


Figura 1. Métodos de Explotación Subterráneos (Brady & Brown, 2006)

Según Potvin (1988), el método se caracteriza por tres aspectos principales: la ausencia de personal una vez iniciadas las labores de extracción, el caserón se deja abierto hasta su completa explotación y el caserón está diseñado para mantenerse estable en el tiempo.

Esta cita de un caso histórico, discutido por el Subcomité de Prácticas Contractuales de la Tecnología de Túneles del Comité Nacional de Tecnología de Túneles de Estados Unidos (The Academy, 1976), destaca dos aspectos críticos de la excavación moderna de túneles:

(1) *La imprevisibilidad geológica que garantiza que habrá algunas **situaciones inesperadas** incluso en el trabajo de excavación de los túneles más sencillos* y (2) *Los problemas contractuales que surgen de las “condiciones cambiadas” cuando ocurren estas situaciones inesperadas.* (traducción propia del texto original de Hoek, 1982).

El informe de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (1976) establece que:

“La exploración geológica no es una ciencia exacta y las opiniones de los expertos a veces deben basarse en evidencia fragmentaria. Sin embargo, ambas partes en un contrato deben tener una comprensión de las condiciones que es probable que encuentren. Esta comprensión común de las consideraciones de diseño involucradas solo se puede lograr proporcionando todos los datos, incluidas las interpretaciones profesionales, a los licitadores potenciales”. (traducción propia del texto original de Hoek, 1982).

Citando el informe de CIRIA (No. 79, 1978):

“Para ser efectivas, las Condiciones de Referencia deben presentarse de manera racional y sistemática para que los hechos físicos, y cualquier interpretación de ellos que se haga, sean explícitos”. (traducción propia del texto original de Hoek, 1982).

En un reciente artículo sobre las causas de las reclamaciones en contratos de túneles, Waggoner (1981), un experimentado geólogo consultor de ingeniería afirma que:

“Los datos geológicos a menudo son demasiado generalizados, no lo suficientemente específicos para el sitio. Con frecuencia se utilizan términos que son engañosos o ambiguos y no incluyen los datos que un contratista realmente necesita”.

(traducción propia del texto original de Hoek, 1982).

Control de voladuras:

“Las voladuras con fines de construcción subterránea son una herramienta de corte, no una operación de bombardeo”. (traducción propia del texto original de Hoek, 1982).

El propósito principal de cualquier investigación de sitio para un túnel debe ser obtener la máxima cantidad de información sobre las características de la roca, los sistemas estructurales y las condiciones del agua subterránea. Esta información es importante para el diseñador del túnel, ya que debería permitirle anticipar el comportamiento de la roca circundante al túnel y el tipo de soporte necesario para mantener el túnel en una condición estable. La información también es importante para el contratista, ya que debería proporcionarle una base para establecer el método de excavación óptimo y el tipo de servicios que requerirá para cumplir con los plazos de construcción.

(traducción propia del texto original de Hoek, 1982).

Una pregunta importante que requiere una cuidadosa consideración al comienzo de cualquier proyecto de excavación subterránea es:

¿qué constituye una investigación de sitio realista para ese proyecto y hasta qué punto se puede esperar que dicha investigación de sitio minimice las incertidumbres que podrían dar lugar a problemas de túneles y dificultades contractuales consecuentes?

(traducción propia del texto original de Hoek, 1982).

Wahlstrom (1964), al discutir los problemas de la proyección geológica, declaró:

“Los estudios superficiales de geología, las mediciones geofísicas y la perforación exploratoria brindan información directa útil, pero igualmente importante para el geólogo puede ser el conocimiento de la geología regional y la historia geológica del área, y una comprensión exhaustiva de la forma en que las rocas responden a los cambios en los entornos geológicos. Tales consideraciones le permiten hacer una estimación semicuantitativa muy útil de los tipos, pero no de las ubicaciones exactas, de las características geológicas que se encontrarán a profundidad”.

(traducción propia del texto original de Hoek, 1982).

2.3. Método de explotación Sublevel Stopping

El método de explotación de subniveles consiste en extraer el mineral a partir de niveles subterráneos mediante tajadas hacia una cara libre previamente desarrollada desde una chimenea de corte (Figura 2). La extracción del mineral se realiza vaciando el volumen desde el cual es extraído, para lo cual es necesario que tanto la roca caja como la mineral sean competentes, de forma que brinden las condiciones necesarias que permitan al método auto sustentarse en base a la geometría propia del diseño, apoyado en losas y pilares, cuyas dimensiones dependerán de las características del yacimiento, la explotación y el macizo rocoso.

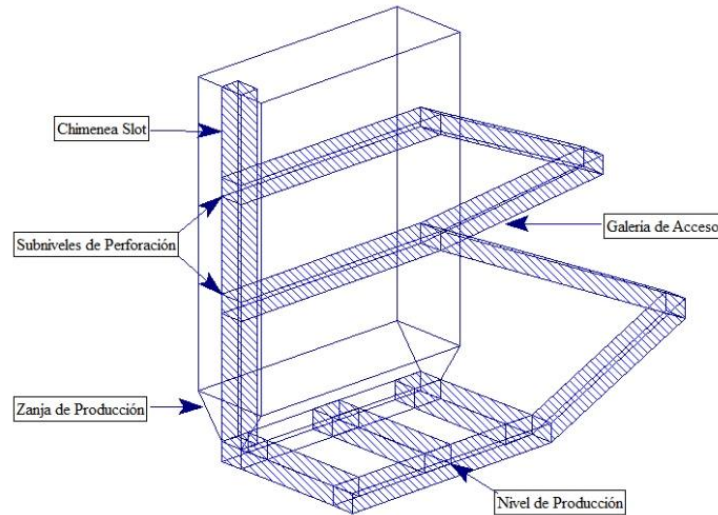


Figura 2. Desarrollos característicos del método SLS. (Hamrin, 2011)

Este método es preferentemente utilizado en yacimientos de forma tabular verticales o sub-verticales, pero también es aplicable en cuerpos mantiformes de mayor potencia, subdivididos en caserones separados por losas y pilares que posteriormente pueden ser recuperados, total o parcialmente. Además, es importante mencionar que este método de explotación tiene una gran importancia en la industria minera, ya que permite una extracción eficiente y segura del mineral, además de ser una alternativa rentable y viable en la explotación de yacimientos subterráneos.

En la minería, la disposición de los caserones con respecto a la orientación del cuerpo mineral puede ser de dos formas: longitudinal y transversal. La disposición longitudinal es empleada en yacimientos cuya potencia no sobrepasa el ancho del caserón, mientras que la transversal se utiliza cuando la potencia excede las dimensiones dadas por la estabilidad del caserón. Las labores mineras de desarrollo y preparación tienen como función principal dar acceso al cuerpo mineral, definir las unidades básicas de explotación y permitir su extracción. El nivel superior del caserón consiste en una o más galerías de perforación, mientras que el nivel inferior o de producción consta de una galería de zanja, una galería de transporte y estocadas de carguío. La correcta ubicación de los niveles de perforación y producción depende de la orientación que permita obtener la máxima recuperación del cuerpo mineralizado, restringido al largo máximo de perforación que permitan los equipos. Además, se debe considerar la distancia entre niveles y accesos existentes. La forma de los caserones debe corresponder a una geometría regular, con una inclinación de la cámara superior

mayor al ángulo de reposo del material tronado (50° a 55°), para permitir que el mineral escurra naturalmente por gravedad. En la Figura 5 se muestra la ubicación de la infraestructura que define un caserón.

La geometría del cuerpo mineralizado es un factor crítico en la planificación y diseño de la minería subterránea. La forma y distribución del mineral a ser extraído tiene un impacto directo en la selección del método de explotación, así como en la optimización de los sistemas de soporte y de ventilación. En cuerpos mantiformes de mayor potencia, es esencial considerar la utilización de pilares y losas para subdividir el yacimiento y garantizar la estabilidad de la excavación. También es importante tener en cuenta las limitaciones impuestas por las condiciones operativas de los equipos mineros y las técnicas de tronadura masiva disponibles para la extracción de los bloques de roca no explotados.

2.4. Datos de entrada, sistemas de clasificación y estimación de esfuerzos

Los sistemas de calificación y clasificación geotécnica son herramientas fundamentales en la construcción y la ingeniería geotécnica. Su objetivo principal es observar las propiedades del macizo rocoso en terreno y asignarle un índice de calidad. Este índice se utiliza luego en correlaciones y gráficos empíricos para ajustar la geometría de la excavación con la calidad del macizo rocoso, con el fin de otorgar un índice de estabilidad.

En general, estos sistemas se basan en la evaluación de diferentes parámetros geotécnicos, como la resistencia, la elasticidad, la porosidad, entre otros. La evaluación se realiza mediante ensayos de campo, laboratorio y análisis estadísticos, y se utiliza para determinar el tipo de roca, su grado de alteración y su estabilidad.

Además, estos sistemas son esenciales para la planificación y diseño de proyectos geotécnicos, ya que permiten identificar los puntos débiles del terreno, determinar las condiciones geotécnicas y tomar decisiones informadas sobre el tipo de estructura y el sistema de soporte necesarios. En resumen, los sistemas de calificación y clasificación geotécnica son fundamentales para garantizar la seguridad y la estabilidad de las obras de construcción y de ingeniería geotécnica.

Cada diseño minero está asociado a una metodología la cual requiere datos de entrada en el proceso de evaluación, estos datos pueden ser medidos, estimados u obtenidos por referencias bibliográficas con base en supuestos, entonces la calidad de los resultados fluctuará de buena a mala calidad en forma directa a los datos ingresados, y esto está directamente relacionado con el nivel de ingeniería que se trabaja en la elaboración, y que debiera verse reflejado en los factores de seguridad de todo proyecto. Habitualmente los diseños mineros pierden sustento y credibilidad por lo que es necesario rehacer la ingeniería del proyecto, por la existencia de datos sin fundamentos y alejados de la realidad.

2.4.1. RQD

El RQD (Rock Quality Designation), definido por Deere et al. (1967), es una medida estandarizada utilizada para evaluar la calidad de las rocas en una mina o un pozo de exploración. Se calcula mediante la relación entre la longitud total de las muestras de roca sólida y la longitud total de las muestras de roca dañada o discontinua (Figura 3). Esto ayuda a evaluar la estabilidad de las rocas en una mina o para determinar la posibilidad de una falla geológica en un pozo de exploración. Un RQD alto indica que hay una gran cantidad de roca sólida, mientras que un RQD bajo indica que hay una gran cantidad de roca dañada o discontinua (Tabla 3).

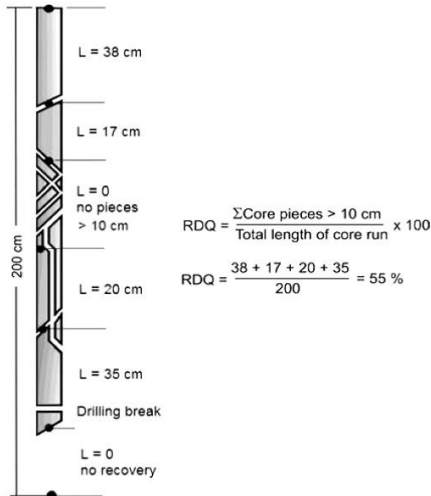


Tabla 3. Clasificación índice de calidad RQD

Índice de Calidad RQD (%)	Calidad
0-25	Muy Mala
25-50	Mala
50-75	Regular
75-90	Buena
90-100	Excelente

Figura 3. Procedimiento de cálculo de RQD (Deere, 1989)

2.4.2. RMR

La clasificación geomecánica RMR propuesta por Bieniawski (1973) ha sido objeto de numerosas modificaciones desde su presentación inicial siendo la de 1989 la más reciente. La valoración del macizo rocoso RMR (Rock Mass Rating) se obtiene a través de la estimación de seis parámetros aplicados a las zonas delimitadas por discontinuidades geológicas, denominadas dominios estructurales. Estos parámetros son: UCS (Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta), RQD (Designación de la calidad de la roca), S (Espaciamiento entre estructuras), Jc (Condición de las estructuras), Wc (Presencia de agua) y Od (Orientación de discontinuidades). A cada variable se le asigna un puntaje, cuya suma indica el resultado del índice de clasificación el cual se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski 1989)

RMR	Descripción del Macizo Rcoso	Clase
81-100	Muy Bueno	I
61-80	Bueno	II
41-60	Medio	III
21-40	Malo	IV
0-20	Muy Malo	V

2.4.3. Q de Barton

La clasificación del macizo rocoso, conocida como el índice de calidad de túneles en roca (Q), es una metodología desarrollada por Barton et al. (1974) en el Instituto Noruego de Geomecánica. Esta clasificación se utiliza para evaluar la estabilidad de túneles en obras civiles. El índice Q se calcula utilizando varios factores, incluyendo la calidad de la roca (RQD), el número de conjuntos de estructuras en el macizo rocoso (Jn), la rugosidad de las estructuras (Jr), el grado de alteración de las estructuras (Ja), la condición de agua en las estructuras (Jw) y el posible efecto de la condición de esfuerzos en el macizo rocoso (SRF), se calcula utilizando la Ecuación 1 y la clasificación resultante se presenta en la Tabla 5.

Ecuación 1. Q de Barton

$$Q = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$$

Tabla 5. Clasificación de calidad del macizo rocoso según el índice Q (Barton et al. 1974)

Índice de Calidad Q	Descripción Macizo Rocosos
0,001-0,01	Excepcionalmente Pobre
0,01-0,1	Extremadamente Pobre
0,1-1	Muy Pobre
1-4	Pobre
4-10	Regular
10-40	Buena
40-100	Muy Buena
100-400	Extremadamente Buena
400-1.000	Excepcionalmente Buena

2.4.4. GSI

Fue presentado por Hoek et al. (1994) y se utiliza para estimar los parámetros s y m_b en el criterio de falla en roca. El GSI se ha actualizado para macizos débiles en varias ocasiones (1998 y 2002). La caracterización del macizo rocoso se basa en la impresión visual de la estructura y discontinuidades. Se determina utilizando descripciones visuales en lugar de datos cuantitativos y es principalmente útil para macizos rocosos menos resistentes con RMR menor a 20. Es una relación empírica y se utiliza para estimar los parámetros de entrada para el cálculo de resistencia en la ingeniería de rocas.

2.4.5. Estimación de esfuerzos in situ

Toda excavación se encuentra sometida a esfuerzos, estos pueden ser de origen tectónico, gravitacional, local (producto de esfuerzos cercanos inducidos) y residual (esfuerzo termal) (Hudson, Cornet y Christiansson 2003). Son aplicados en 3D y se clasifican como esfuerzos de

corte y esfuerzos normales. El esfuerzo vertical σ_v generalmente es el resultado de la carga litostática, calculándose según la Ecuación 2.

Ecuación 2. Esfuerzo vertical

$$\sigma_v = \int_0^z \rho g dz$$

Donde:

- ρ es la densidad la roca [kg/cm^3],
- g es la aceleración de gravedad,
- z es la profundidad [m],

El esfuerzo horizontal, por su parte, requiere de más información para su cálculo, como condiciones de borde y propiedades de la roca. Se define la razón de esfuerzos κ , que relaciona el esfuerzo vertical con el horizontal en la Ecuación 3.

Ecuación 3. Razón de esfuerzos κ

$$\kappa = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

La tectónica entrega información acerca de cómo se comportan los mecanismos de falla para estimar las sollicitaciones que pueden desarrollarse en una obra de ingeniería de rocas. Las metodologías empíricas de diseño de caserones y pilares requieren los datos de esfuerzos para calcular la estabilidad de estos. Los mecanismos de falla pueden provocar fallas divergentes, convergentes y transformantes. Distintos países han desarrollado modelos de acuerdo con los esfuerzos presentes en su territorio. Se consideran mediciones de esfuerzos a distinta profundidad y orientaciones, y con base en ellos se realizan estimaciones, sin embargo, estas sólo servirían para una ingeniería conceptual. Para una ingeniería de detalle es mucho más efectivo realizar las mediciones cada vez que sea necesario. Hoy existe el World Stress Map (Heidbach et al. 2008) que es una recopilación del campo de esfuerzos actual de la corteza terrestre de 21.750 lugares a nivel mundial. A nivel nacional existe un modelo de esfuerzos in situ presentado en Galarce (2014).

Algunos de los modelos mencionados son los siguientes: Hoek & Brown (1980), Sherorey (1994), que se presentan en la Figura 4 y Figura 5. Las expresiones de Hoek & Brown (1980) se presentan en la Ecuación 4 y 5, y la expresión de Sheorey (1994) la Ecuación 6:

Ecuación 4. Razón de esfuerzos κ mínima (Hoek, 1980)

$$k_{min} = \frac{100}{h} + 0.3$$

Ecuación 5. Razón de esfuerzos κ máxima (Hoek, 1980)

$$k_{max} = \frac{1500}{h} + 0.5$$

Ecuación 6. Razón de esfuerzos κ (Sheorey, 1994)

$$k = 0.25 + 7 * E_h(GPa) * (0.001 + \frac{1}{h(m)})$$

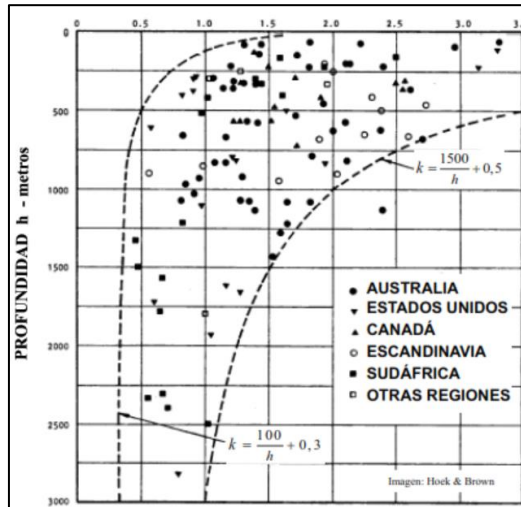


Figura 4. Hoek & Brown (1980)

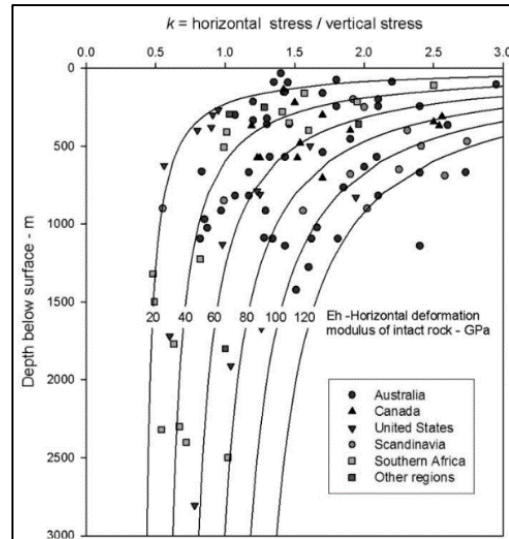


Figura 5. Sheorey (1994)

No obstante, los modelos anteriores son referenciales y en cada caso, deberían realizarse estimaciones de esfuerzos. Algunas de las técnicas más utilizadas son Overcoring – CSIRO Hollow Inclusion Cell y otras que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Métodos de determinación de esfuerzos (Ljunggren et. Al, 2003)

Métodos directos	Métodos indirectos
Flatjack test,	Breakouts en sondajes,
Fracturamiento hidráulico (HF, HTPF),	Soluciones de mecanismo focal,
<ul style="list-style-type: none"> • United States Bureau of Mines (USBM) overcoring torpedo, • Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) overcoring gauge, • Sobre excavación 	Relajación de deformaciones inelásticas, Disking

La figura 6 muestra la celda HI que se utiliza para la medición de esfuerzos, mientras que la figura 7 enseña el procedimiento para realizar estas mediciones. El procedimiento es:

1. Se realiza el sondaje de 155 [mm] de diámetro.
2. Se realiza la perforación piloto de 38 [mm] de diámetro y de un largo aproximado de 600 [mm]
3. Se inserta la celda CSIRO Hollow Inclusion al sondaje.
4. Se acomoda la celda en la perforación piloto.
5. Se extrae la herramienta de instalación.
6. Tras dejar que los medidores de desplazamiento peguen bien (se deja aproximadamente una noche), se sobre perfora registrando los desplazamientos y la temperatura. Posteriormente se arranca el testigo sobre perforado para inspeccionarlo.

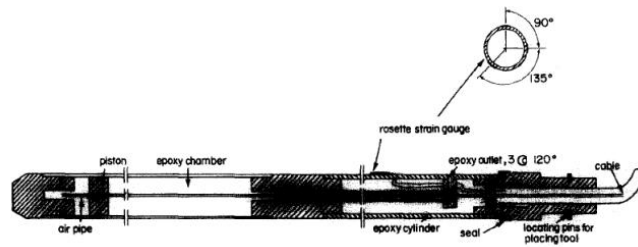


Figura 6. Celda utilizada en el método Hollow Inclusion Cell (Duncan y Pender, 1980)

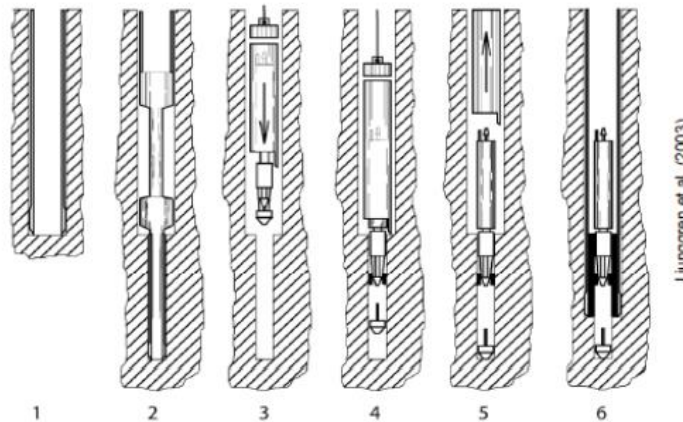


Figura 7. Procedimiento para medir esfuerzos mediante la celda CSIRO Hollow Inclusion (Ljunggren et al. 2003)

2.5. Metodologías de Diseño Geomecánico

El diseño para la estabilidad puede ser a través de metodologías empíricas, así como también producto del modelamiento numérico. Es importante considerar que el hecho de que una metodología sea aplicada en un sitio determinado no significa que su aplicación en otro sitio tenga los mismos resultados, esto es debido a que cada mina o cada sector de la mina tienen sus propias características por las cuales tiene comportamientos diferentes. En el caso de aplicar alguna metodología, debe ajustarse adecuadamente de acuerdo con el contexto propio del lugar y los datos históricos. Por lo tanto, se debe revisar si la aplicación de las metodologías cumple con los supuestos originales planteados por los autores de los diversos métodos empíricos y pueden ser complementados con métodos numéricos. A continuación, se presentan los métodos empíricos más utilizados en proyectos.

2.5.1. Métodos empíricos de diseño de caserones

2.5.1.1. Método del gráfico de estabilidad de Mathews et al. (1981)

Esta es una metodología de diseño empírico que consiste en utilizar los datos obtenidos con un gráfico preestablecido de resultados, de la siguiente forma:

- i. A partir de un gráfico con información de caserones y su estabilidad diferenciando zona estable, potencialmente inestable y potencialmente caving, bajo condiciones de excavaciones por debajo de 1,000 m.

- ii. El eje de las abscisas del gráfico consiste en el radio hidráulico, también conocido como factor de forma (Ecuación 7). En la industria minera, este término describe la superficie de la pared expuesta en dos dimensiones, pero no tiene en cuenta la orientación de la superficie de las paredes ni los efectos de la gravedad ni las estructuras geológicas. El eje de las ordenadas está definido por el número de estabilidad N que se define según la Ecuación 8.

Ecuación 7. Radio Hidráulico

$$RH(m) = \frac{\text{Área}(m^2)}{\text{Perímetro}(m)}$$

Ecuación 8. Número de Estabilidad de Mathews

$$N = Q' * A * B * C$$

Donde:

- Q': Q de Barton modificado (Barton et al., 1974) según la Ecuación 9.
- A: Factor de ajuste por esfuerzos
- B: Factor de ajuste por discontinuidades
- C: Factor de ajuste por gravedad

Ecuación 9. Q de Barton Modificado

$$Q' = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja}$$

Los factores de corrección A, B y C se muestran en la Figura 8:

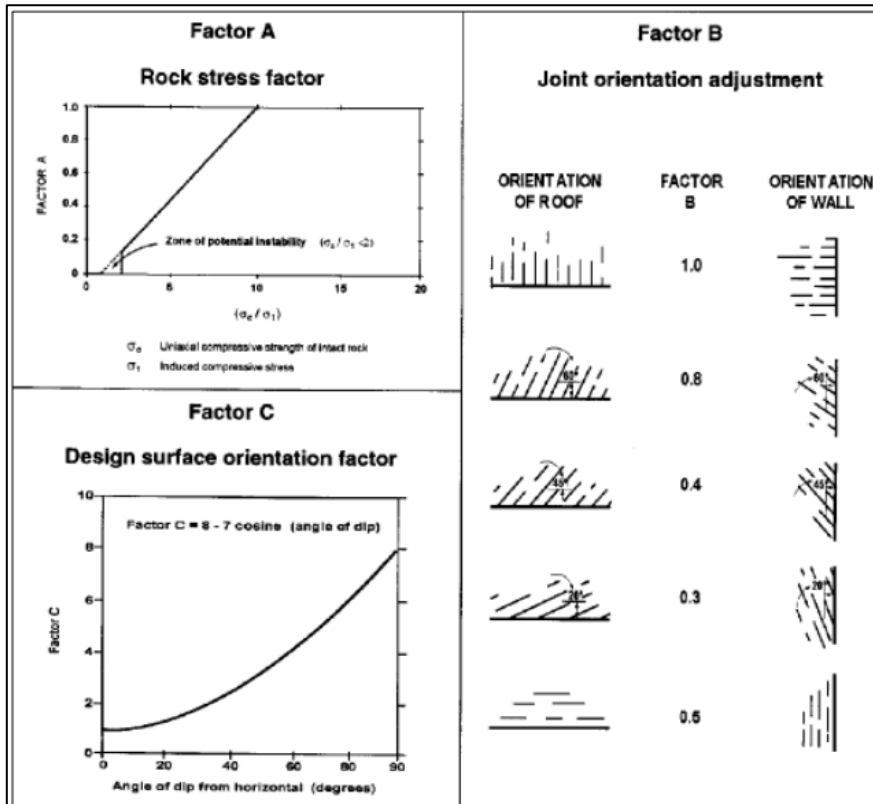


Figura 8. Factores de corrección A, B y C para método de estabilidad (Mathews et al, 1981)

Al tener estos valores determinados, se realiza el cálculo del Número de Estabilidad. Con esta información se puede determinar la estabilidad del caserón a través de su posición en el gráfico de estabilidad presentado en la Figura 9.

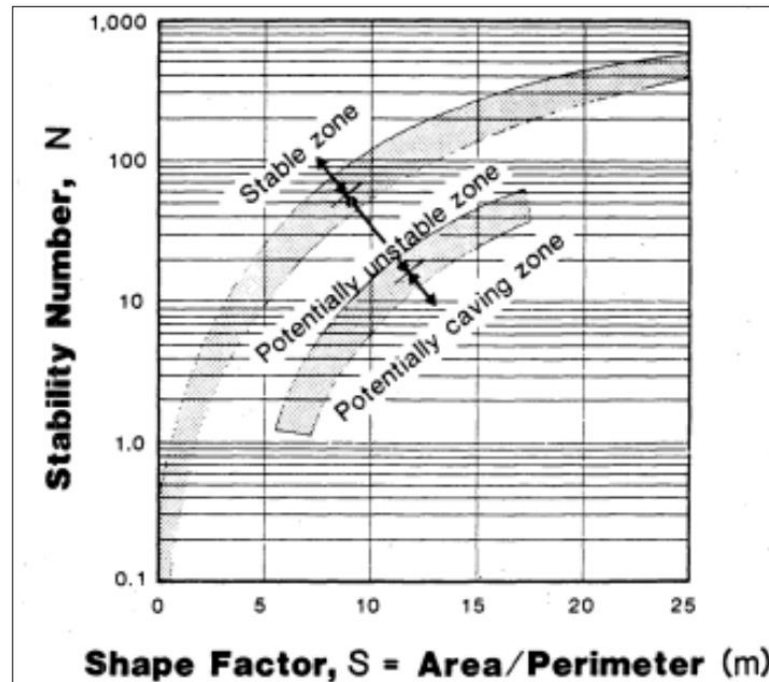


Figura 9. Relación entre el número de estabilidad y el radio hidráulico (Mathews et al, 1981)

2.5.1.2. Metodologías a partir de la metodología de Mathews

La primera modificación en el gráfico de estabilidad original es realizada por Potvin (1988) (Figura 10). Aumentando el número de casos estudiados de 26 a 175 y modificando el cálculo del número de estabilidad N , propuesto por Mathews. Potvin propone cambios en los factores A, B y C, y renombra el número de estabilidad modificado como N' . Los estados de clasificación son los mismos definidos por Mathews. Además, las zonas de transición se reducen a solo una, la cual hace referencia al estado inestable.

La Figura 11 presenta los factores propuestos por Potvin (1988), y los cambios realizados a los factores de corrección incluyen lo siguiente:

- **Factor A:** La modificación al factor A es de igualar a 0.1 el valor del factor para toda razón (UCS/ σ_1 -inducido) menor a 2.
- **Factor B:** Modificación de los intervalos de ángulos donde el factor B obtiene valores y agregación de variantes en caso de diferencias entre los rumbos de las discontinuidades y las paredes. Además, el valor mínimo del factor B pasa de 0.3 a 0.2.
- **Factor C:** Incorporación de los modos de falla (*slabbing*, *gravity fall* y *sliding*) en el cálculo del factor C. En el caso de *sliding*, se tiene en cuenta el mantenimiento de la estructura crítica y tiene una forma distinta al factor C original. Para los demás modos de falla, se plantea adicionalmente que una pared vertical es 4 veces más estable que una horizontal.

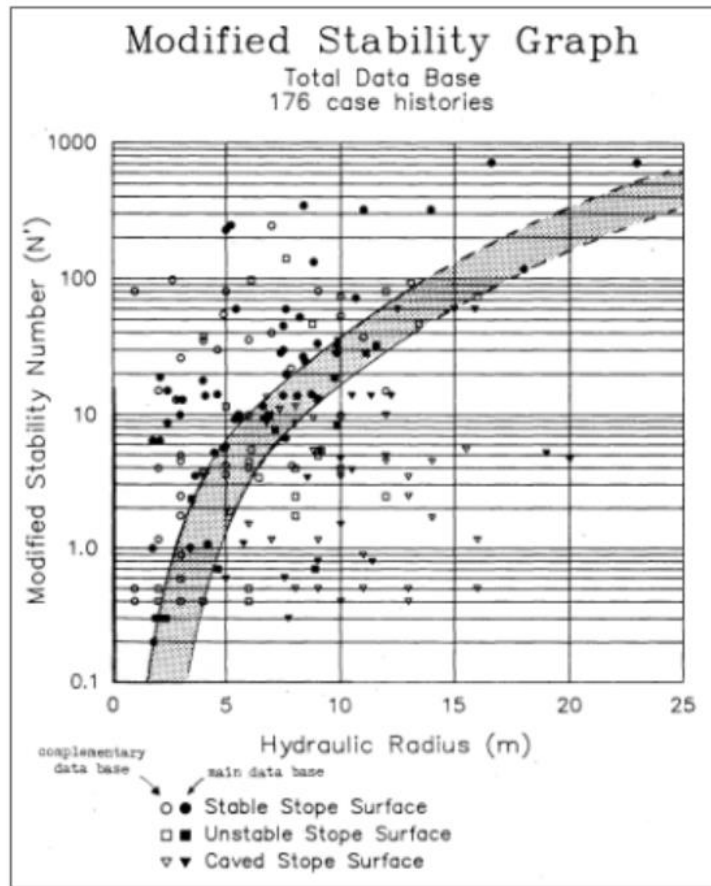


Figura 10. Gráfico de estabilidad modificado para 175 casos históricos (Potvin, 1988)

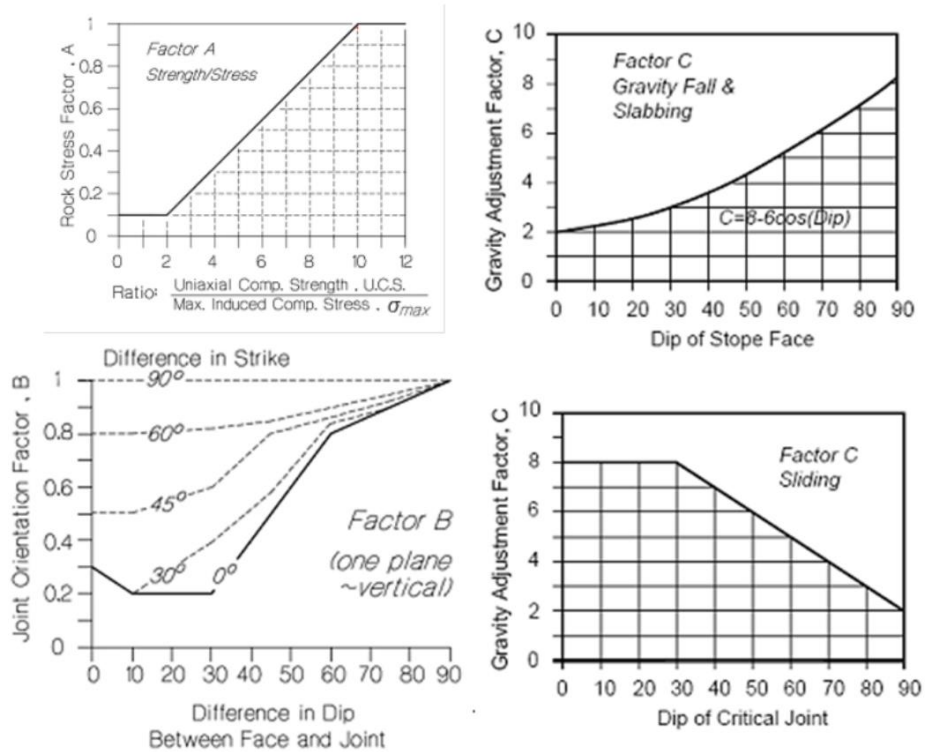


Figura 11. Factores A, B y C propuestos por Potvin (1988)

Nickson (1992) hizo una contribución al método de estabilidad de Potvin. Usó técnicas estadísticas para agregar más información a la zona de Soporte Requerido, recogió datos de 46 casos nuevos con soporte y 13 casos sin soporte de 13 faenas en minas de Canadá, Estados Unidos e Irlanda. Con esta nueva información, se creó una nueva guía para diseñar paredes colgantes que usan cables. Esta técnica se conoce como “Point Anchor Approach” (o fortificación de paredes de caserones mediante líneas de cables desde un subnivel) y sus resultados fueron coherentes con los de Potvin, lo que queda demostrado en la Figura 12.

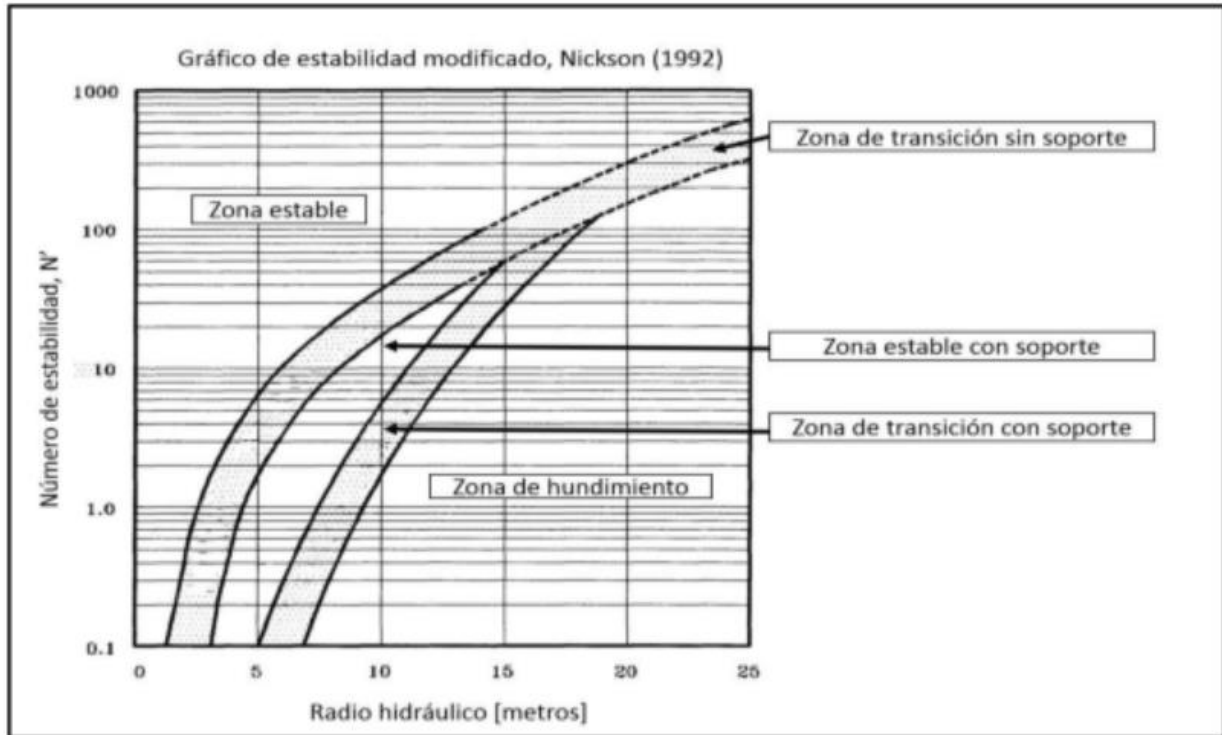


Figura 12. Gráfico de estabilidad modificado de Nickson (1992)

La propuesta más reciente de un gráfico de estabilidad basado en el número de estabilidad original (N) fue presentada por Mawdesley et al. (2001). Utilizó regresión logística en un conjunto de datos compuesto por 485 casos no soportados y retomó la definición original de estabilidad establecida por Mathews utilizando sus parámetros A, B, C y Q'. Este gráfico está construido en una escala logarítmica y las divisiones entre las diferentes áreas de estabilidad de la Figura 13 se determinan mediante las Ecuaciones 10 y 11 (Mawdesley et al., 2001). La Figura 14 y Figura 15 muestran la isoprobabilidad de falla y de falla mayor respectivamente.

Ecuación 10. División entre las áreas de estabilidad en el gráfico de Mawdesley

$$N_{estable-falla} = 0.32 * RH^{1.82}$$

Ecuación 11. División entre las áreas de estabilidad en el gráfico de Mawdesley

$$N_{Falla-Falla mayor} = 0.07 * RH^{1.82}$$

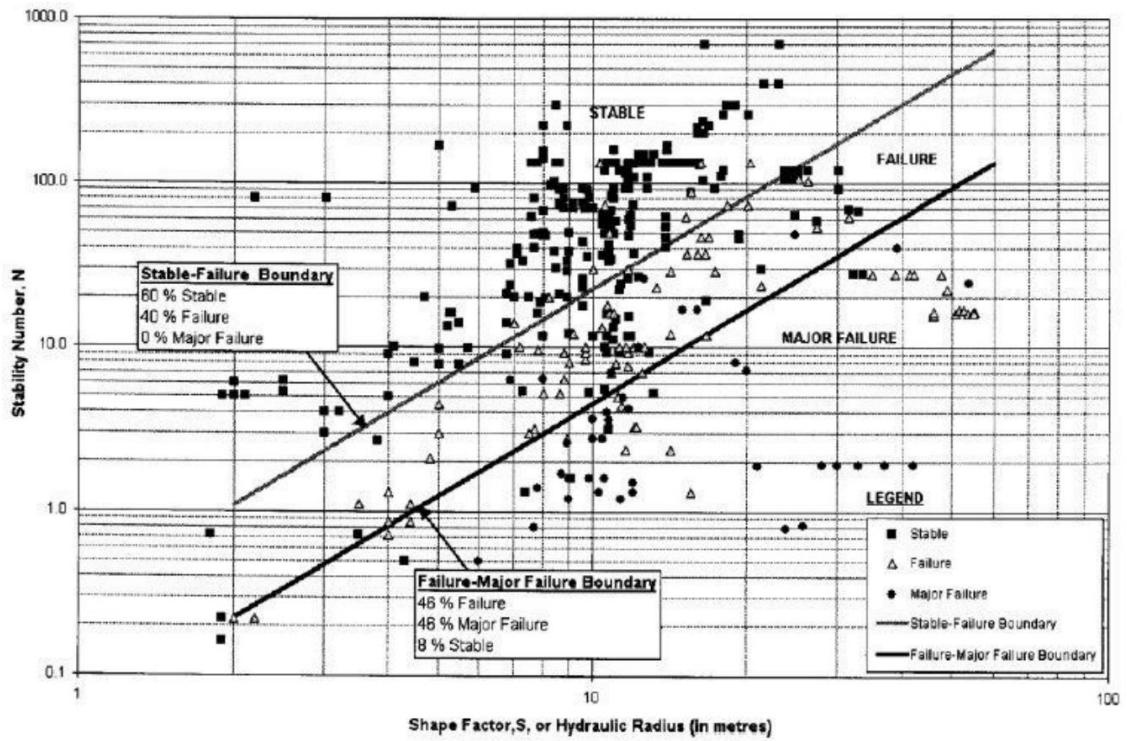


Figura 13: Gráfico de estabilidad (Mawdesley et al., 2001)

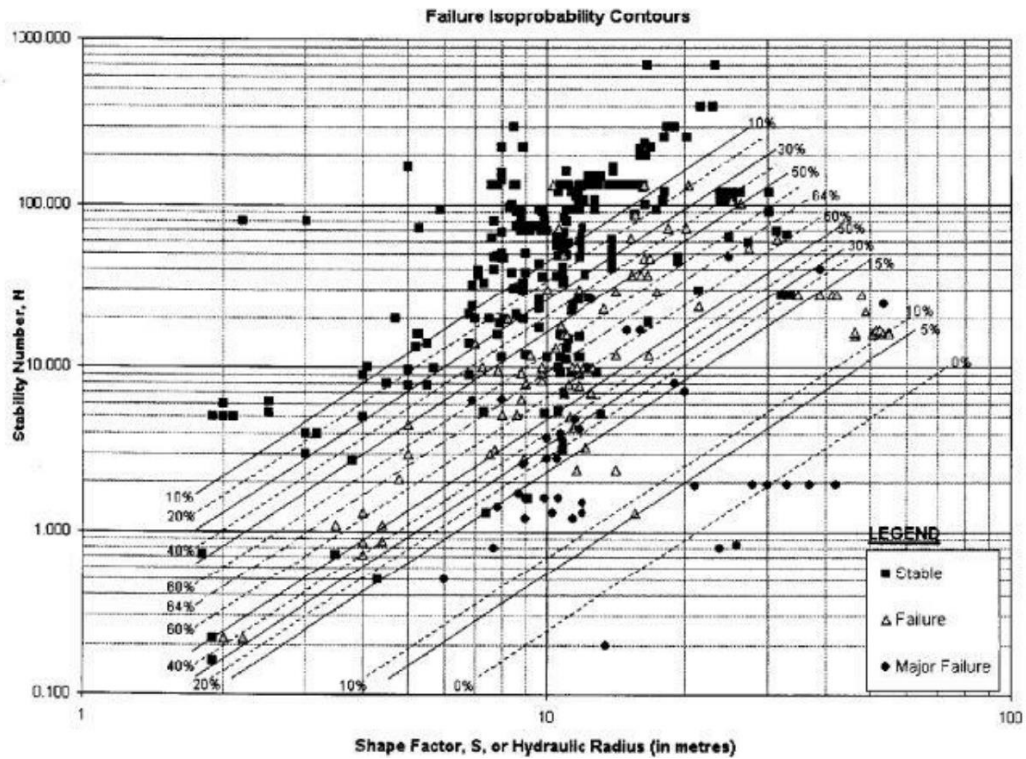


Figura 14. Gráfico de estabilidad con líneas de isoprobabilidad de falla (Mawdesley et al., 2001)

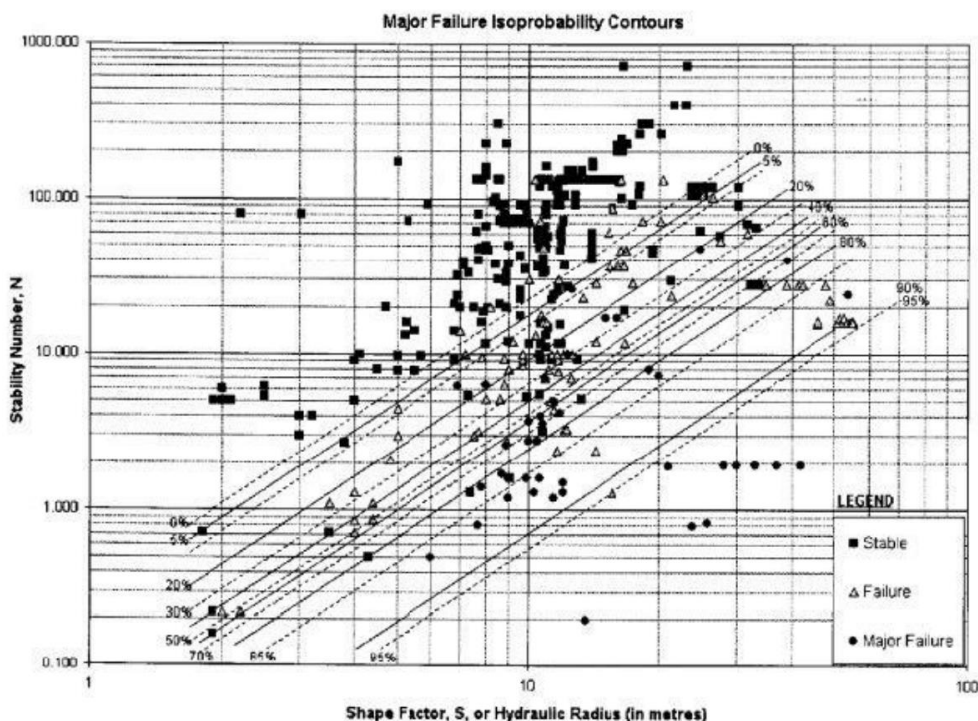


Figura 15. Gráfico de estabilidad con líneas de isoprobabilidad de “falla mayor” (Mawdesley et al, 2001)

2.5.1.3. Metodología de hundibilidad de Laubscher

El Gráfico de hundibilidad Laubscher (1990, 1994, 2001) es una herramienta empírica que utiliza el MRMR y las dimensiones de la excavación subterránea (RH) para brindar información sobre si la excavación será estable o si ocurrirá la propagación de “caving” (Figura 16). Se recopilieron datos en diferentes condiciones de operación minera en Zimbabwe, Chile, Canadá y Estados Unidos.

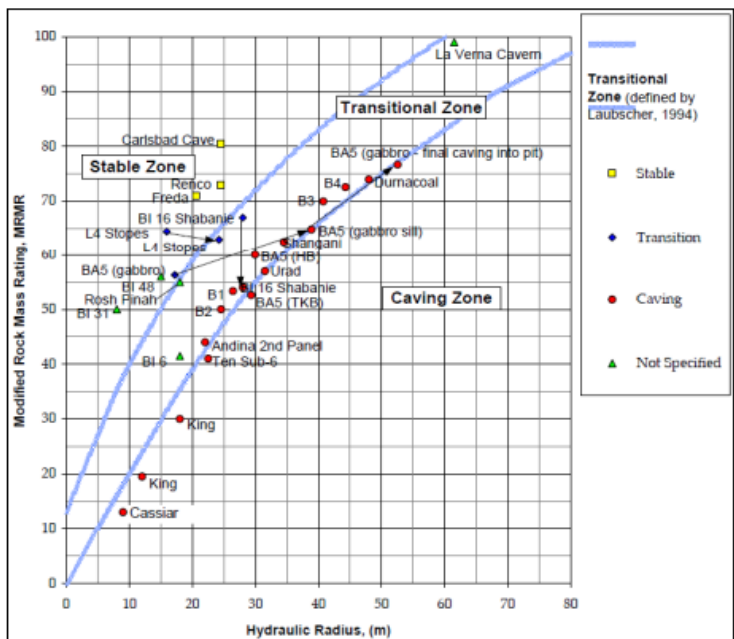


Figura 16. Gráfico de Hundibilidad de Laubscher (Bartlett,1998)

A pesar de su origen, la metodología hundibilidad de Laubscher es muchas veces utilizada para para estimar la estabilidad del techo de los caserones lo cual no se considera apropiado debido a las condiciones bajo las cuales se elaboró este modelo.

2.5.2. Métodos empíricos de diseño de pilares

Existen múltiples metodologías para diseñar pilares bajo distintas condiciones de roca, algunos de los cuales se muestran en la Tabla 7. Como se puede apreciar, la única metodología que se aplica en roca dura es la metodología de Lunder y Pakalnis.

Tabla 7. Métodos empíricos de diseño de pilares (Yrarrazaval, 2013)

Autor	Fórmulas desarrolladas con pilares	UCS	RMR	Tipo de roca
Obert & Duvall (1967)	$S_p = UCS \times (0.788 + 0.222 \times \frac{W}{H})$	-	-	Carbón
Bieniawski (1975)	$S_p = UCS \times (0.64 + 0.36 \times \frac{W}{H})$	-	-	Carbón
Krauland & Soder (1987)	$S_p = 0.354 \times UCS \times (0.778 + 0.222 \times \frac{W}{H})$	100	60-85	Limestone
Sjoberg (1992)	$S_p = 0.308 \times UCS \times (0.778 + 0.222 \times \frac{W}{H})$	215-265	60-85	Limestone/Skarn
Lunder (1994)	$S_p = 0.44 \times UCS \times (0.68 + 0.52 \times \kappa)$ $\kappa = \tan[\arcsin(\frac{1 - C_{pav}}{1 + C_{pav}})]$ $C_{pav} = 0.46 \times [\log(\frac{W}{H} + 0.75)]^{\frac{1.4}{W/H}}$	90-240	60-85	Roca dura
Hedley & Grant (1972)	$S_p = 0.578 \times UCS \times \frac{W^{0.5}}{H^{0.75}}$	210-275	-	Cuarcita
Salamon & Munro (1967)	$S_p = 9.115 \times \frac{W^{0.46}}{H^{0.66}}$	-	-	Carbón
Laubscher (1990)	$S_p = RMS \times \frac{W^{0.5}}{H^{0.7}}$	-	-	-
González (2006)	$S_p = UCS \times e^{\frac{RMR-100}{20}} \times \frac{W^{0.5}}{H^{0.75}}$	61-104	50-79	Mármol
Sheorey (1987)	$S_p = 0.27 \times UCS \times \frac{1}{H^{0.36}} + \frac{H}{160} \times (\frac{W}{H} - 1)$	-	-	Carbón

2.5.2.1. Metodología del área tributaria

El método de área tributaria es aplicable a pilares de distintas formas, y el principio fundamental en que se basa es la ecuación de equilibrio estático en la dirección vertical, de modo que en su forma más general el esfuerzo que afecta el pilar se puede escribir según se presenta en las Ecuaciones 12 y 13, para pilares cuadrados y rectangulares, respectivamente, según la geometría presentada en la Figura 17.

Ecuación 12. Cálculo de esfuerzos en pilares cuadrados

$$\sigma_p = P_{zz} \left(1 + \frac{w_p}{w_o}\right)^2$$

Ecuación 13. Cálculo de esfuerzos en pilares rectangulares

$$\sigma_p = P_{zz} \left(1 + \frac{w_p}{w_o}\right) \left(1 + \frac{l_p}{l_o}\right)$$

Donde:

- σ_p : esfuerzo axial promedio sobre el pilar, y
- P_{zz} : componente vertical del tensor de esfuerzos medido.

Para el caso de pilares rectangulares, que se muestra en la Figura 17, la condición impuesta de equilibrio estático en la dirección vertical requiere que:

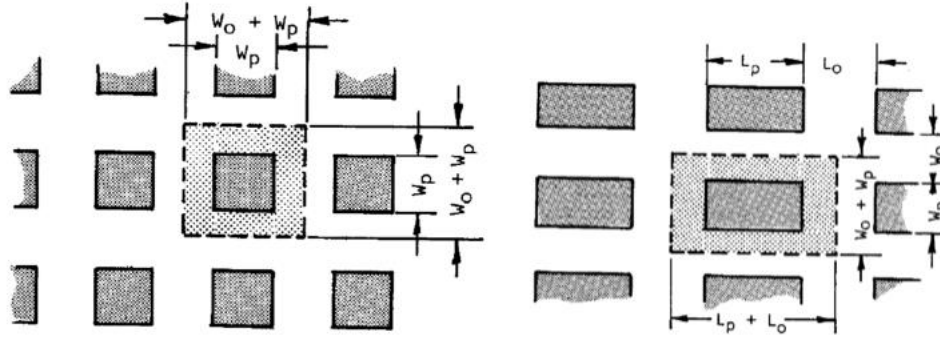


Figura 17. Geometría para el análisis del área tributaria de pilares en compresión uniaxial

2.5.2.2. Metodología de Lunder y Pakalnis (1997)

La metodología de Lunder y Pakalnis (1997) es la metodología empírica más utilizada para el diseño de pilares y no ha tenido actualizaciones a la fecha, esta resulta de la combinación del método de resistencia confinada de roca con métodos empíricos. Si bien existen metodologías más nuevas, las empresas mineras no han optado por ellas. Para su cálculo se introduce un nuevo término llamado “fricción del pilar” calculado a partir de la relación de esfuerzos mínimos y máximos promedio. La resistencia del pilar se calcula según la Ecuación 14, en donde K_{appa} se calcula según la Ecuación 15, y en donde C_{pav} se calcula según la Ecuación 16.

Ecuación 14. Cálculo de la resistencia del pilar

$$S_p = (0.44 * \sigma_{ci}) * (0.68 + 0.52 * K_{appa})$$

Donde:

- K_{appa} : Término de fricción del pilar
- σ_{ci} : Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta (MPa)
- S_p : Resistencia del pilar (MPa)

Ecuación 15. Cálculo de k, término de fricción del pilar

$$K_{appa} = \tan \left(a \cos \left(\frac{1 - C_{pav}}{1 + C_{pav}} \right) \right)$$

Donde:

- C_{pav} : Confinamiento medio del pilar
- K_{appa} : Término de fricción del pilar

Ecuación 16. Cálculo del confinamiento medio del pilar

$$C_{pav} = 0.46 * \left[\log \left(\frac{w}{h} + 0.75 \right) \right]^{\frac{1.4}{\left(\frac{w}{h} \right)}}$$

Donde:

- w : Ancho efectivo del pilar (m)
- h : Altura del pilar (m)
- C_{pav} : Confinamiento medio del pilar

Para estimar los esfuerzos actuantes sobre los pilares se utiliza el criterio del área tributaria (Ecuación 12), los cuales sirven para calcular el factor de seguridad del pilar (Ecuación 17). Los esfuerzos que actúan sobre el pilar también podrían estimarse a partir de modelamiento numérico.

Ecuación 17. Cálculo del Factor de Seguridad del pilar

$$FS = \frac{S_p}{\sigma_p}$$

Donde:

- σ_p : Esfuerzo actuando sobre el pilar (MPa)
- FS: Factor de seguridad del pilar

Lunder y Pakalnis consideran que los pilares estudiados pueden ser categorizados mediante el trazo de dos líneas de Factores de Seguridad, tal como se presenta en la Figura 18, donde en la zona $FS < 1$ existen pilares que presentan fallamiento mayor, la zona donde $1 < FS < 1.4$ corresponde a una zona de inestabilidad local y activación de fenómenos de lajamiento y fracturamiento sin presentar falla o colapso mayor. Pilares con $FS > 1.4$ no presentan daños de consideración.

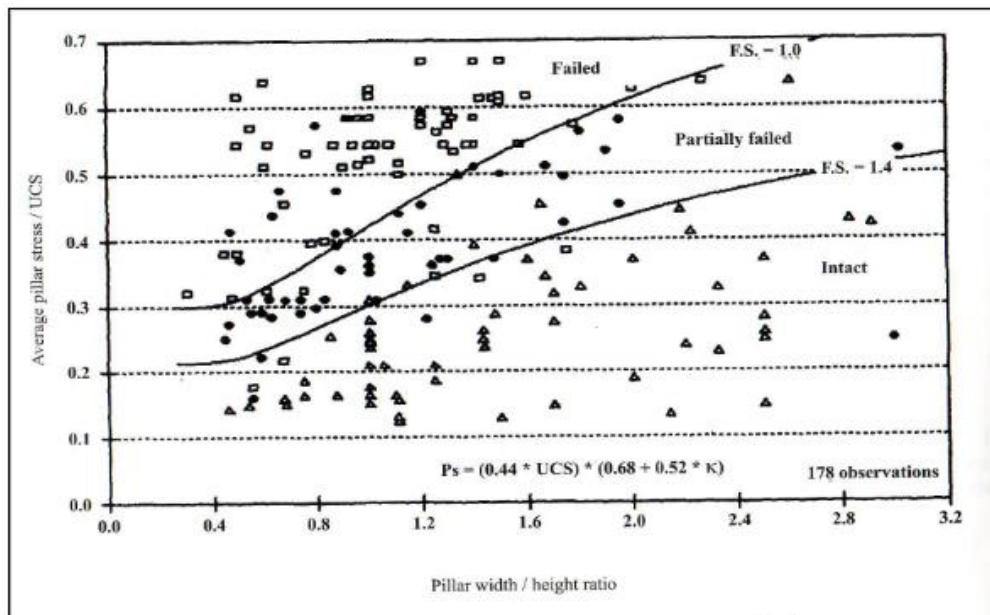


Figura 18. Diagrama de estabilidad de pilares de Lunder y Pakalnis (1997)

2.5.2.3. Metodología de Hoek y Brown (2002)

Originalmente creado el año 1980, el criterio de Hoek and Brown se usa para calcular la estabilidad de pilares. La versión más utilizada (2002) es la siguiente:

Ecuación 18. Esfuerzo principal Mayor

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} * \left(m_b * \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Donde:

- σ'_1 y σ'_3 : Esfuerzos principales efectivos mayor y menor
- σ_{ci} : Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta
- m_b, s, a : Constantes del macizo rocoso

2.5.3. Métodos empíricos de diseño de losas

2.5.3.1. Metodología de Carter (1992)

Este método, desarrollado en 1980, provee una forma para dimensionar empíricamente una losa de una excavación cercana a la superficie basada en 500 casos históricos de los cuales 70 son colapsos de losa. El principio en el que se basa este método fue que a medida que el tamaño de la excavación aumenta, también aumenta el peligro de falla y por lo tanto la probabilidad de colapso de la losa. También considera que al aumentar la calidad de la roca la probabilidad de colapso decrece. De este razonamiento surge la idea de relacionar las características geométricas con Q de Barton, para ello Carter creó el Span escalado que se calcula con la Ecuación 19 utilizando los parámetros que se muestran en la Figura 19.

Ecuación 19. Ancho ajustado del pilar corona (Carter, 1992)

$$C_S = S \sqrt{\frac{S.G.}{T \cdot \left(1 + \frac{S}{L}\right) (1 - 0.4 \cos(\theta))}}$$

Dónde:

- C_S : Scaled Crown span, o anchura del pilar corona ajustada (m)
- S: Actual Crown span (m)
- S.G.: Gravedad específica del macizo rocoso (ton/m^3)
- T: Grosor del Crown pillar (m)
- SR: span ratio S/L (anchura del Crown pillar dividido por longitud acuñada del Crown pillar (m))
- Θ : manto de la foliación del cuerpo ($^\circ$)

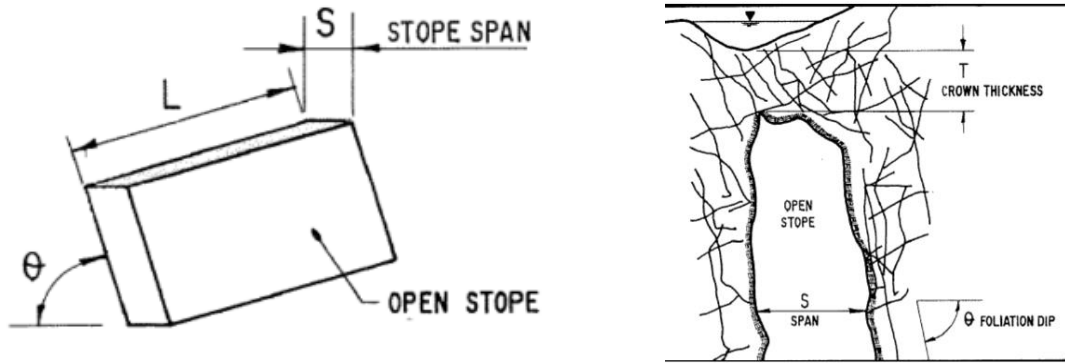


Figura 19. Esquema que muestra un caserón con su ancho (S), su longitud (L) y su manteo (θ). Y la sección vertical del caserón, con el espesor de la losa (T), el ancho del caserón (S) y el manteo de la foliación (θ). (Carter, 2014)

El Span escalado en función de la calidad de la roca se grafica en la Figura 20, incluyendo el grafico original de 1990 que consideraba casos identificados como caserones abiertos o con relleno, y si eran estables o no. La curva que separa casos estables de los fallados de Carter es similar a la propuesta por Barton (1974), la cual define el Span escalado crítico (S_c) en el cual ocurre la falla, y se presenta en la Ecuación 20.

Ecuación 20. Línea de ancho crítico

$$S_c = 3.3 * Q^{0.43} * \sinh^{0.0016}(Q)$$

Donde:

- S_c : línea crítica de anchura (m)
- Q: Q de Barton

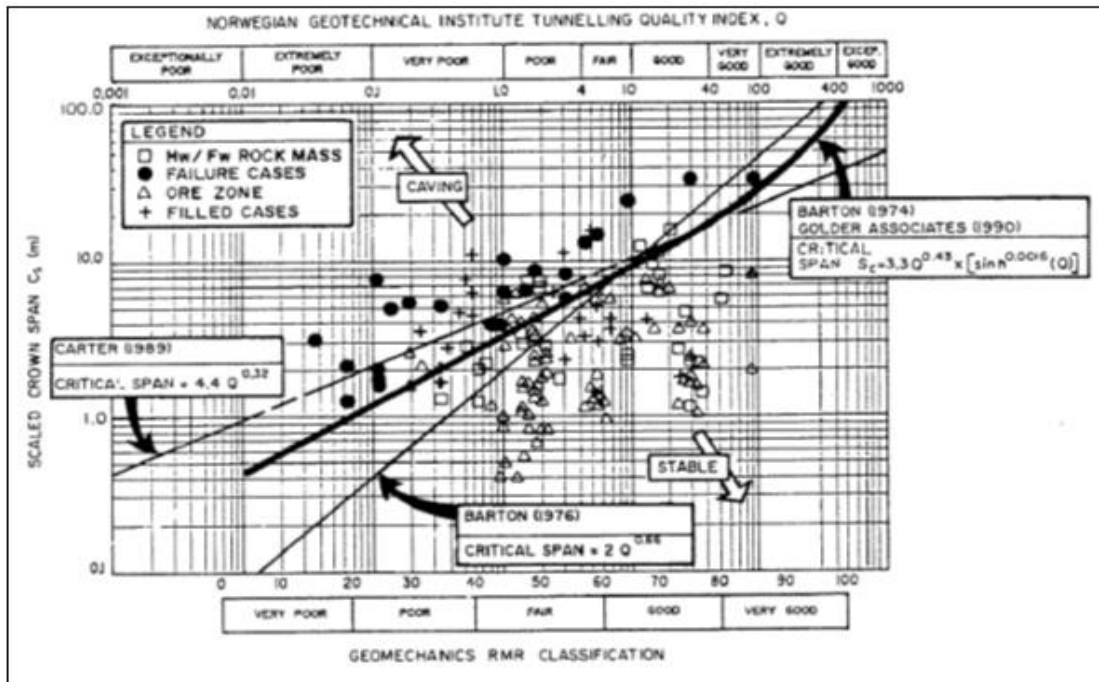


Figura 20. Gráfico de Carter, incluye un resumen de casos de Crown pillar, muestra el ancho de la losa modificado versus la calidad del macizo rocoso Q o RMR. (Carter, 2014)

El factor de seguridad para la losa respectiva puede ser estimado según la Ecuación 21. Si el valor de FS menor a 1, se predice una alta probabilidad de falla.

Ecuación 21. Factor de seguridad de la losa

$$FS = \frac{S_c}{C_s}$$

Los resultados de la estabilidad de la losa pueden usarse para estimar la probabilidad de falla de este, considerando las incertidumbres por la variabilidad de la calidad Q , el buzamiento de estratos, geometría de la cámara, etc. La fórmula de probabilidad de falla en función del factor de seguridad propuesta por Carter (2014) se presenta en la Ecuación 22, que también se presenta en forma gráfica en la Figura 21.

Ecuación 22. Probabilidad de falla

$$Pf[\%] = \frac{100}{1 + 440e^{(-1.7c_s/Q^{0.44})}}$$

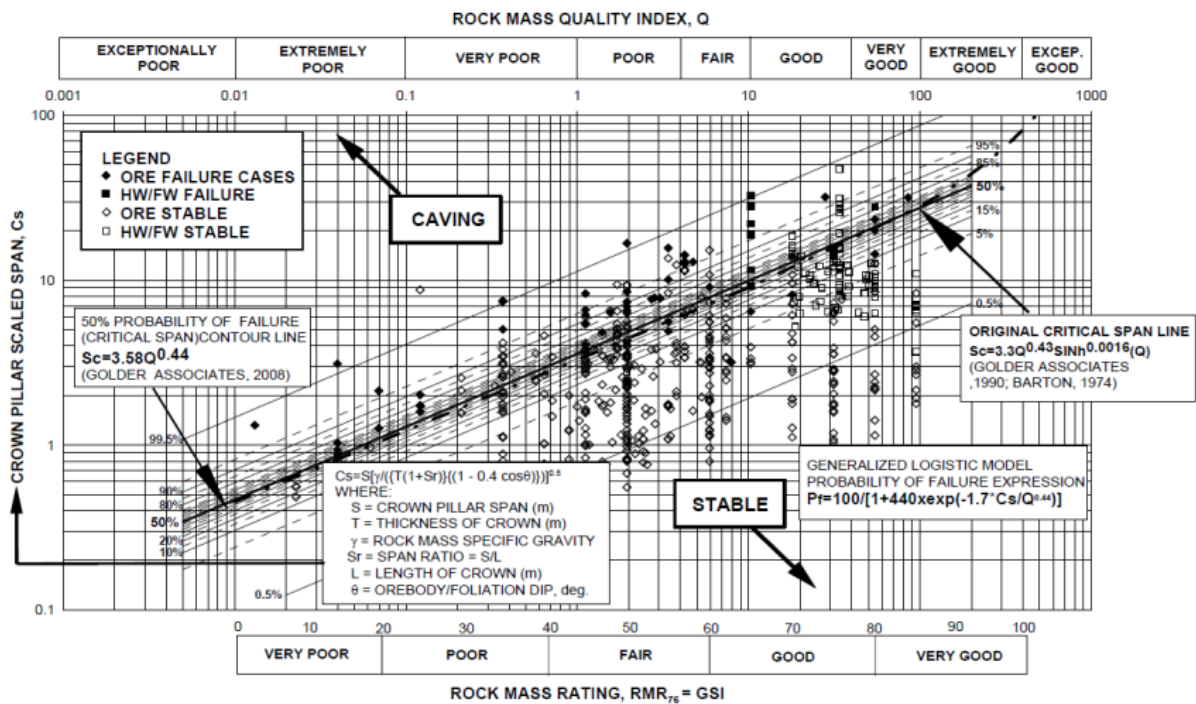


Figura 21. Gráfico del Span escalado vs rock Quality (Q) incluyendo intervalos de probabilidad de falla (Carter T. A., 2014)

De la experiencia adquirida, se generó un conjunto de guías para la exposición de personal en base al riesgo de colapso que presenta la excavación. Estas guías se resumen en la Tabla 8 donde se define la Clasificación de los intervalos de probabilidad de falla entre A, B y hasta G representados por las ecuaciones en función del Q de Barton que se muestran en la columna 4.

Tabla 8. Categorías de estabilidad, consecuencias y actuaciones según resultados del análisis por ancho escalado (traducido y modificado de Carter, 2014)

Clase	Probabilidad de Falla [%]	Mínimo FS	Máximo Span Escalado	ESR (Barton et al. 1974)	Guías de diseño para la aceptabilidad/durabilidad del crown pillar				
					Expectación	Años	Acceso de personal	Posición de cierre	Supervisión operativa requerida
A	50-100	<1	11.31 $Q^{0.44}$	>5	Cero en términos efectivos	<0.5	Prohibido	Totalmente inaceptable	No es efectivo
B	20-50	1	3.58 $Q^{0.44}$	3	Muy corto plazo -solo para propósitos mineros temporales	1	Prohibido	No aceptable	Monitorización continua sofisticada
C	10-20	1.2	2.74 $Q^{0.44}$	1.6	Muy corto plazo - pilares corona casi temporales – riesgo no deseable en trabajos temporales de ingeniería civil	2-5	Activamente preventivo	Muy preocupante	Monitorización continua con instrumentos
D	5-10	1.5	2.33 $Q^{0.44}$	1.4	Corto plazo - coronas semi temporales, por ejemplo debajo de infraestructuras mineras poco sensibles	5-10	Preventivo	Preocupante	Monitorización continua simple
E	1.5-5	1.8	1.84 $Q^{0.44}$	1.3	Medio plazo – coronas semi permanentes posibilidad bajo infraestructuras	15-20	Disuadido	Algo preocupante	Monitorización superficial
F	0.5-1.5	2	1.12 $Q^{0.44}$	1	Largo plazo- coronas casi permanentes – portales de obra civil	50-100	Permitido	Preocupación limitada	Monitorización superficial ocasional
G	<0.5	>>>2	0.69 $Q^{0.44}$	0.8	Muy largo plazo – coronas permanentes sobre túneles civiles	>100	Libre	No hay preocupación	No se requiere monitorización

3. Metodología

A continuación, se presenta el procedimiento utilizado en este estudio. Primero, se definen criterios para buscar proyectos que podrían ser analizados. Estos corresponden a todos aquellos proyectos que cumplen los siguientes requisitos:

- (1) están en las regiones de Arica y Parinacota, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, debido a que estas son las zonas que cuentan con mayor actividad minera en Chile,
- (2) tienen al menos un sector en que se utilice el método de Sublevel Stopping, por lo que contará con pilares, losas y caserones,
- (3) la producción es mayor a 5,000 tpm, es decir, para sectores de la mediana y gran minería,
- (4) los proyectos deben tener resoluciones aprobadas entre el 2014 y junio de 2022. En 2014 - 2015 comienza la digitalización del sistema de revisión de proyectos de Sernageomin.

Esto reduce la muestra a un total de 17 proyectos. Considerando que uno de proyectos fue presentado como un proyecto múltiple que involucra tres instalaciones, se tiene un total de 19 proyectos para el análisis del presente estudio. Es importante destacar que existen otros proyectos que encuentran actualmente en las etapas anteriores a la resolución, ya sea de ingreso del proyecto o de observaciones, y que a pesar de que podrían servir para este trabajo no serán considerados.

Para recopilar la información se accede al sistema Aura Portal y a la base de datos interna del Sernageomin. Toda la documentación se revisa en detalle, seleccionando para este estudio aquella relacionada con información geológica, geotécnica, dimensiones del proyecto, análisis de estabilidad y resoluciones.

Luego, a partir de la revisión bibliográfica presentada anteriormente se definen criterios de uso de herramientas empíricas en las siguientes cuatro categorías: Justificación de los parámetros de entrada, Selección de la herramienta empírica, Uso de la metodología e Interpretación de resultados. Se definen así puntajes de acuerdo con la Tabla 9. Respecto a los datos de entrada, se evalúan también cuatro categorías: Ensayos de laboratorio, Mapeo en terreno, Mediciones de esfuerzos e Información de sondajes y calicatas. Se definen así puntajes de acuerdo con la Tabla 10. Ambas rúbricas se utilizan para evaluar tanto la calidad de los datos de entrada disponibles y el uso de metodologías empíricas usadas para evaluar caserones, pilares y losas. En la sección de resultados se presentará la evaluación de cada proyecto según los criterios aquí presentados.

Como resultado de la evaluación, se presentará el puntaje total asignado al uso de cada herramienta empírica. Si se consideran las Tabla 9 y Tabla 10, se tiene que el puntaje puede ir entre 0 y 12, por lo que se considera que el uso de la herramienta es Malo si el puntaje suma entre 0 y 4, Regular entre 5 y 7, Bueno entre 8 y 10 y Muy bueno si es 11 o 12. Las mismas categorías aplican a la evaluación que se hará de la calidad de los datos de entrada. A partir de los resultados obtenidos, se podrá hacer un diagnóstico general sobre el uso de herramientas empíricas en proyectos.

Tabla 9: Rúbrica de evaluación de métodos empíricos

	0 puntos	1 punto	2 puntos	3 puntos
Justificación de los parámetros de entrada	No se presentan datos de entrada ni se referencia algún otro informe	Justifica adecuadamente menos de la mitad de los parámetros de entrada	Justifica adecuadamente más de la mitad de los parámetros de entrada	Justifica adecuadamente todos los parámetros de entrada
Selección de la herramienta empírica	Ausencia de metodología empírica	Se aplica una metodología, pero no entrega mayores antecedentes. O Se usa un método empírico que no se desarrolló para el caso estudiado	Se usa una versión desactualizada del método empírico que más se adapta al caso estudiado	Se usa la última versión del método empírico que más se adapta al caso estudiado
Uso de la metodología	No existe cálculo mediante metodología empírica	Aplica metodología sin indicar de cual se trata y presenta parámetros sin justificación	Aplica metodología de manera correcta, indicándola, pero faltan justificaciones de los parámetros necesarios o existen justificaciones parciales de estos parámetros	Aplica metodología de manera correcta y todos los parámetros necesarios se encuentran justificados apropiadamente
Interpretación de resultados	No respeta resultados, calcula todas las estabilidades independientemente de si cumplen o no	Interpreta resultados, sin embargo, acepta inestabilidades	Interpreta resultados y acepta posibles inestabilidades	Interpreta resultados y acepta solo casos estables

Tabla 10: Rúbrica de evaluación de datos de entrada

	0 puntos	1 punto	2 puntos	3 puntos
Ensayos de laboratorio	Presenta nula o muy poca información y no justifica que tan representativa es del sector de estudio o Usa literatura en sustitución de información de entrada para el proyecto sin justificación	Presenta información de sectores antiguos o cercanos	Presenta ensayos UCS, triaxiales y de tracción de la litología más importante del yacimiento	Presenta ensayos UCS, triaxiales y de tracción por más de una unidad geotécnica del sector de estudio
Mapeo en terreno		Se encuentra mapeo no geotécnico o No hay definición en terreno de unidades geotécnicas	Se reconocen al menos distintas litologías y sectores que podrían tener diferencias en cuanto a su estabilidad o Unidades geotécnicas mal definidas (a partir de pocos datos, varianzas extremadamente altas)	Presenta unidades geotécnicas basadas en datos recogidos en terreno
Mediciones de esfuerzos		Presenta información de la literatura justificando su utilización	Presenta información de otros sectores antiguos o cercanos	Presenta mediciones de esfuerzos realizadas en el sector de estudio
Información de sondajes y calicatas		Presenta información de otros sectores antiguos o cercanos	Presenta información de al menos el sector más importante del yacimiento	Presenta información geotécnica obtenida de sondajes y calicatas del sector de estudio

4. Resultados y análisis de resultados

En este capítulo se revisa el uso de metodologías empíricas de diseño de caserones, pilares y losas en los distintos proyectos presentados en Sernageomin. Se debe mencionar que por ley no es obligación utilizar métodos empíricos, pudiendo usarse métodos numéricos. En algunos casos, se utilizan ambas metodologías. En aquellos casos en que se usan métodos empíricos, se evalúa su uso a partir de la rúbrica propuesta en el capítulo de metodología. En el periodo de estudio se encuentran 19 proyectos en 13 minas distintas, las cuales se mencionarán con letras de la A a la M y se revisan a continuación.

4.1. Calificación de los proyectos

Se presentan a continuación los resultados encontrados por cada proyecto, incluyéndose una revisión de todos los antecedentes relacionados con el uso de métodos empíricos, y también, el diagnóstico correspondiente según las rubricas presentadas en las Tabla 9 y 10. Los resultados numéricos presentados consideran coma para separación de miles y punto para decimales.

4.1.1. Mina A

El Proyecto “*Explotación Subterránea Mina A*”, ubicada en la región de Arica y Parinacota fue ingresado en 2018, proyecta una vida útil de 7 años con una productividad de 32,000 tpm utilizando los métodos de explotación: “Sublevel Stopping” y “Bench and Fill”. Los métodos empíricos se utilizan con condiciones generales y en rangos de dimensiones. En este estudio también se consideran resultados obtenidos a través de modelamiento numérico. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 11 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Se realiza la evaluación de caserones con la metodología actualizada de Mathews propuesta por Mawdesley et al. (2001). Se analizan dos casos más típicos de caserones representativos dentro del plan minero de la mina A: 7 m Ancho, 30 m alto, 50 m largo y 9 m ancho, 30 m alto y 50 m largo a una profundidad de 150 m. No muestra como calcula los factores, el factor A es igual a 1, B es igual a 0.5 y el factor C tiene tres valores distintos dependiendo de las caras: 5.5 en techo, 3.5 en caja yacente y 8.0 en caja pendiente. En los análisis se evalúa la estabilidad de los techos de la zona más desfavorable en términos de calidad de roca, es decir, la zona central de la veta, la cual tiene un rango de Q' entre 5 y 10, concluyendo que para Q' entre 7 y 10 el techo se encuentra estable. Mientras que para $Q'=5$ el techo del caserón se encontraría en una zona estable-transición, evaluando la posibilidad de fortificar cuando sea necesario o de disminuir el radio hidráulico a través de la disminución del largo del caserón.
- b. **Pilares:** Para estimar la resistencia de los pilares se utiliza las metodologías de Lunder y Pakalnis (1997), Obert y Duvall (1967), Krauland y Soder (1987), Hedley and Grant (1972), Von Klmmelmann et al (1984) y Potvin et al (1989), y para estimar los esfuerzos en el pilar

se usa el método del área tributaria. Se presenta una serie de tablas con los resultados tanto para distintas profundidades (50 m, 150 m, 250 m), como para distintos largos entre 10 m y 50 m y anchos de pilar entre 2.5 m y 5 m. De todas estas metodologías, considerando tipo de roca, la metodología de Lunder y Pakalnis es la más apropiada ya que en su formulación se utilizaron rocas resistentes. Sin embargo, Lunder y Pakalnis está recomendado para pilares cuadrados, lo que no es el caso, por lo que sería recomendable recomendar otra metodología. Respecto a la metodología de Overt y Duvall, esta fue desarrollada para minas de carbón, por lo que no es apropiada para este caso. La metodología de Krauland y Soder (1987) fue desarrollada para Room and Pillar, pero el método de explotación en la mina A es Sublevel Stopping y además se estudian pilares entre túneles. Si bien las metodologías originales no consideraban en su mayoría “rib pillars”, en este estudio se utiliza el “ancho efectivo” propuesto por Wagner (1980) para considerar su efecto.

- c. **Losas:** Para evaluar las losas se aplicó la metodología de Carter (2014), aceptándose todo factor de seguridad mínimo de 1.2 y probabilidad de falla entre 10% y 20%. La roca tiene un Q de 5, los resultados indican los siguientes diseños como favorables: Espesor de la losa de 20 m, span entre 5 m y 14 m y longitud del caserón 50 m. Esto entrega factores de seguridad entre 3.4 y 1.3 y probabilidad de falla entre 1.1% y 13.5%, respectivamente.

Tabla 11. Calificación mina A

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	2	Para utilizar las herramientas empíricas se utiliza poca información, pero se tiene más información disponible por cada sector de estudio.	Regular
	Mapeo en terreno	2	Para utilizar las herramientas empíricas se utiliza poca información, pero se tiene más información disponible por cada sector de estudio.	
	Mediciones de esfuerzos	1	Se utiliza como referencia un trabajo previo con información de Chile.	
	Información de sondajes y calicatas	2	Para utilizar las herramientas empíricas se utiliza poca información, pero se tiene más información disponible por cada sector de estudio.	
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	2	Justifica mediante ensayos y sondajes gran cantidad de información, sin embargo, no muestra con que valores calcula los factores A, B y C.	Bueno
	Selección de la herramienta empírica	3	Correcta la selección del método más actualizado	
	Uso de la metodología	3	Aplica bien la metodología	

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
	Interpretación de resultados	2	Hay interpretaciones correctas de los resultados, pero se encuentran en otros informes.	
Metodología de pilares	Justificación de los parámetros de entrada	3	Justifica adecuadamente todos los parámetros de entrada	Muy Bueno
	Selección de la herramienta empírica	3	Utiliza distintas metodologías para complementar sus resultados.	
	Uso de la metodología	3	Aplica correctamente las metodologías	
	Interpretación de resultados	2	Algunas de las metodologías utilizadas no son correctas para el caso en estudio.	
Metodología de losas	Justificación de los parámetros de entrada	3	Justifica adecuadamente todos los parámetros de entrada	Muy Bueno
	Selección de la herramienta empírica	3	Correcta la selección del método más actualizado	
	Uso de la metodología	3	Aplica metodología de manera correcta.	
	Interpretación de resultados	3	Interpreta resultados y acepta solo casos estables	

4.1.2. Mina B

El “*Proyecto mina subterránea mina B*”, ubicado en la región de Antofagasta, fue ingresado en 2013, proyecta una vida útil de 6 años con una productividad de 66,000 tpm utilizando el método de explotación: Sublevel Stopping. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 12 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Se aplica la metodología de Mathews sin especificar la versión o variante. Además, no se presenta la memoria de cálculo. Se presenta un gráfico de generación propia basado en la metodología de Mathews, lo cual dificulta la interpretación de los resultados y su comparación con la metodología original. Se consideran caserones de ancho de 20 m, y se evalúa la estabilidad de las paredes “longitudinales” y “transversales” para alturas de caserón de 20, 30, 40, 50 y 60 m. Para paredes longitudinales de más de 30 m se interpreta sobreexcavación de 15% a 20% pero no se explica el motivo por el cual se llega a esta conclusión. Lo mismo para paredes transversales de 20 m de ancho, en donde se usa sobreexcavación menor a 10%. Se aplica también la metodología de Laubscher para calcular el radio hidráulico máximo del caserón, resultando en un techo de 60 m de largo y 17 m de ancho. Esta metodología no es apropiada para el diseño de caserones debido a que esta fue creada bajo otras condiciones, las que consideran el hundimiento del techo.
- b. **Pilares:** Se evalúa la estabilidad de los pilares mediante el uso del factor de seguridad estimado con la resistencia del pilar usando la “*fórmula de Laubscher*” y los esfuerzos que actúan sobre el mismo, calculados mediante modelamiento numérico. Los pilares de ancho 20 m, largo 60 m, alto 45 m; pilares de ancho 15 m, largo 35 m, alto 30 m y pilares de ancho 10 m, largo 20 m, alto 20 m tienen un F.S 1.3.

- c. **Losas:** No se presenta metodología empírica para el diseño de losas. Se analiza la estabilidad de los pilares remanentes entre caserones explotados mediante la metodología de Laubscher, lo cual no es apropiado debido al contexto bajo el cual se creó tal metodología. Se utiliza modelamiento numérico para estudiar la estabilidad de las losas. Se modela una losa estable de 40 m entre la mina subterránea y el rajo que está encima.

Tabla 12. Calificación mina B. No aplica metodología empírica de losas

Ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	0	No presenta ensayos de laboratorio	Malo
	Mapeo en terreno	2	Hay 12 celdas de mapeo y se definen 3 unidades geotécnicas (techo, manto mineralizado y piso). No presenta la variabilidad de la muestra.	
	Mediciones de esfuerzos	0	No hay	
	Información de sondajes y calicatas	1	Se menciona que se hicieron 6 sondajes, pero no se entregan detalles de estos.	
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	0	No entrega información sobre los parámetros de diseño que se aplican en las metodologías utilizadas.	Malo
	Selección de la herramienta empírica	1	Utiliza dos metodologías, la de Mathews no especifica la versión y sus gráficas no son claras y la de Laubscher, que no es apropiada para caserones.	
	Uso de la metodología	0	No se respalda con cálculos.	
	Interpretación de resultados	2	Según las gráficas de estabilidad, algunos caserones quedan en zona de transición. Se interpreta sobre la sobreexcavación que no se definen en la metodología.	
Metodología de pilares	Justificación de los parámetros de entrada	1	No justifica el uso de los parámetros ni entrega los valores de todos	Malo
	Selección de la herramienta empírica	1	Aplica metodología sin entregar mayores antecedentes	
	Uso de la metodología	1	Presenta parámetros sin justificación	
	Interpretación de resultados	1	Diseña con FS= 1.3, el cual puede ser bajo para el nivel de información.	

4.1.3. Mina C – Sector C1

El Proyecto “*Actualización Proyecto de Explotación Mina C*”, ubicado en la Región de Atacama fue ingresado en 2016, proyecta una vida útil de 5 años con una productividad de 153,000 tpm, incluye los sectores “C1”, “C2” y “C3”, los que serán evaluados de manera individual ya que fueron diseñados de manera diferente. El Sector C1 utiliza el método de explotación: Sublevel Stopping variante Long Blasting Hole. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 13 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Se aplica la metodología de Laubscher para estudiar la estabilidad del techo de los caserones. Al presentar los datos, no muestra memoria de cálculo. Se construye una matriz de riesgo en función del radio hidráulico tanto de los caserones como de aquellos caserones formados en conjunto. Luego, a cada valor se le asocia una predicción de estabilidad. No se respalda esta metodología con ninguna bibliografía. No se definen las dimensiones de los caserones, sólo su radio hidráulico.
- b. **Pilares:** No aplica metodología empírica de diseño de pilares, pese a mencionarse que existen pilares. Hay pilares “estructurales” que definen la interacción entre distintas áreas de la mina, se mencionan 4 pilares “estructurales”. Dos de ellos se encuentran emplazados en Brecha Magnetita (UCS 173 Mpa), ambos tienen un ancho de 15 m y alturas de 55 y 95 m. Los otros dos pilares están emplazados en Metandesita de Biotita (UCS 178) y Brecha Magnetita (UCS 173 Mpa), ambos tienen un ancho de 25 m y alturas de 55 m y 95 m.
- c. **Losas:** No aplica metodología empírica de diseño de losas.

Tabla 13. Calificación Mina C – Sector C1. No aplica metodología empírica de pilares ni de losas

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	1	Se desconoce las fechas de los ensayos y la ubicación de las muestras, no hay respaldo.	Regular
	Mapeo en terreno	2	Hay un estudio conceptual que incluye caracterización geológica y geotécnica proyectada. Se identificaron áreas de interés geotécnico que podrían tener un impacto en los planes mineros. No se respalda esta información.	
	Mediciones de esfuerzos	2	Realiza mediciones de esfuerzo en otro sector de la mina mediante metodología CSIRO Hollow Inclusion.	
	Información de sondajes y calicatas	0	Hace referencia a sondajes realizados en 1990. No existen respaldos de sondajes.	
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	0	No presenta los parámetros de entrada	Malo

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
	Selección de la herramienta empírica	0	La metodología no es la indicada para estudiar estabilidad de caserones.	
	Uso de la metodología	0	No realiza los cálculos para llegar al resultado	
	Interpretación de resultados	0	Llega a resultados imprecisos al escoger una metodología no apropiada.	

4.1.4. Mina C – Sector C2

El Proyecto “*Actualización Proyecto de Explotación Mina C*”, incluye los sectores “C1”, “C2” y “C3”, los que serán evaluados de manera individual ya que fueron diseñados de manera diferente. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 14 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Se aplica la metodología de Laubscher para estudiar la estabilidad de los techos. Se construye una matriz de riesgo en función del radio hidráulico de los caserones, asociando a cada caso una predicción de estabilidad. No se respalda esta metodología con ninguna bibliografía. Para la estabilidad del techo del caserón, se aplica la metodología de Laubscher, la cual no fue desarrollada para evaluar la estabilidad de un caserón. No presenta dimensiones de caserón, sólo el radio hidráulico del techo que varía entre 6.25 m hasta 18.05 m.
- b. **Pilares:** No aplica metodología empírica de diseño de pilares.
- c. **Losas:** No aplica metodología empírica de diseño de losas.

Tabla 14. Calificación Mina C – Sector C2. No aplica metodología empírica de pilares ni de losas

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos ¹	Ensayos de laboratorio	1	Se desconoce las fechas de los ensayos y la ubicación de las muestras, además no se presenta respaldo.	Regular
	Mapeo en terreno	2	Hay un estudio conceptual que incluye caracterización geológica y geotécnica proyectada. Se identificaron áreas de interés geotécnico que podrían tener un impacto en los planes mineros. No muestra respaldo de esta información.	
	Mediciones de esfuerzos	2	Realiza mediciones de esfuerzo en otro sector de la mina mediante metodología CSIRO Hollow Inclusion.	

¹ La calidad de los datos de C2 es la misma que la utilizada en Sector C1 y que se presenta en la Tabla 13.

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
	Información de sondajes y calicatas	0	Hace referencia a sondajes realizados en 1990. No existen respaldos de sondajes.	
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	0	No presenta los parámetros de entrada	Malo
	Selección de la herramienta empírica	0	La metodología no es la indicada para estudiar estabilidad de caserones.	
	Uso de la metodología	0	No realiza los cálculos para llegar al resultado	
	Interpretación de resultados	0	Llega a resultados imprecisos al escoger una metodología no apropiada.	

4.1.5. Mina C – Sector C3

El Proyecto “*Actualización Proyecto de Explotación Mina C*”, incluye los sectores “C1”, “C2” y “C3”, los que serán evaluados de manera individual ya que fueron diseñados de manera diferente. En este proyecto, se estima la estabilidad de la mina mediante modelos numéricos y no se aplica ninguna metodología empírica en el diseño de caserones, ni pilares ni losas. Sin embargo, se revisa la calidad de los datos en la Tabla 15.

Tabla 15. Calificación Mina C – Sector C3. No aplica metodología empírica de caserones, ni de pilares ni de losas

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	1	Existen ensayos, pero no se muestran referencias ni respaldos.	Regular
	Mapeo en terreno	2	Se ha realizado mapeo lito estructural de galerías, pero no se presentan respaldos. Esta información se usa junto a un modelo de RQD para construir un modelo estructural.	
	Mediciones de esfuerzos	2	Realiza mediciones en otros sectores ya explotados mediante la metodología CSIRO Hollow Inclusion	
	Información de sondajes y calicatas	0	No entrega información.	

4.1.6. Mina C

El Proyecto “*Actualización Del Método De Explotación Subterránea, Sublevel Open Stopping*”, ubicado en la Región de Atacama fue ingresado en 2020, proyecta una vida útil de 7 años con una productividad de 153,000 tpm utilizando los métodos de explotación: Sublevel Stopping Open Stopping. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 16 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Se estima la estabilidad por medio de back análisis usando la metodología actualizada de Mathews propuesta por Mawdesley et al. (2001) y usando la metodología de estimación de ELOS con la sobre-excavación de los caserones previamente. Las dimensiones de los caserones están en los siguientes rangos 55 m a 85 m de largo, 19 m a 76 m de ancho y 46 m a 76 m de alto.
- b. **Pilares:** Para el periodo 2021 al 2023 el análisis se hace a través de métodos numéricos, para el periodo 2024 al 2029 se usa la metodología de Lunder y Pakalnis (1997), pero no se proporcionan detalles sobre cómo se aplica en concreto. Se califican como estables aquellos pilares con factor de seguridad mayor a 1.4. Se analizan 37 pilares. Todos los pilares se encuentran en el rango entre 10 m a 44 m de ancho y 10 m a 58 m de alto.
- c. **Losas:** Se menciona que se usa la metodología de Carter (1992), pero no se explica ni como se usa ni se presentan sus datos de entrada. La distancia mínima entre el techo de un caserón a superficie es 70 m en el sector C4, 400 m en el sector C5 y 100 m en el sector C6.

Tabla 16. Calificación Mina C

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	3	Se realizan ensayos a 5 UG.	Bueno
	Mapeo en terreno	3	Define 10 unidades geotécnicas, con sus respectivos parámetros.	
	Mediciones de esfuerzos	3	Over Coring y estimaciones por modelos numéricos	
	Información de sondajes y calicatas	0	No entrega información sobre sondajes	
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	1	No justifica los parámetros utilizados en la metodología	Bueno
	Selección de la herramienta empírica	3	Correcta la selección del método más actualizado	
	Uso de la metodología	2	Aplica metodología y la refuerza con Back Análisis, pero se castiga por falta de justificación de parámetros	
	Interpretación de resultados	2	Acepta algunos caserones con ELOS mayor a 4m.	
Metodología de pilares	Justificación de los parámetros de entrada	0	No profundiza en el desarrollo de la metodología	Bueno
	Selección de la herramienta empírica	3	Complementa Lunder y Pakalnis con modelamiento numérico	
	Uso de la metodología	2	Falta justificación de los parámetros utilizados	
	Interpretación de resultados	3	Acepta pilares con FS > 1.4 con un criterio de aceptabilidad acorde a la metodología.	
Metodología de losas	Justificación de los parámetros de entrada	0	No desarrolla la metodología en el informe	Regular
	Selección de la herramienta empírica	2	Carter 1992 es una versión desactualizada.	

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
	Uso de la metodología	0	No desarrolla la metodología en el informe	
	Interpretación de resultados	3	Acepta losas con FS> 1.4 con un criterio de aceptabilidad acorde a la metodología.	

4.1.7. Mina D

El Proyecto “Actualización Método de Explotación Mina D”, ubicado en la Región de Atacama fue ingresado en 2017, proyecta una vida útil de 5 años con una productividad de 120,000 tpm utilizando los métodos de explotación: Sublevel Stopping variante Long Blasting Hole. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 17 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Se determina la estabilidad de los techos mediante la metodología de Laubscher. Con base en sus resultados, se presenta una matriz de riesgo construida a partir de información de estabilidad y otras condiciones de riesgo, en donde el nivel de impacto va de menor a mayor, y la probabilidad de ocurrencia va desde casi seguro a improbable. Bajo esta matriz, se obtiene una gran cantidad de caserones en la zona de riesgo intolerable en un sector de la mina. Se estima que se desarrollarán caserones con largos entre 25 m y 85 m, anchos desde 15 m a 45 m y alturas de 25 m a 75 m aproximadamente, en función de la geometría del cuerpo mineralizado. Se evidencia la presencia de fallas a través de las unidades de explotación en un sector. Según los modelos, estas discontinuidades conectarían con depósitos aluviales pudiendo actuar como canalizadores de agua hacia los caserones. El proyecto se desarrolla en macizo rocoso de calidad geotécnica regular a buena, según el índice de calidad RMR_{B89} , con valores entre 50 y 80. También, hay áreas de baja calidad geotécnica asociadas a fallas, las cuales presentan valores de RMR_{89} entre 35 y 50 puntos.
- b. **Pilares:** No aplica metodología empírica de diseño de pilares.
- c. **Losas:** No aplica metodología empírica de diseño de losas.

Tabla 17. Calificación Mina D. No aplica metodología empírica de pilares ni de losas

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	3	Hay ensayos en 6 UG	Muy Bueno
	Mapeo en terreno	3	Identifica 6 UG y define sus características	
	Mediciones de esfuerzos	3	Usa CSIRO Hollow Inclusion	
	Información de sondajes y calicatas	2	No muestra evidencia de sondajes realizados	
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	0	No muestra los parámetros de entrada	Malo
	Selección de la herramienta empírica	0	La metodología de Laubscher no es apropiada para estabilidad de caserones	

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
	Uso de la metodología	2	Se ve bien aplicada según los gráficos, pero no se presenta memoria de cálculo	
	Interpretación de resultados	2	La estrategia de extracción incluye caserones que contemplan riesgo intolerable. Identifica alertas geotécnicas.	

4.1.8. Mina E

El Proyecto “*Optimización Operacional Mina E Subterránea*”, ubicado en la Región de Atacama fue ingresado en 2018, proyecta una vida útil hasta el año 2020 con una productividad de 420,000 tpm utilizando el método de explotación Sub-Level Stopping. Los métodos empíricos se utilizan para determinar estabilidad según las dimensiones entregadas por el diseño minero. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 18 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- Caserones:** Se aplica la metodología actualizada de Mathews propuesta por Mawdesley et al. (2001) para las paredes, presentando los resultados en gráficos que muestran isoprobabilidad de falla mayor (Figura 15). Por otro lado, se aplica el gráfico de Laubscher (1990) para la estabilidad de los techos. De las 33 paredes analizadas, 27 tienen <5% de probabilidad de falla, una entre 5 y 10 %, dos entre 10 y 20%, dos entre 30 y 40%, y uno entre 35 y 45%. De los 17 techos analizados, solo ocho están en la zona de estabilidad, indicando que algunos techos podrían ser sensibles a sobreexcavación. Cabe destacar que la metodología de Laubscher en ningún caso indica sobreexcavación. Para ningún caso se entrega memoria de cálculo. Las dimensiones de los caserones, en general, varían entre 20 y 50 m de ancho, 25 a 90 m de longitud y 25 a 60 m de altura.
- Pilares:** Se aplica la metodología de Lunder y Pakalnis (1997). Presenta los resultados en una tabla con información completa de los parámetros utilizados y los resultados obtenidos. La altura de los pilares varía entre 26 m y 35 m, el ancho varía entre 14 m y 22 m. Se diseña con UCS de 162 MPa. Los resultados arrojan factores de seguridad entre 1.23 y 1.46.
- Losas:** No aplica metodología empírica de diseño de losas.

Tabla 18. Calificación Mina E. No aplica metodología empírica de losas

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	3	Hay ensayos de 11 UG.	Muy Bueno
	Mapeo en terreno	3	Se caracterizan 11 UG.	
	Mediciones de esfuerzos	3	Hay 15 mediciones en 5 sitios de interés.	
	Información de sondajes y calicatas	2	Presenta información de sondajes, pero no se presenta el respaldo de estos.	

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	0	No se presentan datos de entrada ni se referencia algún otro informe	Regular
	Selección de la herramienta empírica	2	Aplica la metodología de Mathews, y no debería considerar la de Laubscher.	
	Uso de la metodología	2	Correcta aplicación de la metodología, pero muestra memoria de cálculo.	
	Interpretación de resultados	1	Se interpretan resultados con gráficos que no fueron propuestos para eso	
Metodología de pilares	Justificación de los parámetros de entrada	2	No explica cómo ni por que escogieron tales parámetros.	Bueno
	Selección de la herramienta empírica	2	No menciona la versión de la metodología. No se menciona cual es el largo de los pilares, L&P es para pilares cuadrados.	
	Uso de la metodología	2	Presenta tablas con los valores calculados. Falta memoria de cálculo.	
	Interpretación de resultados	2	Se justifica con un FS menor al propuesto por el autor en algunos pilares.	

4.1.9. Mina F

El Proyecto “Aumento Ritmo de Extracción Mina F”, ubicado en la región de Atacama fue ingresado en 2018, con una productividad de 180,000 tpm utilizando el método de explotación SubLevel Stopping. Los métodos empíricos se utilizan para determinar estabilidad según las dimensiones entregadas por el diseño minero. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 19 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** No utiliza metodología empírica para diseñar caserones.
- b. **Pilares:** Para el análisis de estabilidad de pilares entre caserones se utiliza la metodología de Bieniawski (1984). No justifica el uso de los parámetros. Se aplica la metodología de Lunder y Pakalnis (1997) para analizar “Stub Pillars”. Los resultados se presentan en forma gráfica, sin memoria de cálculo que los respalde. Los resultados presentados en forma gráfica caen fuera del área donde se aplica la metodología, en el gráfico original el máximo w/h es 3. Al solo presentar los gráficos es imposible detectar donde podrían estar los errores en el uso de la metodología. Los factores de seguridad van entre 1.2 y 2.25, el informe define como estable a corto plazo todo pilar con factor de seguridad mayor que 1.0 y estable a largo plazo si factor de seguridad es mayor que 1.2, según la metodología de Lunder y Pakalnis, pilares estables son aquellos con factor de seguridad mayor que 1.4.

- c. **Losas:** Aplica la metodología de Carter (1992). En el informe aparece toda la información necesaria para desarrollar la metodología. El espesor de la losa va entre 11 m y 25 m, los factores de seguridad van entre 1.0 y 2.8.

Tabla 19. Calificación Mina F. No aplica metodología empírica de caserones

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	2	Existe un informe con valores obtenidos de ensayos, pero no existe un informe de los ensayos como tal.	Regular
	Mapeo en terreno	3	No se encontró de manera explícita un mapeo, pero se identifican unidades litológicas.	
	Mediciones de esfuerzos	2	Realiza medición de esfuerzos, no adjunta evidencia que lo compruebe, por lo que se resta 1 punto.	
	Información de sondajes y calicatas	0	No muestra los sondajes realizados, pero presenta información geotécnica de ensayos.	
Metodología de pilares	Justificación de los parámetros de entrada	0	No queda claro, presentan información, pero no es consistente con los resultados	Regular
	Selección de la herramienta empírica	3	Presenta metodología de Bieniawski para pilares entre caserones y Lunder y Pakalnis para “Stub Pillars”	
	Uso de la metodología	2	No hay memoria de cálculo	
	Interpretación de resultados	1	Señala como estables pilares con F.S. menor al recomendado por el autor de la metodología.	
Metodología de losas	Justificación de los parámetros de entrada	2	Falta justificación sobre la orientación de las discontinuidades del sector analizado	Bueno
	Selección de la herramienta empírica	2	La metodología de Carter tiene versiones más recientes (2014)	
	Uso de la metodología	3	Aplica correctamente la metodología	
	Interpretación de resultados	1	Señala como estables pilares con F.S. menor al recomendado por el autor de la metodología.	

4.1.10. Mina G – Sector G1

El Proyecto “Unificación Método de Explotación Mina G”, ubicado en la región de Coquimbo fue ingresado en 2015, proyecta una vida útil de 5 años con una productividad de 35,000 tpm utilizando los métodos de explotación de Room and Pillar y Sub Level Stopping. Los métodos empíricos se

utilizan con condiciones generales y en rangos de dimensiones, en particular, los anchos están restringidos por las vetas. Destaca que los informes presentados en segunda instancia por la empresa que opera G, contienen información solamente de dos sectores de un total de cuatro. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 20 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Aplica la metodología de Mathews según la actualización de Nickson (1992) y la propuesta por Mawdesley et al. (2001). No se muestra el cálculo de los parámetros A, B y C, y se utilizan estos valores indistintamente para las metodologías de Nickson y Mawdesley. El Q' se calcula a partir del GSI mediante una relación empírica, y la longitud de los caserones entre 40 m y 60 m.
- b. **Pilares:** Se aplican las metodologías de Lunder y Pakalnis (1997) y de Hoek & Brown (2002). Se presentan los parámetros utilizados, resultados obtenidos, y los factores de seguridad. Lo que no es claro, es que se menciona que los caserones tendrán hasta 60 m de largo, por lo que quedan dudas sobre si las metodologías usadas son las apropiadas para pilares diseñados con entre 8 y 24 m de ancho debido a que no se mencionan largos máximos de los pilares. Pese a que el autor indica que su criterio de aceptabilidad es un F.S. mayor que 1.4, en las gráficas de Lunder y Pakalnis hay factores de seguridad entre 1.2 y 1.4. y al diseñar con Hoek y Brown obtiene F.S. de 1.4.
- c. **Losas:** Se aplica la metodología de Carter (1995). También se presentan los resultados según el método de Lunder y Pakalnis (1997), lo cual no es correcto. Se diseñan losas entre 8 m y 17 m de espesor, con factores de seguridad entre 1.4 y 2.5. Uno de los sectores se diseña con Q de Barton 25 y el otro con 22.

Tabla 20. Calificación Mina G – Sector G1

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	3	Presenta un informe con información y respaldos	Bueno
	Mapeo en terreno	3	Realiza mapeo con evidencias y respaldo	
	Mediciones de esfuerzos	1	Aplica Sheorey y explica su utilización	
	Información de sondajes y calicatas	3	Realiza sondajes y los ensaya	
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	1	No justifica los parámetros presentados	Bueno
	Selección de la herramienta empírica	3	Complementa Nickson (1992) y Mawdesley et al. (2001)	
	Uso de la metodología	2	Evalúa caserones siguiendo la metodología, pero no hay justificación de parámetros	
	Interpretación de resultados	3	Sólo diseña caserones en zona estable	
Metodología de pilares	Justificación de los parámetros de entrada	1	Hay algunos parámetros no justificados	Regular

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
	Selección de la herramienta empírica	3	Hoek y Brown y Lunder & Pakalnis	
	Uso de la metodología	1	No se entienden los pasos intermedios	
	Interpretación de resultados	2	En el gráfico de Lunder & Pakalnis presenta algunos pilares con F.S.< 1.4	
Metodología de losas	Justificación de los parámetros de entrada	2	Calcula Q' a partir de una relación empírica a partir del GSI	Bueno
	Selección de la herramienta empírica	2	Selecciona la metodología de Carter, pero existe una más reciente (2014)	
	Uso de la metodología	3	Aplica la metodología correctamente	
	Interpretación de resultados	3	Usa factores de seguridad acorde a lo sugerido por el autor.	

4.1.11. Mina G – Sector G2

El Proyecto “*mina subterránea G, Sector G2*”, ubicado en la región de Coquimbo fue ingresado en 2014, proyecta una vida útil de 9 años con una productividad de 50,000 tpm utilizando los métodos de explotación: Sublevel Stopping tipo Bench Stopping. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 21 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Se aplica la metodología de Nickson (1992). El radio hidráulico se determina entre 6 m (largo de caserón 60 a 70 m) y 7 m (largo de 50 m) considerando zonas sin soporte y zonas de transición sin soportes (estas zonas se encuentran definidas en Nickson, 1992). Se presentan los valores de los factores A, B y C en una tabla, pero no se explica el procedimiento usado para su cálculo. Se presenta el cálculo en detalle de Q'. La altura de los caserones va entre 16 m y 20 m.
- b. **Pilares:** No aplica metodología empírica de diseño de pilares.
- c. **Losas:** No aplica metodología empírica de diseño de losas.

Tabla 21. Calificación Mina G – Sector G2. No aplica metodología empírica de pilares ni de losas

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	0	Se muestran solo los resultados, sin evidencia ni indicación de su origen ni fecha.	Malo
	Mapeo en terreno	1	Hay mapeos no geotécnicos, no se encuentra evidencia de mapeo geotécnico dentro de los informes	
	Mediciones de esfuerzos	0	No hay	
	Información de sondajes y calicatas	0	No hay	

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	2	Falta la justificación de A, B y C. Si justifica Q	Regular
	Selección de la herramienta empírica	3	Nickson es una de las metodologías más actualizadas	
	Uso de la metodología	2	Falta el desarrollo de la metodología	
	Interpretación de resultados	0	Considera aceptable estabilidad dentro de la zona de transición	

4.1.12. Mina H – Sector H1

El Proyecto “*Método de explotación Mina H*”, ubicado en la Región de Coquimbo fue ingresado en 2015, proyecta una vida útil de 2 años con una productividad de 90,000 tpm utilizando los métodos de explotación: Sublevel Stopping Long Blast Hole. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 22 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Aplica Metodología de Laubscher y la metodología actualizada de Mathews propuesta por Mawdesley et al. (2001). La primera no fue desarrollada para estimar estabilidad en caserones. En la segunda metodología, se consideran tres unidades geotécnicas para diseñar el caserón: UG1, UG2 y UG3. Los factores A, B y C se mencionan por cara de caserón para todas las unidades, que si bien están desglosados para cada mina no se justifican. Se calcula estabilidad para un caserón tipo de 40 m de alto, 40 m de ancho y 30 m de largo, y los radios hidráulicos van entre 8.6 y 13 m. El resultado de la evaluación indica que los techos están en zona de falla y las otras paredes en zona estable. Luego, se indica como criterio de estabilidad que si ingresa personal se acepta una probabilidad de falla de 0%, pero que si ingresan equipos autónomos manejados remotamente se acepta una probabilidad de falla del 20%. Luego, se calculan que las probabilidades de fallamiento mayor fluctúan entre: 0 a 20%, la falla menor entre 0 a 65%, y la estabilidad entre 20 a 100%, siendo los techos los más críticos en cuanto a resultados desfavorables. En el análisis se incluyen caserones más grandes que los que son estables, lo que resulta confuso.
- b. **Pilares:** Evalúa 9 pilares, mostrando todos los datos necesarios requeridos por metodologías empíricas. Calcula la resistencia del pilar por medio de Obert y Duball (1967), metodología desarrollada para minas de carbón, a pesar de que se menciona que se utilizará Lunder y Pakalnis (1997) lo cual no se desarrolla en el proyecto. Considera un factor de seguridad mayor a 1.2. Evalúa tres anchos de caserones que resultan en distintos anchos de pilares: 5 m (ancho pilar 2.5 a 8 m), 10 m (ancho pilar obtenido ente 5 y 17 m) y 20 m (ancho pilar obtenido entre 10 y 30 m).
- c. **Losas:** Aplica la metodología de Carter (1996). Entrega información respecto a Q y evalúa las losas para Q=4 y Q=15, considerando distintos tamaños de caserón con un lado entre 5 m a 20 m y el otro entre 20 m a 70 m. Se considera un factor de seguridad de 1.4 y 1.2, y se presentan gráficos propios con los resultados, por lo que no es posible revisar que metodología se usa. Además, los gráficos utilizados no son los que la metodología de Carter (1996) sugiere.

Tabla 22. Calificación Mina H – Sector H1

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	2	Hay poca información	Bueno
	Mapeo en terreno	3	Hay respaldos de mapeos en terreno.	
	Mediciones de esfuerzos	1	La información de esfuerzos la obtienen de literatura.	
	Información de sondajes y calicatas	2	Se respalda la ubicación original de las muestras.	
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	2	Hay diferentes zonificaciones, sin embargo, A, B y C no están justificados.	Regular
	Selección de la herramienta empírica	3	Correcta la selección del método más actualizado	
	Uso de la metodología	0	Hay un paso a paso, pero las conclusiones no son claras	
	Interpretación de resultados	0	La interpretación es confusa, ya que se encuentran varios resultados que no tienen un significado para la estabilidad.	
Metodología de pilares	Justificación de los parámetros de entrada	3	Hay UCS fundamentados, pero no mediciones de esfuerzos.	Malo
	Selección de la herramienta empírica	0	Usa Obert and Duval, que es para carbón.	
	Uso de la metodología	0	Hay errores conceptuales al combinar metodologías	
	Interpretación de resultados	0	No es posible evaluar este ítem.	
Metodología de losas	Justificación de los parámetros de entrada	3	Se proponen dos Q que son consistentes con la caracterización geotécnica	Bueno
	Selección de la herramienta empírica	2	Correcta la selección del método, pero no es el más actualizado.	
	Uso de la metodología	1	No hay mucho detalle, pues hace gráficos propios.	
	Interpretación de resultados	2	Calcula dos FS, pero no interpreta la estabilidad.	

4.1.13. Mina H – Sector H2

El Proyecto “*Extensión Vida útil Proyecto Método de Explotación Mina H*”, ubicado en la región de Coquimbo fue ingresado en 2019, proyecta una extensión de vida útil de 2 años con una productividad de 3,000 tpm utilizando el método de explotación Sub Level Stopping (SLS), como variante se ocupa Long Blast Hole, tiros paralelos largos y adicionalmente también se realiza sólo perforación ascendente. En la tramitación del proyecto se presentan documentos que fundamentan el uso de métodos empíricos, y son los mismos presentados en el proyecto anterior. Por lo tanto, la clasificación por ítem para este proyecto es igual a la presentada en la Tabla 22.

4.1.14. Mina I

El Proyecto “*Explotación Mina I*”, ubicado en la región de Atacama fue ingresado en 2015, proyecta una vida útil de 10 años con una productividad de 120,000 tpm utilizando el método de explotación Sublevel Stopping. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 23 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Los resultados indican que todas las caras y techos están en zona de falla menor a 20% según el gráfico de estabilidad. Los caserones son de dimensiones 50 m de alto, 50 m de corrida y 15 m de luz máxima. En primera instancia se utilizó la metodología de Laubscher, sin embargo, en una segunda revisión se aplica la metodología actualizada de Mathews propuesta por Mawdesley et al. (2001). Sin indicar memoria de cálculo, se establece que A varía de 0.21 a 0.4, B es 0.3 y C es 6. No se diferencia por paredes, ni techos, se hace el análisis con un solo valor. No se calculan radios hidráulicos según el gráfico de estabilidad. A partir del gráfico de probabilidades de Mawdesley, se muestran varios valores de radios hidráulicos por tipo de roca: para granito se estimó con un N de 9.8 (Q de 18) y RH de 9 m, dando un 10% de probabilidad de falla, subiendo a 20% cuando el RH sube a 10 m. Para dioritas se estimó con un N de 5.5 (Q de 8.7) y RH de 6.3m, dando un 10% de probabilidad de falla. Para las vetas se estimó con un N de 2.6 (Q de 5), y RH de 4.3 m dando un 10% de probabilidad de falla, que sube a 20% cuando el RH sube a 5 m. Se indica para el criterio de estabilidad, que las dimensiones no generen una probabilidad de falla mayor a 10%, lo que no fue recomendado en la publicación original de Mawdesley et al. (2001).
- b. **Pilares:** No aplica metodología empírica de diseño de pilares. Entre los caserones se consideran pilares de 15 a 20 m de ancho.
- c. **Losas:** Aplica metodología de Lunder y Pakalnis lo que corresponde a un error conceptual. Esta metodología no fue diseñada para estas condiciones, por lo que no debería aplicarse. Las losas tienen un espesor de miden 20 m. Se usa resistencia a la compresión uniaxial de 40 MPa, no respaldada. Se considera carga en el pilar de 1.4 MPa, pero no se justifica. Se considera un esfuerzo horizontal de 1.2 MPa y un esfuerzo inducido de 1.1 veces el esfuerzo in situ. Por último, se establece una razón de W/H de 2 en el gráfico de Lunder y Pakalnis, sin presentar una memoria de cálculo.

Tabla 23. Calificación Mina I. No aplica metodología empírica de pilares

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	1	Hay informes de laboratorio de litologías no nombradas. No hay análisis ni interpretación. Posible error en triaxial.	Bueno
	Mapeo en terreno	1	Hay mapeos, pero son 5 y no se sabe si es el total	
	Mediciones de esfuerzos	0	No hay respaldos, y se definen arbitrariamente	
	Información de sondajes y calicatas	1	Se muestran fotos de sondajes. No hay descripción.	

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	1	Hay un análisis con RMR de Laubscher (incorrecto) y se interpola a Q. Hay inconsistencias en selección de valor.	Regular
	Selección de la herramienta empírica	3	Correcta la selección del método más actualizado	
	Uso de la metodología	1	Se hace paso a paso, pero no hay respaldo de parámetros como A, B y C y no hay distinción de caras.	
	Interpretación de resultados	0	Se interpretan resultados usando un criterio de aceptabilidad no recomendado por el autor.	
Metodología de losas	Justificación de los parámetros de entrada	0	Hay parámetros supuestos arbitrariamente.	Malo
	Selección de la herramienta empírica	0	Metodología elegida de manera incorrecta.	
	Uso de la metodología	0	No hay paso a paso.	
	Interpretación de resultados	0	No corresponde la interpretación al no ser correcta la metodología.	

4.1.15. Mina J

El Proyecto “*Explotación Subterránea de Mina J*”, ubicado en la Región de Coquimbo fue ingresado en 2017, proyecta una vida útil de 1 año con una productividad de 50,000 tpm utilizando los métodos de explotación: Sublevel Stopping. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 24 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** La estabilidad se estima por sector. Q’ varía entre 15 a 61.5 Determina el valor de A en 0.6, B en 0.8 y C en 3 y 4.5 diferenciando. Aplica la metodología actualizada de Mathews propuesta por Mawdesley et al. (2001), usando gráfica de probabilidades mostrando 0% de fallas para el peor y mejor caso. Los valores de N obtenidos van entre 32 a 84 y los radios hidráulicos entre 11 a 20 m considerando diferentes análisis para techo y paredes laterales. Los resultados se complementan con un modelo numérico.
- b. **Pilares:** No aplica metodología empírica de diseño de pilares.
- c. **Losas:** No aplica metodología empírica de diseño de losas.

Tabla 24. Calificación Mina J. No aplica metodología empírica de pilares ni de losas

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	3	Hay informes de laboratorios de las unidades definidas.	Bueno
	Mapeo en terreno	3	Hay antecedentes de levantamiento en terreno, y se presentan las unidades geológicas.	

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
	Mediciones de esfuerzos	0	No hay informe que respalde esfuerzos.	
	Información de sondajes y calicatas	2	Hay esquema con localización de sondajes.	
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	2	Hay justificación de los parámetros de entrada, falta detalle en los A, B y C. Los Q no se justifican.	Bueno
	Selección de la herramienta empírica	3	Correcta la selección del método más actualizado	
	Uso de la metodología	3	Utiliza adecuadamente la metodología	
	Interpretación de resultados	1	Si bien se concluye estabilidad, esto se concluye a partir de un gráfico de probabilidad de falla y no del gráfico de estabilidad	

4.1.16. Mina J-extensión

El Proyecto “*Actualización y Extensión de Vida útil Mina J*”, ubicado en la Región de Coquimbo proyecta una vida útil de 3 años con una productividad de 53,000 tpm utilizando los métodos de explotación Sublevel Stopping. En la tramitación del proyecto se considera la misma información que se usó en el proyecto anterior. Por lo tanto, la clasificación por ítem para este proyecto es igual a la presentada en la Tabla 24.

4.1.17. Mina K

El Proyecto “Explotación Subterránea Sistema de Vetas, Mina K” y “modificación de vida útil del proyecto de explotación subterránea 2014 Mina K”, ubicado en la Región de Coquimbo fue ingresado en 2014, proyecta una vida útil de 3 años con una productividad de 15,400 tpm de mineral y 5,700 tpm de estéril utilizando los métodos de explotación: Sublevel Stopping. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 25 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Se utiliza la metodología de Laubscher para determinar la estabilidad del techo del caserón, la cual no fue desarrollada para estimar estabilidad en caserones. El diseño de los caserones se realiza usando RMR entre 46 y 50 y MRMR entre 34 a 41. Considera caserones de alto 48 m, largo 70 m y ancho 8 m. Al usar el gráfico de Laubscher, los resultados muestran que el techo es estable y las paredes laterales se encuentran en zona de transición. Por ello, se propone mejorar la caracterización del macizo rocoso. Los radios hidráulicos son 4 m para el techo y 14 m para las paredes laterales.
- b. **Pilares:** No aplica metodología empírica de diseño de pilares. Se aplica un modelo numérico, en el cual se usa un factor de seguridad mayor o igual a uno como criterio de aceptabilidad. En los resultados se aprecian factores de seguridad muy cercanos a uno.

- c. **Losas:** No aplica metodología empírica de diseño de losas. Sin embargo, se aplica un análisis numérico para las losas sobre caserones, y de acuerdo con los resultados, se obtienen factores de seguridad mayores a 2.

Tabla 25. Calificación Mina K. No aplica metodología empírica de pilares ni de losas

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	0	No hay.	Malo
	Mapeo en terreno	1	Hay mapeos en terreno, pero solo se presentan 3 ejemplos.	
	Mediciones de esfuerzos	0	No hay	
	Información de sondajes y calicatas	0	No hay	
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	0	Solo se nombran, pero no se aplican en la metodología.	Malo
	Selección de la herramienta empírica	0	No, porque el método es incorrecto	
	Uso de la metodología	0	Solo muestra una tabla con resultados finales de un caserón	
	Interpretación de resultados	0	La metodología no aplica.	

4.1.18. Mina L

El Proyecto “*Explotación Subterránea Mina L*”, ubicado en la Región de Coquimbo fue ingresado en 2014, proyecta una vida útil de 4 años con una productividad de 7,050 tpm utilizando los métodos de explotación: Room and Pillar y Sublevel Stopping. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 26 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Se utiliza la metodología de Laubscher para determinar la estabilidad del techo del caserón, la cual no fue desarrollada para estimar estabilidad en caserones. Se reporta con un caserón tipo, con MRMR de 60 y dimensiones de 80 m de alto, 10 m de ancho y 60 m de largo, que se ubica en zona estable. El radio hidráulico del techo es 4 m y el de las paredes es 17 m.
- b. **Pilares:** Se utiliza metodología de Stacey & Page (1986). Se indica que el factor de seguridad aceptable es el factor de seguridad 1.4. No se entrega memoria de cálculos ni resultados de factor de seguridad. Se reporta que los pilares que cumplen el diseño son de 5 x 5 m en las calles cerca de superficie (20 m), luego de 6 x 6 m y finalmente de 4 x 4 m. Considera un ancho de calle de 8 m. Se menciona que la información se respalda con lo observado en terreno, con análisis particulares. No se entrega el valor de diseño de DRMS (variable de caracterización geotécnica). Se desarrolla un modelo numérico con resultados de factor de seguridad mayor a 1.5. Por último, se desarrolla la metodología empírica solamente para el sector Room And Pillar, pero no para el sector con caserones, para el cual se realizó el modelamiento numérico. No hay detalles del modelamiento numérico.
- c. **Losas:** No aplica metodología empírica de diseño de losas.

Tabla 26. Calificación Mina L. No aplica metodología empírica de losas

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	0	No hay	Malo
	Mapeo en terreno	0	Se nombran, no hay respaldos.	
	Mediciones de esfuerzos	0	No hay	
	Información de sondajes y calicatas	0	No hay	
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	0	Si, pero la metodología no es para caserones.	Malo
	Selección de la herramienta empírica	0	No, la metodología no es apta para caserones.	
	Uso de la metodología	0	No, solo entrega resultados.	
	Interpretación de resultados	0	Interpretación indica estable, pero la metodología al ser incorrecta implica una conclusión incorrecta.	
Metodología de pilares	Justificación de los parámetros de entrada	0	Los datos de entrada no son presentados	Malo
	Selección de la herramienta empírica	3	Aplica metodología sólo en el sector Room and Pillar	
	Uso de la metodología	1	No muestra el cálculo del DRMS, esencial para el cálculo de la resistencia del pilar	
	Interpretación de resultados	2	Diseña para obtener $F.S > 1.6$, pero la poca cantidad de información debería llevarlo a diseñar con F.S. mayores que el mínimo aceptable.	

4.1.19. Mina M

El Proyecto “*Explotación Mina M*”, ubicado en la Región de Coquimbo fue ingresado en 2017, proyecta una vida útil hasta el año 2020 con una productividad de 40,000 tpm utilizando el método de explotación Sublevel Stopping. A continuación, se presentan comentarios sobre el uso de los métodos empíricos y en la Tabla 27 la calificación por ítem según lo definido en la metodología:

- a. **Caserones:** Se utiliza la metodología actualizada de Mathews propuesta por Mawdesley et al. (2001). Se consideran caserones en zona de falla en el gráfico de estabilidad, pero no se indica la versión usada. No se presenta memoria de cálculo, y los factores A, B y C son desconocidos. No hay cálculo de Q. También se utiliza la metodología de Laubscher para determinar la estabilidad del techo del caserón, la cual no fue desarrollada para estimar estabilidad en caserones. Como resultado del uso de esta metodología, se encontraron radios hidráulicos de entre 10 y 80 m considerando un MRMR de 50. Los resultados se complementan con un modelo numérico.
- b. **Pilares:** No aplica metodología empírica de diseño de pilares.
- c. **Losas:** Aplica la metodología de Carter (2008), considerando un Q de Barton de 12.5 y un espesor de 24 a 80 m.

Tabla 27. Calificación Mina M. No aplica metodología empírica de pilares

ítem	Descripción	Puntaje	Comentarios	Categoría
Calidad de los datos	Ensayos de laboratorio	3	Si hay, pero no se detalla que resultados representan que unidad geotécnica.	Bueno
	Mapeo en terreno	2	Se menciona, pero no se entrega.	
	Mediciones de esfuerzos	0	Solo supuestos	
	Información de sondajes y calicatas	2	Hay ensayos, pero no se verifica de dónde provienen.	
Metodología de caserones	Justificación de los parámetros de entrada	0	Los parámetros no vienen fundamentados.	Regular
	Selección de la herramienta empírica	3	Mawdesley, 2001	
	Uso de la metodología	2	Hay antecedentes de pasos intermedios, pero no justificados.	
	Interpretación de resultados	1	Caserones se diseñan en zona de falla.	
Metodología de losas	Justificación de los parámetros de entrada	2	Se calcula con un Q mejor que los reportados como datos de entrada.	Bueno
	Selección de la herramienta empírica	3	Correcta la selección del método más actualizado.	
	Uso de la metodología	2	Se presentan los parámetros de la fórmula.	
	Interpretación de resultados	2	Se identifica solamente el espesor que debe cumplir.	

4.2. Resumen y calificación Global de los proyectos

En resumen, hay 18 proyectos que usaron métodos empíricos y 1 que solo usó métodos numéricos. Respecto al diseño de caserones, hay 17 de 19 proyectos que utilizan metodología empírica, en 5 de ellos se aplica sólo metodología de Laubscher, en 5 se aplica sólo alguna variante de la metodología de Mathews y, en 7 proyectos aplican tanto metodología de Laubscher como alguna variante de la metodología de Mathews. La metodología de Laubscher fue diseñada para minas de hundimiento tipo block caving o panel caving, por lo que ese es probablemente un motivo por el que los evaluadores no profundizan en esta metodología cuando es presentada en los informes, para el caso donde se desarrollan ambas metodologías referenciadas. Entre los proyectos que han utilizado variantes de la metodología de Mathews, 8 diseñan los caserones en zona de transición y solo 4 en zona estable. La metodología más ocupada es la metodología de Mawdesley (2000). Respecto al diseño de pilares, hay 9 de 19 proyectos que utilizan metodología empírica. La metodología más utilizada es la de Lunder y Pakalnis en su versión de 1997. Otras metodologías de diseño de pilares también son utilizadas, pero son menos populares. Finalmente, respecto al diseño de losas, hay 8 de 19 proyectos que utilizan metodología empírica. En general se usa la metodología de Carter, sin embargo, sólo en un proyecto se usa la versión más actualizada del 2014, el resto usa alguna versión desactualizada.

Del total de proyectos analizados, algunos no cuentan con antecedentes de respaldo del diseño y otros consideran extensiones del método de explotación, por lo que, en algunos casos, si se dispone de cierta información respecto al sector de estudio. En los casos en que no hay mucha información de entrada, se evalúa la estabilidad de las caserones, pilares y losas en diferentes tamaños, a modo de prototipo con parámetros de entrada únicos (por ejemplo: Q' arbitrario para toda la mina) sin justificación. Incluso, en algunos casos no se concluye ni especifica el tamaño final que se considerará en el diseño. En estos casos, en general, se utilizan diseños estándar para evaluar la estabilidad con características extrapoladas, sin considerar las condiciones locales, geológicas, estructurales y tipo de roca.

La Figura 22 muestra el resumen de calificaciones por ítem analizado. En los casos de los proyectos en que hay información repetida, como lo son Mina H – Sector H2 y la Mina J-extensión, solo se cuenta una vez la calificación, por lo que solo hay 17 casos en total.

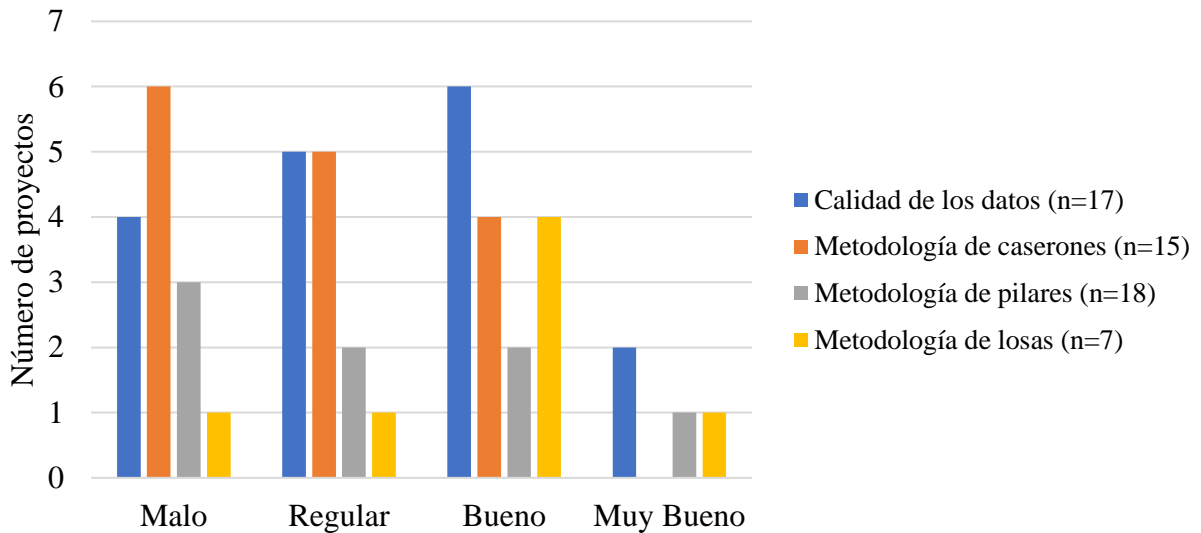


Figura 22: Resumen de calificación de proyectos

4.2.1. Datos de entrada

Respecto a la calidad de los datos de entrada, se tiene como resumen que 4 proyectos clasifican como Malo, 5 como Regular, 8 como Bueno y 2 como Muy Bueno. Los proyectos, en general, tienen mala calificación porque fallan en mostrar respaldo de los ensayos realizados en laboratorio, de los mapeos geotécnicos y de los sondajes, en el peor de los casos, tampoco muestran información bibliográfica justificada, además es poco frecuente que se realicen mediciones de esfuerzos.

4.2.2. Caserones

La Tabla 28 presenta un resumen del uso de metodologías empírica para determinar la estabilidad de caserones mediante metodología empírica. Las metodologías de diseño de caserones presentadas tienen su base en la metodología original de Mathews con variaciones técnicas en el cálculo de

ciertos factores, los cuales son comparables entre metodologías. Las columnas tienen la siguiente información:





























































































- Primera columna: nombre del proyecto.
- Segunda columna: indica si se presentó (en verde ) o no se presentó (en rojo ) diseño de caserones usando una metodología basada en la metodología de Mathews. Si lleva una apóstrofe (') significa que el proyecto desarrolló la metodología de Laubscher para estimar la estabilidad del techo.
- Tercera columna: indica qué metodología se utilizó y el año de la versión de esta, en caso de no presentar metodología empírica de diseño de caserones, esa casilla queda vacía, por lo que se marca con un guion.
- Las siguientes cuatro columnas indican si se presenta (en verde ) o no (en rojo ) la información necesaria para realizar los cálculos inherentes a la metodología de Mathews et al: HR, Q', A, B y C. En el caso de las minas B, E y F, los resultados se mostraron solo con un gráfico sin entregar detalles.
- Novena columna: Indica la calidad de los datos de entrada: si se justifican los parámetros de entrada (en verde ), si los valores ingresados son información teórica recuperada de bibliografía (en amarillo ) y si no se entrega el valor, es decir, en los resultados sólo enseñan un gráfico (en rojo ).
- Decima columna: Calificación otorgada.

Tabla 28. Estudio de presentación de proyectos, Caserones – metodología de Mathews.

Nombre Mina	¿Usa Mathews?	Versión	HR	Q'	A	B	C	Cálculos	Categoría
Mina A		Mawdesley 2001							Bueno
Mina B		Gráfico propio; no aclara la versión							Malo
Mina C - Sector C1		-	-	-	-	-	-	-	Malo
Mina C - Sector C2		-	-	-	-	-	-	-	Malo
Mina C - Sector C3		-	-	-	-	-	-	-	-
Mina C		Mawdesley 2001							Bueno
Mina D		-	-	-	-	-	-	-	Malo
Mina E		Mawdesley 2001							Regular
Mina F		-	-	-	-	-	-	-	-
Mina G - Sector G1		Nickson1992							Bueno
Mina G - Sector G2		-	-	-	-	-	-	-	Regular
Mina H - Sector H1		Mawdesley 2001							Regular
Mina H - Sector H2		Mawdesley 2001							Regular
Mina I		Mawdesley 2001							Regular
Mina J		Mawdesley 2001							Bueno
Mina J - Extensión		Mawdesley 2001							Bueno
Mina K		-	-	-	-	-	-	-	Malo
Mina L		-	-	-	-	-	-	-	Malo
Mina M		Mawdesley 2001							Regular

A modo de resumen, 2 proyectos no presentan metodología empírica para diseño de caserones, 6 proyectos clasifican como Malo, 4 como Regular y 5 como Bueno. Los proyectos en general no tienen buena calificación porque fallan en presentar la memoria de cálculo, no justifican el uso de los parámetros de diseño o escogen la metodología de hundibilidad Laubscher para estimar la estabilidad de los techos. Al no presentar la memoria de cálculo no es posible hacer un seguimiento al desarrollo de la metodología, del mismo modo, cuando no justifican los parámetros se produce una pérdida de información importante. En forma general, los métodos empíricos de estabilidad de caserones (actualizaciones de la metodología de Mathews) analizan cada caserón de manera independiente y no considera sus losas ni los pilares, entonces el estudio de estabilidad debe ser complementado con modelos numéricos. Esta comparación, debe mostrar resultados coherentes o de algún modo deben justificar sus diferencias.

4.2.3. Pilares

La Tabla 29 presenta un resumen del uso de metodologías empírica para determinar la estabilidad de pilares mediante metodología empírica. Se considera solo con casos que utiliza la metodología de Lunder y Pakalnis, ya que es la metodología en común entre los proyectos que presentaron metodología empírica. Las columnas tienen la siguiente información:

- Primera columna: nombre del proyecto.
- Segunda columna: indica si se presentó (en verde 🟢) o no se presentó (en rojo 🔴) diseño de pilares.
- Tercera columna: indica el año de la versión utilizada de la metodología de Lunder y Pakalnis, en caso de no presentar metodología empírica de diseño de pilares, esa casilla queda vacía, por lo que se marca con un guión.
- Las siguientes cuatro columnas indican si se presenta (en verde 🟢) o no (en rojo 🔴) la información necesaria para realizar los cálculos inherentes a la metodología de Lunder y Pakalnis: carga del pilar, UCS, Cpav y dimensiones.
- Octava columna: factor de seguridad mínimo considerado en el criterio de estabilidad.
- Novena columna: Calificación otorgada.

Cabe destacar que en esta tabla existe un aspecto al que poner atención, los sectores H1 y H2 de la mina H son considerados como “malo” a pesar de aplicar la metodología de Lunder y Pakalnis, pues en el desarrollo de esta incorpora la metodología la de Obert y Duvall (metodología creada para minas de carbón) para calcular los esfuerzos inducidos. Lo anterior, significa errores conceptuales que conducen a indeterminar la interpretación de los resultados, ya que no justifican esta combinación de metodologías ya sea con back análisis o bibliografía.

Tabla 29. Estudio de presentación de proyectos, Pilares – metodología de Lunder y Pakalnis

Nombre Mina	¿Usa L&P?	Versión	Carga Pilar	UCS	Cpav	Dimensiones	Criterio de estabilidad	Categoría
Mina A	Ⓢ	L&P 1997	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	>1.4 seguro, y >1 fortificar	Muy Bueno
Mina B	Ⓢ	-	-	-	-	-	-	Malo
Mina C - Sector C1	Ⓢ	-	-	-	-	-	-	-
Mina C - Sector C2	Ⓢ	-	-	-	-	-	-	-
Mina C - Sector C3	Ⓢ	-	-	-	-	-	-	-
Mina C	Ⓢ	L&P 1997	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	>1.4	Bueno
Mina D	Ⓢ	-	-	-	-	-	-	-
Mina E	Ⓢ	L&P 1997	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	>1.23	Bueno
Mina F	Ⓢ	L&P 1997	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	largo/ancho	>1.2	Regular
Mina G - Sector G1	Ⓢ	L&P 1997	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	>1.2	Regular
Mina G - Sector G2	Ⓢ	-	-	-	-	-	-	-
Mina H - Sector H1	Ⓢ	L&P 1997 + Obert y Duvall	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	>1.4	Malo
Mina H - Sector H2	Ⓢ	L&P 1997 + Obert y Duvall	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	>1.4	Malo
Mina I	Ⓢ	-	-	-	-	-	-	-
Mina J	Ⓢ	-	-	-	-	-	-	-
Mina J - Extensión	Ⓢ	-	-	-	-	-	-	-
Mina K	Ⓢ	-	-	-	-	-	-	-
Mina L	Ⓢ	-	-	-	-	-	-	-
Mina M	Ⓢ	-	-	-	-	-	-	-

En la Figura 23 se muestra un resumen de la información de pilares reportada en los proyectos según el gráfico de Lunder y Pakalnis (1997) de modo de comparar todos los casos disponibles. En el gráfico se muestran los pilares de manera individualizada. Destacan casos como el de la mina A, que estudia la estabilidad de un amplio rango de pilares, y el caso de la mina F que estudia la estabilidad de un diseño.

A modo de resumen, 3 proyectos clasifican como Malo, 2 como Regular, 2 como Bueno y 1 como Muy Bueno. Los proyectos en general tienen mala calificación porque fallan en presentar memoria de cálculo, mezclan metodologías para calcular sus parámetros sin dar una justificación dada por bibliografía o back análisis, diseñan pilares con factores de seguridad inferior al recomendado por el autor de la metodología o incluso no tienen información suficiente para justificar un factor de seguridad ajustado al límite seguro (al tener menos información se debe aumentar el factor de seguridad para compensar).

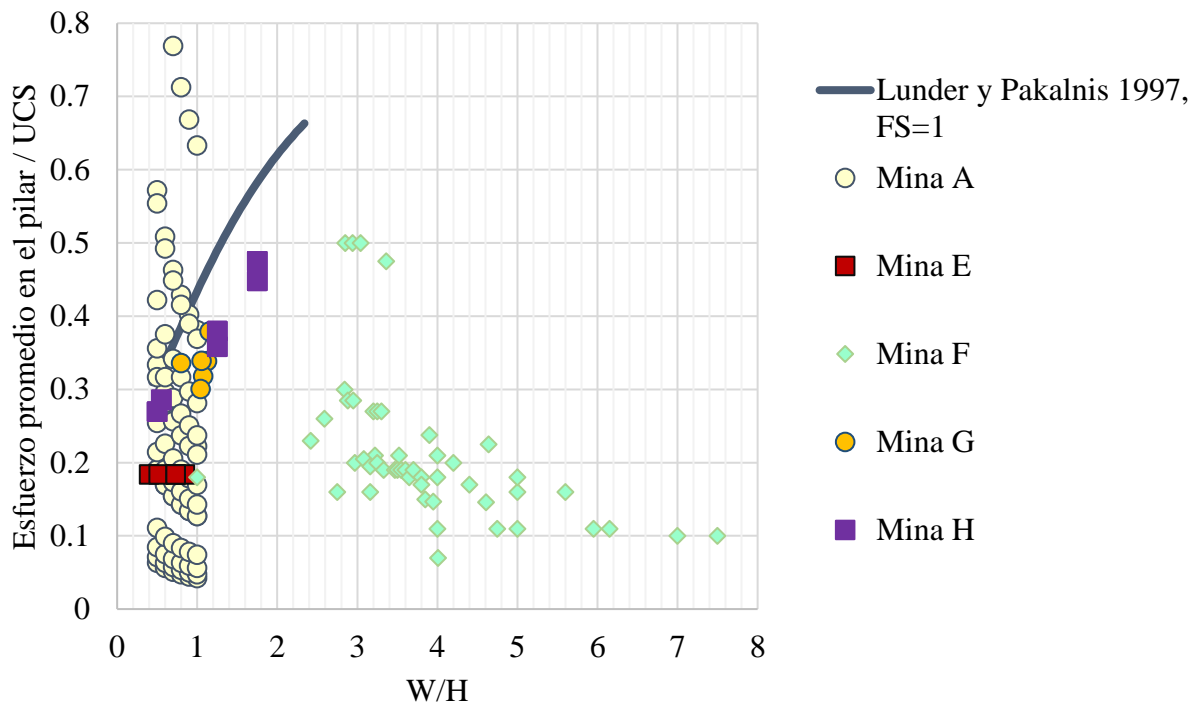


Figura 23. Gráfico de estabilidad de pilares, según metodología de Lunder y Pakalnis (1997)

4.2.4. Losas

La Tabla 30 presenta un resumen del uso de metodologías empírica para determinar la estabilidad de losas. La metodología de Carter es la metodología empírica de diseño de losas adoptada en todos los proyectos que presentaron análisis empírico. Las columnas tienen la siguiente información:



- Primera columna: nombre del proyecto.
- Segunda columna: indica si se presentó (en verde ) o no se presentó (en rojo ) diseño de losas. En este punto se debe destacar que en algunos casos no hay losas entre caserones, pero sí podría haber entre el caserón y la superficie.
- Tercera columna: indica el año de la versión utilizada de la metodología de Carter, en caso de no presentar metodología empírica de diseño de losas, esa casilla queda vacía, por lo que se marca con un guion.
- Las siguientes cuatro columnas indican si se presenta la información necesaria para realizar los cálculos inherentes a la metodología de Carter: dimensiones, densidad de la roca y buzamiento, y si se justifican adecuadamente.
- Octava columna: Calificación otorgada.

Tabla 30. Resumen del estudio de presentación de proyectos con losas - metodología de Carter, el color verde indica que si hay información y el color rojo que no

Nombre Mina	¿Usa Carter?	Versión	Dimensiones	Densidad de la Roca	Buzamiento	Justificación de los datos	Categoría
Mina A	Ⓢ	Carter 2014	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Muy Bueno
Mina B	Ⓢ	-	-	-	-	-	
Mina C - Sector C1	Ⓢ	-	-	-	-	-	
Mina C - Sector C2	Ⓢ	-	-	-	-	-	
Mina C - Sector C3	Ⓢ	-	-	-	-	-	
Mina C	Ⓢ	Carter 1992	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Regular
Mina D	Ⓢ	-	-	-	-	-	
Mina E	Ⓢ	-	-	-	-	-	
Mina F	Ⓢ	Carter 1992	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Bueno
Mina G - Sector G1	Ⓢ	Carter 1995	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Bueno
Mina G - Sector G2	Ⓢ	-	-	-	-	-	
Mina H - Sector H1	Ⓢ	Carter 1996	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Bueno
Mina H - Sector H2	Ⓢ	Carter 1996	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Malo
Mina I	Ⓢ	Lunder y Pakalnis	-	-	-	-	Malo
Mina J	Ⓢ	-	-	-	-	-	
Mina J - Extensión	Ⓢ	-	-	-	-	-	
Mina K	Ⓢ	-	-	-	-	-	
Mina L	Ⓢ	-	-	-	-	-	
Mina M	Ⓢ	Carter 2008	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Bueno

Las Figura 24 y Figura 25 muestran un resumen de la información de losas reportada en los proyectos según el gráfico de Carter (2014), de modo de comparar todos los casos disponibles. Solo fue posible incluir en esta figura información de las Minas A, F, G y M. Si se observa la Figura 24, en la metodología de Carter la curva que se toma como referencia es $S_c = 3.3 * Q^{0.43} * \sinh^{0.0016}(Q)$, donde todo lo que está por sobre esa curva se considera en zona de casos de falla llevando a hundimiento y bajo esa curva se considera estable. Bajo este concepto, 7 losas de la Mina F sobrepasan este límite encontrándose en zona de casos fallados. Por otro lado, la Figura 25 tiene por objetivo mostrar la probabilidad de falla de estas losas dejando en evidencia que, bajo esta metodología, 6 losas de la Mina F poseen más de un 50% de probabilidad de falla y que 2 losas de la Mina F y 1 losa de la Mina M tienen entre 20% y 50% de probabilidad de Falla.

A modo de resumen, 1 proyecto clasifica como Malo, 1 como Regular, 4 como Bueno y 1 como Muy Bueno. Los proyectos en general tienen mala calificación porque fallan en escoger la metodología apropiada para el diseño de losas, no muestra los parámetros de entrada ni presentan memoria de cálculo. Muchos proyectos no ocupan la última versión de la metodología, por ejemplo, se usa la versión de Carter de 1992 existiendo una metodología de Carter de 2014 que incorpora probabilidades de falla de las losas.

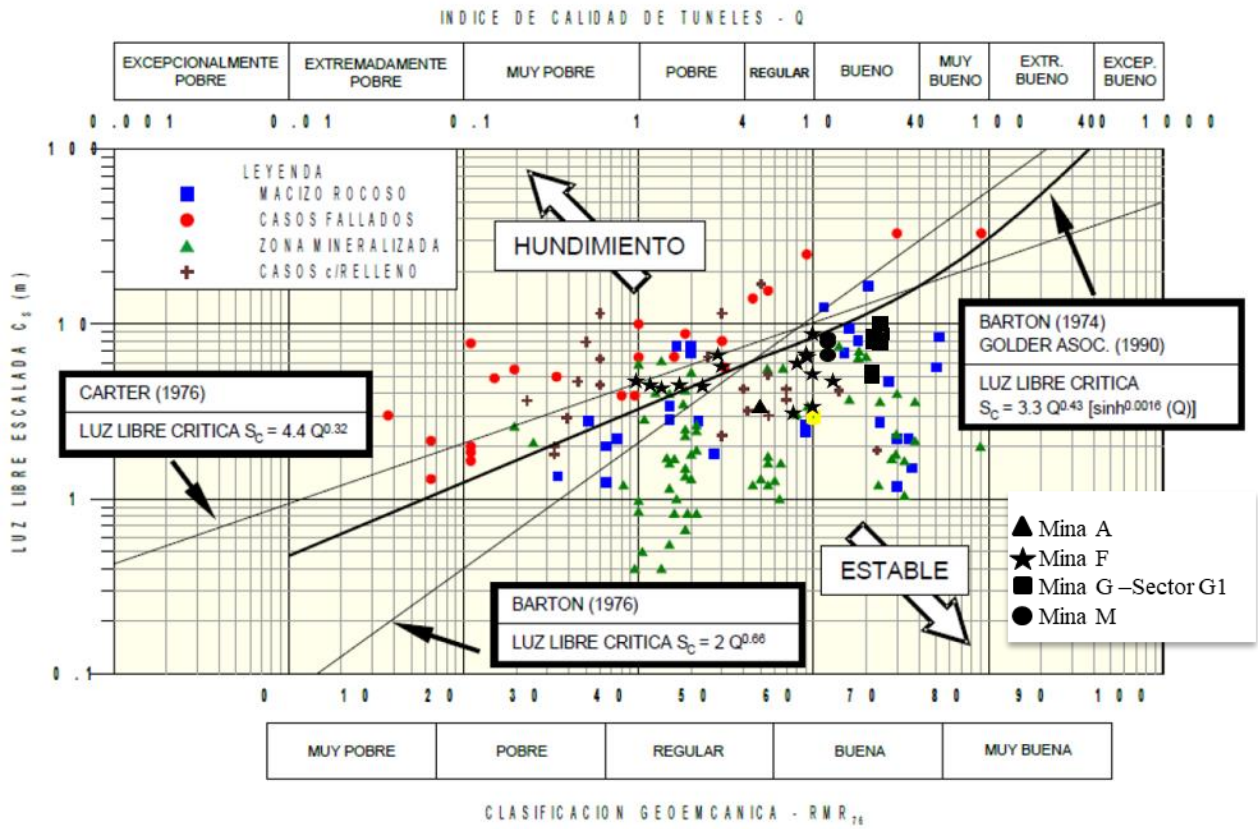


Figura 24. Gráfico empírico de estabilidad de losas según metodología de Carter (2014)

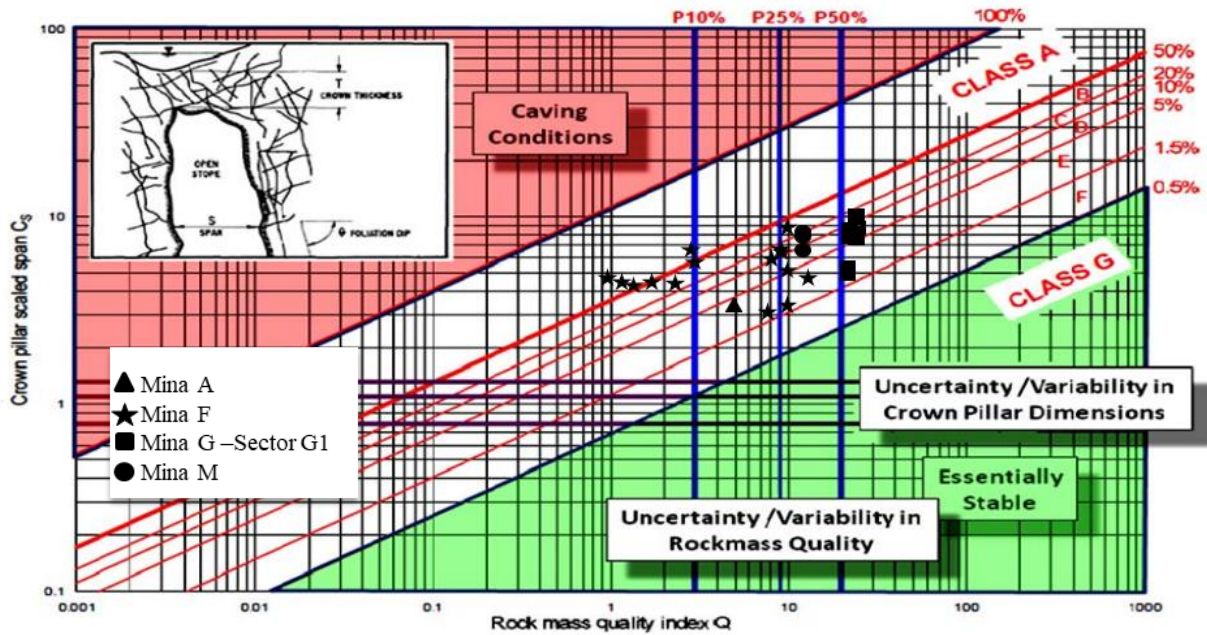


Figura 25. Gráfico empírico de estabilidad de losas según metodología de Carter (2014), Isoprobabilidad de falla

5. Conclusiones

Este trabajo presenta un catastro de las herramientas empíricas usadas para el diseño de caserones, pilares y losas en Chile. El trabajo se centra en las herramientas geomecánicas empleadas en proyectos de sublevel stoping de mediana y gran minería que han sido aprobados por Sernageomin desde la digitalización de los sistemas de información de Sernageomin, es decir entre enero de 2015 y julio de 2022. En general, las metodologías empíricas se usan más que los modelos numéricos, pero al revisar los informes presentados se encuentran desprolijidades.

En total, se consideran 19 proyectos, pero dos de ellos utilizan la misma información que otro previo, por lo cual solo se contabilizan 17. Es importante reconocer que la cantidad de proyectos, aunque no sea mucha, es suficiente para identificar ciertos patrones que se repiten. Se ha logrado identificar que, del total de proyectos, solo dos de ellos no usan metodologías empíricas de caserones. En el caso de las metodologías de caserones, estas son mucho más variadas que las existentes para losas y pilares, y, aun así, estas obtuvieron la peor calificación. Del total de proyectos evaluados, el 40% de los que diseñan caserones fueron evaluados en la categoría “Malo”. En el caso de los pilares y losas, el 38% y 14% del total de los proyectos que usaron esos métodos, respectivamente, fueron evaluados en esta misma categoría de “Malo”. Por otro lado, del total de proyectos evaluados, solo un 27%, un 38%, y un 71% se califican como “Bueno” o “Muy Bueno”.

En general, los proyectos incluyen poca información relacionada a los datos de entrada debido a que son de pre factibilidad/etapa conceptual, que son etapas en donde comúnmente hay muy poca información geológica y geotécnica. A pesar de esto, en algunas minas se realizan muy buenas campañas de caracterización, pero finalmente, al momento de utilizar las metodologías empíricas reducen la información utilizada. Por ejemplo, diseñan ya sea, con el peor o el mejor caso, no considerando apropiadamente que la roca es heterogénea y que puede haber distintos tipos de roca en distintas ubicaciones. Por lo tanto, en estos casos, en general, se pierde información, de la poca que hay, dejando espacio para optimizar los diseños mineros.

Se identifica también que uno de los principales problemas se debe a que, en la literatura, existen muchos métodos y ninguno reconocido unánimemente mejor que otro. Sumado a esto, la ley exige que las minas sean seguras, lo cual puede ser demostrado tanto por metodologías empíricas como numéricas. El Reglamento de Seguridad Minera proporciona herramientas para exigir a las empresas mejores estándares en la presentación de proyectos. Sin embargo, queda a criterio de los evaluadores de proyecto que información de respaldo se solicita para comprobar y garantizar la estabilidad física y el éxito del negocio minero. Por ejemplo, se pueden solicitar ensayos geotécnicos y asegurar un número y calidad adecuados de ensayos que otorguen representatividad a la muestra dependiendo si se identifican problemas en la justificación de datos de entrada. Lamentablemente, los autores de los métodos empíricos solo entregan información de cómo ellos desarrollaron estas herramientas y no existe mayor acuerdo sobre cual es la cantidad mínima de información necesaria para obtener resultados que garanticen la estabilidad de una excavación.

Algunos de los principales problemas identificados en el uso de herramientas empíricas son la poca o nula justificación sobre los parámetros de entrada, la aplicación de metodologías que no se ajusten a las características del yacimiento, uso incorrecto del procedimiento de cálculo de parámetros propuesto por el autor, no justificar los cálculos con una memoria de cálculo, no utilizar las versiones más recientes, e interpretar los resultados de forma arbitraria sin considerar las recomendaciones de los autores de los métodos empíricos. A pesar de que existe un número significativo de problemas identificados, todas estas deficiencias son mejorables.

Una de las principales problemáticas encontradas es la deficiencia o falta de informes geotécnicos en la presentación de los métodos de explotación. En algunos casos aparecen los estudios geotécnicos y ensayos de laboratorio producto de una respuesta a una observación debido a la ausencia de estos, y en otros casos los estudios presentados no tienen suficientes fundamentos y deben ser mejorados; incluso en ciertos casos se han presentado informes nuevos que reemplazan a los anteriores.

Otra problemática encontrada en el desarrollo de este trabajo es cómo se ordena la información de cada proyecto, la cual tiene un impacto directo en el tiempo que demore su revisión. Existen casos donde no existe una referenciación adecuada en los informes, exceso de informes, revisiones nuevas que no son consistentes con la presentación anterior, incorporación de nueva información producto de las observaciones las que no son consolidadas por el titular.

Como acotación final, se debe tener en cuenta que ninguna de las metodologías existentes ha sido diseñada específicamente para las condiciones geológicas de Chile; por tanto, es necesario recalibrarlas para adaptarlas adecuadamente. Además, es fundamental avanzar en la incorporación de antecedentes hidrogeológicos en la evaluación de la estabilidad física de caserones, pilares y losas, ya que estos factores no se consideran en las metodologías actuales. Se recomienda, por lo tanto, que se generen nuevos estudios que permitan incorporar estas y otras consideraciones en el uso de metodologías empíricas.

6. Bibliografía

- Barlett, P. (1998). Planning, implementation, operation and monitoring of a cave mining method with coarse fragmentation with reference to cave mining at Premier Diamond Mine. PhD thesis (unpublished), University of Pretoria, South Africa.
- Barton, N.R., Lien, R., and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock mechanics*, 6, 4, 189-239.
- Barton, N. (1976). Recent experiences with the Q-system. Johannesburg.
- Bieniawski, Z.T. (1973). Engineering Classification of Jointed Rock Masses. *The Civil Engineer in South Africa*, 15, p.335-343
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. New York: Wiley.
- Brady, B. H., & Brown, E. T. (2006). *Rock mechanics: for underground mining*. Springer science & business media.
- Carter, T. G. (2014). Guidelines for use of the scaled span method for surface crown pillar stability assessment. Ontario Ministry of Northern Development and Mines, Ontario, 1-34.
- Deere, D. U., Hendron, A. J., Patton, F. D., & Cording, E. J. (1967). Design of surface and near surface construction in rock. En C. Fairhurst (Ed.), *The 8th US Symposium on Rock Mechanics (USRMS)* (págs. 237-302). New York: American Rock Mechanics Association.
- Galarce Castro, & Vallejos Massa, J. (2014). Modelo de esfuerzos in-situ para Chile y su incidencia en el diseño minero subterráneo [recurso electrónico]. Tesis (Ingeniería civil de Minas)-- Universidad de Chile, 2014.
- Hamrin, H. "Underground Mining Methods and Applications", Chapter 1. *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. 2011.
- Hedley, DGF & Grant, F 1972, 'Stope and pillar design for the Elliot Lake uranium mines', *Bulletin of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy*, no. 65, pp. 37-44.
- Hoek, E. and Brown, E.T. (1980) *Underground Excavations in Rock*. Inst. Min. 537 Metall, London.
- Hoek, E. (1982). Geotechnical considerations in tunnel design and contract preparation. *Trans. Instn Min. Metall*, 91, A101-9.
- Hoek, E (1994), 'Strength of rock and rock masses'. *ISRM News Journal* 1994;2(2):4-16
- Hoek, E. and Brown, E.T. (1998). Practical Estimates of Rock Mass Strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol.34, No. 8, pp. 1165–1186.

- Hoek, E, Carranza-Torres, C & Corkum, B. (2002). Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. In: Proceedings of the fifth North American Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada, vol. 1, pp. 267–273.
- Hudson, J. A., Cornet, F. H., & Christiansson, R. I. S. R. M. (2003). ISRM Suggested Methods for rock stress estimation—Part 1: Strategy for rock stress estimation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40(7-8), 991-998.
- Krauland, N., & Soder, P. E. (1987). Determining pillar strength-from pillar failure observation. *E&MJ-Engineering and Mining Journal*, 188(8), 34-40.
- Laubscher, D. H. (1977). Geomechanics classification of jointed rock masses-mining applications. *Trans. Instn. Min. Metall.*, 86, A1-8.
- Laubscher D (1994) Cave mining-the state of the art. *J South Afr Inst Min Metall* 94(10):279–293
- Laubscher, D. H. (1990). A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 90(10), 257-273.
- Laubscher, D H (2000). A practical manual on block caving, Prepared for International Caving Study, JKMRM and Itasca Consulting Group, Brisbane, 500p.
- Ljunggren, C., Y. Chang, T. Janson, and R. Christiansson. (2003) "An overview of rock stress measurement methods." *Rock Mechanics and Mining Sciences (Pergamon)* 40; 975-989.
- Lunder, P.J., y Pakalnis, R., (1997). Determination of the strength of hard-rock mine pillars. *Bull. Can. Inst. Min. Metall.* 90; p. 51-55.
- Mathews, K. E., Hoek, E., Wyllie, D. C., & Stewart, S. B. (1981). Prediction of stable excavation spans for mining at depths below 1,000 meters in hard rock. *CANMET DSS*.
- Mawdesley, C., R. Trueman and W. Whiten (2001). Extending the Mathews stability graph for open–slope design. *Mining Technology*, 110(1), 27-39.
- Ministerio de Minería de Chile. (2022). Decreto N° 132. Aprueba Reglamento de Seguridad Minera. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=221064>
- Nickson, S. D. (1992). Cable support guidelines for underground hard rock mine operations (Doctoral dissertation, University of British Columbia).
- Obert, L., & Duvall, W. I. (1967). *Rock mechanics and the design of structures in rock* (Vol. 650). New York: Wiley
- Potvin, Y. (1988). Empirical open stope design in Canada. Ph.D. Thesis, Dept. Mining and Mineral Processing, University of British Columbia, 343 p.
- Potvin, Y., M. Hudyma, and H.D.S. Miller (1989) Rib Pillar design in open stope mining. *CIM bulletin*. July 31-36
- Sernageomin. (2021). Anuario de la Minería de Chile. Recuperado de <https://www.sernageomin.cl/anuario-de-la-mineria-de-chile/>

Von Kimmelman, M. R., Hyde, B., & Madgwick, R. J. (1984). 7 The use of computer applications at BCL Limited in planning pillar extraction and the design of mining layouts. In *Design and Performance of Underground Excavations: ISRM Symposium—Cambridge, UK, 3–6 September 1984* (pp. 53-63). Thomas Telford Publishing.

Anexo

Decreto Supremo 132 / 2002 Aprueba Reglamento de Seguridad Minera

Se presenta a continuación un resumen/extracto del Decreto Supremo 132 / 2002 de aquellos artículos fundamentales para la seguridad de las personas, instalaciones, dando énfasis en la minería subterránea.

TITULO I: DE LOS OBJETIVOS, CAMPO DE APLICACION Y ATRIBUCIONES DEL SERVICIO

Capítulo primero - Generalidades

En este capítulo se plantean los dos primordiales objetivos del servicio (Art. 1), la aplicabilidad del reglamento presentado como la interacción de este con otras normas de seguridad contenidas en la reglamentación nacional (Art. 2 y Art. 3). Finalmente se indica que es el servicio el responsable de aplicar y fiscalizar el reglamento (Art. 4).

Capítulo segundo – Definiciones y campo de aplicación.

En este capítulo se define las actividades de la industria extractiva minera que son reguladas por el presente reglamento (Art. 5). Se aclara la noción de faena minera, exploración, prospección, operación minera y obras civiles (Art. 6).

Se define el concepto de titular o propietario (Art. 8), empresa minera (Art. 9), relaciones con terceros (Art. 11),

Se agregan los conceptos de representantes de la empresa y de experto en prevención de riesgos (Art. 12)

Capítulo tercero – Funciones y atribuciones del servicio.

El capítulo tercero entrega el marco regulatorio, aclarando los límites de acción del servicio:

El artículo 13 indica que Corresponden al Servicio, en forma exclusiva, las siguientes funciones y atribuciones: Controlar y fiscalizar el cumplimiento de las normas y exigencias establecidas por el presente Reglamento y de aquellas dictadas por el propio Servicio, en el ejercicio de sus facultades. Investigar los accidentes del trabajo, con lesiones a las personas, daños graves a la propiedad que el Servicio estime conveniente, sin perjuicio de lo anterior, siempre deberá investigar aquellos accidentes que hayan causado la muerte de algún trabajador. El Servicio está facultado para tomar declaraciones del hecho al personal involucrado y a la supervisión; estas declaraciones quedarán

debidamente registradas y firmadas por el declarante. Exigir el cumplimiento de las acciones correctivas que resulten de las dos atribuciones anteriores. Proponer la dictación de normas, instructivos, circulares y desarrollar todo tipo de actividades de carácter preventivo, tendientes a optimizar los estándares de seguridad en la Industria Extractiva Minera.

Se definen las facultades fiscalizadoras de los funcionarios del Sernageomin y se dispone que sean atendidos por funcionarios profesionales de la faena minera cuyo poder de decisión sea aceptable a juicio del servicio y que ofrezcan garantías de competencia y pleno conocimiento de los lugares y procesos que se controlan (Art. 16). Se define el libro del Sernageomin como forma de comunicación para observaciones y requerimientos (Art 17).

Se especifican los términos de difusión de información y conclusiones producto de la aplicación del reglamento (Art. 19). También se especifican los términos del control, transporte y manipulación de explosivos al interior de las faenas mineras. El servicio controlará que los explosivos hayan sido controlados y aprobados por el instituto de Investigaciones y Control del Ejército como también verificará la proporción de los almacenes de explosivos como se señala en el reglamento complementario de la ley sobre Control de Armas y explosivos (Art 20)

TITULO II: NORMAS GENERALES

Capítulo primero – De las obligaciones de las empresas

En este capítulo se indica a las empresas de qué manera se informa al servicio el inicio o reinicio de obras o actividades, estableciendo los requisitos mínimos que debe contener el aviso (Art. 21).

A continuación, se muestra el artículo 22 que es el que indica la presentación de un proyecto minero o método de explotación previo al inicio de las operaciones. Se establece que una modificación mayor debe presentarse igualmente y se identifica en que consiste. (Art. 22)

Luego, el artículo 23 indica que en conjunto al método de explotación o cualquier modificación mayor debe presentarse un proyecto de plan de cierre. detallado en el título X del reglamento.

El artículo 24 indica que toda empresa debe contar con la autorización respectiva para electrificar una mina, esto implica que el servicio debe revisar los antecedentes relacionados para verificar la factibilidad de la autorización.

Los artículos 25 y 26 exigen la documentación que debe tener una empresa minera dentro de los cuales se destacan reglamentos de orden, higiene y seguridad; reglamentos específicos; procedimientos, los que podrán ser solicitados por el servicio cuando lo estime conveniente.

El artículo 28 indica que las empresas mineras deben capacitar a sus trabajadores sobre el método y procedimiento para ejecutar correctamente su trabajo.

Se presenta en el artículo 29 la posibilidad de recurrir a normas técnicas aprobadas por organismos nacionales o internacionales en caso de que la temática no se encuentre abordada en el reglamento.

El artículo 30 señala que los equipos, maquinarias, materiales, instalaciones e insumos deben tener sus especificaciones técnicas y de funcionamiento en el idioma español.

el artículo 31 viene a reforzar lo que dice el artículo 1, señalando que las empresas deben tomar las medidas necesarias para dar cumplimiento al artículo 1. Dichas medidas deben ser difundidas al personal. De igual manera se indica que para el acceso de visitas debe generarse un procedimiento que cautele debidamente su seguridad.

El artículo 32 indica el deber de la empresa de proporcionar de manera gratuita a sus trabajadores los elementos de protección personal necesarios para desarrollar su trabajo.

El artículo 33 indica que las empresas mineras deben contar en sus faenas con la dirección o asesoría técnica de uno o más ingenieros de minas o metalurgistas, civiles o de ejecución según corresponda, quienes firmarán todo proyecto y se harán responsables por las obras cuya ejecución tengan a cargo.

El artículo 34 indica que el jefe de mina o procesos debe ser ingeniero civil o de ejecución de minas o metalurgia con experiencia acorde con las faenas. En la pequeña minería el desempeño de prácticos como jefe de mina o procesos deberá estar supervisado por los profesionales anteriormente citados.

El artículo 35 indica que toda empresa minera con 100 o más trabajadores debe contar con un departamento de prevención de riesgos dirigido por un experto categoría A o B calificado por el servicio. En el caso de las empresas de menos de 100 trabajadores también se podrá exigir el departamento de prevención de riesgos dirigido por un experto calificado por el servicio el cual puede tener permanencia total o parcial a discreción del servicio. El departamento de prevención de riesgos debe depender directamente de la gerencia general o de una organización que normalice y fiscalice en la empresa que a su vez debe depender de la gerencia general o de la máxima autoridad de la empresa.

El artículo 37 indica que las empresas mineras deben presentar dentro de los primeros 20 días siguientes al inicio de sus trabajos sus planes y programas de prevención de accidentes y enfermedades profesionales.

Capítulo tercero – Normas generales

En el artículo 42 se indica quienes pueden conducir equipos y maquinaria motorizada.

El artículo 44 menciona que todo equipo que puede desplazarse debe contar con luces y aparatos sonoros que indiquen la dirección de su movimiento en retroceso, y en el caso de grúas puente, en todo sentido

EL Artículo 45 señala que los operadores de equipo mecanizado deben recibir un entrenamiento completo. El artículo 46 indica la prohibición de circular bajo lugares con riesgo de caída de carga, herramientas, materiales o líquidos que puedan causar daño a las personas.

Entre los artículos 47 y 50 se entregan las condiciones de seguridad necesarias para los trabajos en altura.

El artículo 51 regula los medios, planes y programas para la mantención de todas las instalaciones, equipos y maquinarias.

Los artículos del 52 al 55 indican las condiciones de seguridad durante la mantención de equipos o planta.

Los artículos 56 y 57 están escritos con el fin de evitar el peligro de atrapamiento en equipos de transmisión de movimiento u otro que revista un peligro.

En el artículo 58, las faenas mineras deberán disponer de medios expeditos y seguros, para el acceso y salida del personal desde cualquier parte de ellas. Estos deberán ser mantenidos en forma conveniente. Para facilitar la circulación, los caminos, senderos y labores deberán mantenerse en buenas condiciones y debidamente señalizadas.

Capítulo cuarto – Condiciones sanitarias mínima en faenas mineras

Los artículos del 63 al 66, se indican las condiciones sanitarias mínimas en faena minera, dentro de las cuales se deben destacar el número de servicios higiénicos, agua potable, casas o salas de vestir y baños de acuerdo con el número de trabajadores.

Capítulo quinto – Obligaciones ambientales

El artículo 67 exige la resolución exenta emitida por el organismo ambiental junto con la presentación del proyecto minero. Mientras no se cumpla con este requisito, no se puede aprobar un proyecto minero, aun cuando se puedan presentar de manera simultánea en los respectivos servicios públicos.

Los artículos del 68 al 70 indican: medidas de control de emisiones contaminantes al ambiente, medios y procedimientos para disponer residuos y desechos industriales, cumplimiento de compromisos ambientales.

Capítulo sexto - Estadísticas, accidentes y planes de emergencia

El artículo 71 habla del manejo de las estadísticas de los accidentes.

El artículo 72 indica aquellos elementos necesarios de primeros auxilios y transporte de lesionados, en tanto el artículo 73 se refiere a aquellos trabajadores que deberán estar instruidos en primeros auxilios.

El artículo 74 menciona en qué casos se debe contar con vehículos motorizados para traslado de pacientes y/o centro médico hospitalario o estación de primeros auxilios al interior de la faena.

En el artículo 75 se establece la obligación de contar con procedimientos de emergencia y rescate, como de brigadas de rescate minero.

El artículo 76 indica la obligación de investigar todos los accidentes con lesiones o muerte a los trabajadores. en tanto el artículo 77 señala que los accidentes fatales o con resultado de lesión (en el artículo se especifican los tipos de lesiones) deben ser informados inmediatamente a la dirección regional.

TITULO III: EXPLOTACION DE MINAS SUBTERRANEAS

Capítulo primero - Generalidades

El artículo 78 exige una serie de reglamentos dentro de los cuales encontramos: control de ingreso de personas a las faenas, transporte uso y manejo de explosivos, tránsito y operación de equipos en interior de mina, fortificación, emergencias, transporte, manipulación, almacenamiento y uso de sustancias y elementos peligrosos, operación del método de explotación, reconocimientos y desarrollos, otros de acuerdo a las necesidades operacionales.

El artículo 79 indica que deben existir a lo menos dos labores principales de comunicación con la superficie, las que deben estar comunicadas de manera expedita con las labores principales del método de explotación.

El artículo 80 indica que las labores principales aludidas anteriormente deben estar separadas al menos por 20 metros y no pueden salir al mismo recinto exterior. la entrada de estas labores debe ser de material incombustible y no se pueden usar como depósito de materiales combustibles o explosivos.

Entre los artículos 81 al 91 se habla principalmente de la construcción y consideraciones de seguridad de excavaciones verticales como piques o chimeneas. Dentro de las principales especificaciones se puede mencionar: existencia de protección contra caída (Art 81), restricción de construcción de chimeneas desde el techo de una galería (Art 82), cuidado en tronaduras cuando quedan menos de 20 metros para conectar dos excavaciones (Art 83), limitación de largo a 50 metros para las chimeneas verticales que se desarrollen de manera manual (Art 84).

Se especifican condiciones para el ascenso y descenso de personal y materiales de las chimeneas manuales (Art 85). Se señala la habilitación de las chimeneas para que el personal pueda ascender y descender por medio de patas mineras (Art 86). Se especifica de qué manera deben disponerse los andamios de los trabajos interior mina (Art 87). Las chimeneas en ascenso no pueden romperse en forma ascendente a la galería superior existente, para ello dos metros antes del encuentro deberá romperse en forma descendente (Art 88).

todo equipo que se utilice para la construcción de chimeneas deberá ser evaluado por el servicio (Art 89). Se indica la revisión continua de posibles rocas sueltas en las chimeneas (Art 90)

Toda labor cuya operación haya sido descontinuada deberá ser reevaluada en su estabilidad física y todas las condiciones asociadas a la operación de esta. Se recomienda al menos una inspección realizada por dos personas (Art 92)

Se indican las condiciones de seguridad con que deben contarse cuando el personal circule sobre material de relleno en caserones, piques tolvas u otros. Principalmente para evitar riesgo de caída y/o succión (Art. 93)

Se indican condiciones de seguridad para el destranque de las chimeneas, señalando que está prohibido el ingreso por la parte inferior de ellas (Art 94)

El artículo 95 indica que debe segregarse con barreras de protección las zonas donde pudieran generarse hundimientos o cráteres en superficie.

El artículo 96 indica que se requiere un estudio técnico específico cuando se exploten labores subterráneas en el mismo vertical, labores ubicadas cerca de otra faena minera, zonas aledañas a otras explotadas con antelación susceptible a la acumulación de agua o que afecte a la estabilización del sector. El artículo 97 hace mención al conocimiento en forma detallada de las labores antiguas, características del terreno, rocas, presencia de nieve y de los depósitos naturales de agua (Fallas y cuevas acuíferas). La información deberá estar actualizada y disponible en todo momento. Se indica también que debe protegerse a las personas de inundaciones y procurar mantener escurrimiento de aguas por medio de cunetas en las vías principales.

El artículo 98 señala que deben tomarse las precauciones en la ubicación de instalaciones en superficie, considerando una distancia tal que no puedan ser afectadas por la explotación de una mina. También se indican condiciones particulares para obras o infraestructura que deba estar en los ingresos de la mina. de manera que no afecten la seguridad.

El artículo 99 menciona que deberá elaborarse y mantenerse actualizado un procedimiento de evacuación del personal en caso de emergencia.

El artículo 100 menciona que deben disponerse refugios al interior de la mina que garanticen la sobrevivencia de las personas por un periodo mínimo de 48 horas.

Los artículos 103 y 104 refuerzan aquellas medidas de evacuación a través de piques y la habilitación de escaleras o escalas.

Capítulo segundo – Equipos de transporte en interior mina

En el capítulo segundo se mencionan aspectos relacionados al tránsito de vehículos o equipos interior mina, y medios de transporte tanto de personas como de materiales. Dentro de las principales disposiciones se encuentra la existencia de un reglamento de transporte (Art 106),

condiciones de seguridad para los equipos (Art 107 y Art 108), condiciones de seguridad para tránsito de personas y movimiento de trenes(Art 109 al 110), en tanto en los artículos del 111 al 112 se especifican algunas condiciones de seguridad en la disposición de ferrocarriles y vías férreas.

Entre los artículos 113 al 117 se especifican las condiciones de seguridad para el uso de correas transportadoras dentro de las cuales se encuentran la existencia de un procedimiento para la instalación, operación inspección, mantención del sistema, pendiente máxima, elementos de seguridad necesarios, condiciones durante la mantención y el caso especial de la extracción por medio de apires.

El artículo 119 indica que debe existir un espacio mínimo de 50 cm a cada lado del equipo y que cada 30 metros deberán disponerse refugios adecuados. Distancias mayores considera un metro a cada costado del equipo. El servicio podrá evaluar condiciones especiales. Entre los artículos 120 al 122 se abordan temáticas relacionadas a interacción personas y equipos y se mencionan condiciones como: vías de tránsito expeditas y en buen estado, uso de reflectantes para personas que trabajen en sectores con equipos de carguío y transporte. El peatón siempre tendrá la preferencia frente a los equipos.

Los artículos 123 y 124 indican dos prohibiciones que consisten en el uso de baldes de equipos de carguío para trasladar personas o explosivos y el ingreso de cualquier equipo a punto de cargo o lugares donde hay material colgado.

Entre los artículos 125 y 126 se especifica el cumplimiento de especificaciones técnicas de equipos, como pendiente máxima (señalada por el fabricante) y cabina resistente.

El señala la disposición de descarga a piques o traspaso para evitar caída de equipos a distinto nivel. Se recomienda topes de seguridad, iluminación, elementos supresores de polvo. El artículo 128 señala que debe existir un reglamento para vehículos de transporte de pasajeros que debe ser aprobado por el servicio.

Capítulo tercero – Maquinaria accionada mediante combustible

Se prohíben los vehículos accionados por motores bencineros. En caso de gas licuado o natural, deberá ser evaluado por las autoridades competentes. En general se permite diésel para interior mina. (Art. 129)

Los artículos 130 y 131 indican la ubicación del tubo de escape y especificaciones técnicas de motor (punto de inflamación requerido).

Entre los artículos 132 y 135 establecen los requisitos técnicos de emisiones de los equipos a diésel para ser considerados en la ventilación mina. Se incluyen límites permisibles.

Capítulo cuarto - Ventilación

Se establece la obligación de presentar un proyecto de ventilación previo a su aplicación para minas subterráneas, el cual deberá ser revisado por el servicio (Art. 136). El resto de los artículos aquí presentes establecen requerimientos de equipos, caudales y otros aspectos técnicos que deben cumplirse en todo momento en la mina subterránea.

Capítulo quinto – Perforación y tronadura

Se indica que deben existir los procedimientos aprobados por la administración de la faena (Art. 153). También, se indica que se usa solamente perforación húmeda en minas subterráneas, salvo que la empresa presente un proyecto (Art 154), que se usan nebulizadores como agente depresor de humo, gases y polvo (Art.155). Es obligatorio usar detector de gases luego de la tronadura (Art 156).

Capítulo sexto – Fortificación

En el artículo 157 Se indica que los trabajos subterráneos deben ser provistos sin retardo de sostenimiento adecuado y pueden quedar sin soporte los sectores que hayan demostrado condición por debajo de los límites críticos que la roca natural es capaz de soportar.

Se hace referencia a galerías no fortificadas, indicando que deben ser periódicamente evaluadas en su estabilidad y acuñadura. También se estipula revisiones a las fortificadas (Art 158).

Se exige la revisión de los piques cuya fortificación sea total o parcial en periodos no superiores a seis meses (Art 159). Para el caso de piques que no estén protegidos o fortificados, deberá disponerse acuñadura permanente cuando se usen para tránsito de personal y materiales (Art. 160).

Para todo sector de la mina que no esté debidamente fortificado, se prohíbe trabajar sin previamente acuñar (Art. 161).

La operación de acuñadura tiene carácter permanente en toda la mina y cada vez que se ingrese a una galería o cámara de producción, la administración deberá elaborar el procedimiento respectivo, que contenga aspectos como: control de techo cajas y frentes de trabajo al inicio y al fin de la jornada y cada vez que se requiera; proporcionar medios y recursos para ejecutar la tarea; capacitación (Art 162).

En caso de acuñar un sector donde existan conductores eléctricos, la acuñadura deberá hacerse hasta una distancia prudente de tal manera que sea segura. Si es necesario, desenergizar (Art 163)

Se indica la obligatoriedad de un reglamento interno de fortificación, el cual deberá ser revisado por el servicio (Art. 164)

Los sistemas de fortificación que se empleen, deben fundarse en decisiones de carácter técnico, dentro de las cuales se consideran: Análisis de parámetros geológicos y geotécnicos de la roca y sollicitaciones a las que estará expuesta a raíz de los trabajos mineros; influencia de factores externos y comportamiento de la roca en el avance de la explotación; sistema de explotación a implementar y diseño de la red de galerías y excavaciones proyectadas; uso y duración de las labores mineras y otros (Art. 165)

Para el caso de apernado y malla se deberán cumplir al menos los siguientes requisitos: Malla y perno de calidad probada y certificada; longitud y patrón de pernos calculado con criterio técnico; planchuela de mínimo 20 centímetros de lado o diámetro; en el caso de los pernos de cabeza de expansión, la tuerca debe cumplir con las condiciones de trabajo; el elemento ligante puede ser encapsulado o inyectado siempre en buen estado; en caso de uso de pernos de fricción (Split set o swellex) el diámetro debe ser el adecuado; si se usa resina, todo el perno debe quedar ligado a la perforación (Art 166).

El artículo 167 hace referencia a las condiciones que deben cumplirse en caso de fortificar en madera.

Los derrumbes se permiten como parte programada y controlada de un método de explotación aprobado por el servicio. No se aceptan derrumbes accidentales. Se prohíbe la remoción o adelgazamiento de pilares de sostenimiento sin que se ofrezca una resistencia similar o mayor. En cualquier caso, debe contarse con una autorización del servicio (Art. 168).

Se especifica que para el control de techos, paredes y pisos, los soportes deben ubicarse de manera sistemática, uniforme y en los intervalos apropiados.

Entre los artículos 170 al 195 Se indican las condiciones de seguridad mínimas necesarias para los equipos y accesorios usados para el transporte vertical o inclinado de personas y/o materiales. se mencionan especificaciones técnicas, jaulas que deben ser presentadas al servicio, prohibiciones, existencia de procedimiento de trabajo, exigencia de cálculo máximo de número de personas en jaula, entre otros.

Capítulo séptimo – Equipos de izamiento

Entre los artículos 170 al 195 Se indican las condiciones de seguridad mínimas necesarias para los equipos y accesorios usados para el transporte vertical o inclinado de personas y/o materiales. se mencionan especificaciones técnicas, jaulas que deben ser presentadas al servicio, prohibiciones, existencia de procedimiento de trabajo, exigencia de cálculo máximo de número de personas en jaula, entre otros.

Capítulo octavo – Prevención y control de incendios

En el artículo 196 se especifica que deben implementarse todas las medidas de prevención y control de incendios y en la elaboración y construcción de proyectos como en las operaciones deben considerarse normas nacionales e internacionales. Además se especifica una serie de requerimientos como: contar con elementos e instalaciones de detección y extinción de incendios con su respectiva mantención, contar con un programa de entrenamiento para prevención y control de incendios; organizar y entrenar brigadas bomberiles industriales y de rescate minero; dictar normas de almacenamiento, uso, manejo y transporte de líquidos combustibles, inflamables y sustancias peligrosas, mantener registro de comportamiento de los sistemas de ventilación frente a una emergencia, capacitación en primeros auxilios.

El artículo 197 menciona que para situaciones de emergencia deberá contarse con un procedimiento de evacuación del personal de la mina, sistemas efectivos de control de ingresos y salidas del personal de la mina, sistemas de alarma, equipos auxiliares de rescate y refugios, efectuar simulacros una vez al año al menos.

El artículo 198 señala que cualquier instalación que se ubique a menos de 50 metros de la entrada de una mina debe ser construida de material incombustible. deberá contarse con puertas metálicas para evitar el ingreso de gases y humo en la entrada.

El artículo 199 indica que los accesos y brocales deben mantenerse libres de desechos y materiales combustibles.

El artículo 200 regula las operaciones de soldaduras o corte dentro de la mina subterránea, las que deben ser autorizadas por la supervisión y contar con todos los resguardos.

El artículo 201 refuerza la existencia de puertas de incendios cerca de material combustible.

El artículo 202 indica que deben contarse con sistemas automáticos de detección y extinción de incendios en equipos e instalación calificados de alto riesgo de combustión.

El artículo 203 indica que las petroleras y lubricanteras o zonas de suministro y mantención de vehículos automotrices deben presentarse al servicio.

El artículo 204 indica que cada unidad diésel debe llevar extintores aun cuando tenga sistema integrado.

El artículo 205 regula el traspaso de líquidos inflamables y combustibles exigiendo lugares ventilados y con las precauciones respectivas.

El artículo 206 indica la conexión a tierra de los tambores, estanques o recipientes usados para traspasar o extraer líquidos inflamables.

El artículo 207 menciona las condiciones de almacenamiento de productos inflamables y combustibles, exigiendo dos horas de exposición al fuego para las puertas.

El artículo 209 menciona que el combustible almacenado en interior mina no debe exceder el consumo estimado para cinco días de operación. Para capacidades mayores, deberá presentarse al servicio.

En el artículo 210 se especifica la distancia mínima de un depósito combustible en superficie de la bocamina, que en ningún caso será menos de 30 metros. También se especifica la distancia entre estanques de combustible.

El artículo 211 menciona las condiciones de seguridad mínimas para las estaciones o lugares destinados a reabastecer de combustible los equipos diésel. En caso de requerir hacerlo por medio de vehículos especiales, debe ser evaluado por el servicio.

El artículo 212 indica que ninguna persona puede entrar si no está autorizada a los lugares de reabastecimiento de combustible ni podrá fumar o usar luz de llama a menos de quince metros.

Capítulo noveno – Instalaciones de servicios

En este capítulo, contemplado entre los artículos 213 y 215, se mencionan las condiciones mínimas de seguridad para talleres, bodegas y lugares subterráneos destinados a mantención.

Capítulo décimo – Sistemas eléctricos

El capítulo décimo contempla los artículos entre el 216 al 236, en los que se mencionan condiciones mínimas de seguridad al interior de la mina como por ejemplo: contar con la aprobación de la SEC de todo equipo eléctrico (Art 2017), presentar al servicio características de equipos y modificaciones al proyecto original, especificación de cables, ubicación de tendido eléctrico opuesto al agua y aire en una sección de túnel, limitación a 600 Volt de tensión en máquinas portátiles, existencia de cable a tierra, incluyendo conexión a carcasas de tableros, rieles de tren y subestaciones eléctricas, existencia de máscaras autónomas en centros de distribución eléctrica, subestaciones eléctricas hechas de materiales incombustibles.

El artículo 222 menciona que, para tensiones superiores a 600 volts, los alimentadores deben ser tipo armado, con cubierta metálica protectora. En caso contrario, deberá presentarse al servicio.

El artículo 225 menciona la altura mínima de 2.1 metros para canalizaciones eléctricas.

El artículo 228 indica la prohibición del uso de transformadores con devanado sumergidos en aceite.

Entre los artículos 229 y 231 se especifican condiciones relacionadas a ferrocarriles, como la prohibición de uso de vías de retorno, las cañerías de agua, las estructuras, blindaje de cables eléctricos ni cables a tierra.

El artículo 232 prohíbe tender cables eléctricos cuya falla pueda generar humo en labores de ingreso y salida de aire.

El artículo 233 menciona la necesidad de desviar el agua procedente del techo tanto para los ferrocarriles como para el caso de la existencia de cable.

El artículo 235 menciona que deben adoptarse las medidas necesarias para operaciones como cachorro, reparación de galerías y otras.

El artículo 236 menciona que la tensión no deberá exceder 220 volts para señalización.

TITULO IV: EXPLOTACION DE MINAS A RAJO ABIERTO

Indica las condiciones de seguridad mínima que deben desarrollarse durante la explotación de minas a rajo abierto.

TITULO V: EXPLOTACION MINERIA DEL CARBON

Indica las condiciones de seguridad mínima que deben desarrollarse durante la explotación de minas de carbón.

TITULO VI: EXPLOTACION MINERIA DEL PETROLEO

Indica las condiciones de seguridad mínima que deben desarrollarse durante la explotación minera del petróleo.

TITULO VII: PROCESAMIENTO DE SUSTANCIAS MINERALES

Indica las condiciones mínimas de seguridad requeridas para el procesamiento de sustancias minerales.

TITULO VIII: CONSTRUCCION DE PROYECTOS Y OBRAS CIVILES EN LA INDUSTRIA EXTRACTIVA MINERA

Capítulo primero – Definiciones y generalidades

En este capítulo se norman todas las instalaciones, transversales a los distintos tipos de minería, como, por ejemplo: construcción de caminos, plataformas, terraplenes, excavaciones, presas, movimiento de tierra, extracción de materiales, montaje de estructuras, edificaciones, instalación y armado de equipos, construcción de campamentos y obras de servicio, instalación y tendido de líneas de energía (Art 345).

Se refuerza la idea de que dos accesos deben quedar separados por un macizo rocoso de al menos 20 metros. Estos accesos no podrán salir al mismo recinto exterior (Art 346) Las cavernas deberán ser construidas mediante la metodología Glory Hole, es decir, mediante banquetes de manera descendente y deben ir fortificadas. (Art 347).

Se especifican las edificaciones superficiales y el uso de andamios (Art 348 y 349).

Se especifican los caminos de acceso al interior de la faena, los que deberán considerar que permita el cruce de dos vehículos de la mayor envergadura. En caso contrario, deben dejarse zonas de cruce (Art 350).

En el caso de caminos de fuerte pendiente, deben contar con salidas de emergencia cada 200 metros y si hay barrancos con pretil de 2/3 de la altura (Art 351).

Las curvas y peraltes deben ser diseñados de acuerdo con las características técnicas de los equipos y condiciones del camino. Velocidad máxima 50 km/h (Art 352).

TITULO IX: INSTALACIONES Y SERVICIOS DE APOYO

Capítulo primero - Generalidades

Entre los artículos 354 y 356 se definen las instalaciones de apoyo como toda infraestructura, equipamiento y construcciones que se establezcan en los recintos de una faena minera para apoyar el funcionamiento de sus operaciones. Se especifican algunos estándares básicos de seguridad. Se incluyen recintos administrativos, bodegas, talleres, campamentos y otras dependencias

Capítulo segundo - Transporte

El artículo 357 establece que los vehículos deben regirse por la ley de tránsito en general, pudiendo incorporar algunas modalidades distintas previa revisión del servicio.

El artículo 358 menciona que todas las operaciones de transporte tanto de materiales como personas debe estar regulado por el reglamento interno.

Entre los artículos 359 y 370 se habla acerca de las condiciones de seguridad que deben considerarse cuando se hace uso de ferrocarriles y trenes.

En el artículo 371 se menciona las limitaciones respectivas y precauciones de equipos como montacargas, palas mecánicas, retroexcavadoras y dragas y cualquier unidad móvil.

El artículo 372 prohíbe el transporte de personal en máquinas industriales.

El artículo 373 estipula los requisitos de las grúas móviles y fijas con relación a su traslado, mantención y operadores.

El artículo 374 menciona los vehículos automotores, los que deben tener inspección diaria.

El artículo 375 menciona los requisitos relacionados a los ascensores de campamentos y plantas.

El capítulo tercero establece las condiciones de seguridad necesarias para los talleres y maestranzas.

TITULO X: NORMAS SOBRE CIERRE DE FAENAS MINERAS

TITULO XI: GENERALIDADES DE EXPLOSIVOS EN LA MINERIA

TITULO XII: PUERTOS DE EMBARQUE DE MINERALES

TITULO XIV: DISPOSICIONES FINALES

TÍTULO XV: NORMAS DE SEGURIDAD MINERA APLICABLES A FAENAS MINERAS QUE INDICA

Los siguientes son los artículos transcritos del reglamento de seguridad minera que tienen mayor relación con las facultades que otorga este reglamento para garantizar la seguridad de las personas en lo que respecta a la geomecánica.

Capítulo tercero - Funciones y atribuciones del servicio

Artículo 13 *Corresponden al Servicio, en forma exclusiva, las siguientes funciones y atribuciones:*

a) Controlar y fiscalizar el cumplimiento de las normas y exigencias establecidas por el presente Reglamento y de aquellas dictadas por el propio Servicio, en el ejercicio de sus facultades.

b) Investigar los accidentes del trabajo, con lesiones a las personas, daños graves a la propiedad que el Servicio estime conveniente, sin perjuicio de lo anterior, siempre deberá investigar aquellos accidentes que hayan causado la muerte de algún trabajador. El Servicio está facultado para tomar declaraciones del hecho al personal involucrado y a la supervisión; estas declaraciones quedarán debidamente registradas y firmadas por el declarante.

c) Exigir el cumplimiento de las acciones correctivas que resulten de las dos atribuciones anteriores.

d) Proponer la dictación de normas, instructivos, circulares y desarrollar todo tipo de actividades de carácter preventivo, tendientes a optimizar los estándares de seguridad en la Industria Extractiva Minera.

Artículo 22 *Previo al inicio de sus operaciones, la empresa minera presentará al Servicio, para su aprobación, el método de explotación o cualquier modificación mayor al método aceptado, con el cual originalmente se haya proyectado la explotación de la mina y el tratamiento de sus minerales. Asimismo, se deberá presentar un proyecto de plan de cierre de las faenas mineras o cualquier modificación mayor que sufra a consecuencia de los cambios del método de explotación o del tratamiento de sus minerales, y sólo podrá operar después de obtener la conformidad del Servicio, el cual deberá pronunciarse dentro de los 60 días siguientes a la presentación.*

Se entiende por modificación mayor, a cambios importantes de ritmos de explotación, de tecnología y diseño en los métodos de explotación, ventilación, fortificación o de tratamiento de minerales determinados y nuevos lugares de ubicación, ampliación o forma de depositación de residuos mineros, por alteraciones en el tipo de roca, leyes o calidad de los minerales, como también, adelantos tecnológicos, que impliquen más que una simple ampliación de tratamiento para copar las capacidades de proyecto de sus instalaciones.

Las Empresas Mineras deberán enviar, a petición del Servicio, una descripción de sus faenas, incluyendo datos o estimaciones acerca de las reservas de minerales clasificadas, capacidades instaladas y proyectos de ampliación.

De igual forma se deberá proceder con los botaderos de estériles, relaves y rípios de lixiviación.

Artículo 29 *Las Empresas mineras, para la ejecución de sus trabajos, deberán regirse primeramente por las normas técnicas especificadas en este Reglamento, luego por las aprobadas por los competentes Organismos Nacionales y en subsidio, por aquellas normas técnicas internacionalmente aceptadas.*

Artículo 33 *Las empresas mineras deberán contar en sus faenas, en forma permanente o esporádica, con la dirección o asesoría técnica de uno o más ingenieros de minas o metalurgistas, civiles o de ejecución, según corresponda, cuyos títulos hayan sido reconocidos en Chile, quienes firmarán todo proyecto y se harán responsables por las obras mineras cuya ejecución tengan a cargo.*

Artículo 58 *Las faenas mineras deberán disponer de medios expeditos y seguros, para el acceso y salida del personal desde cualquier parte de ellas. Estos deberán ser mantenidos en forma conveniente. Para facilitar la circulación, los caminos, senderos y labores deberán mantenerse en buenas condiciones y debidamente señalizadas.*

Artículo 80 *En las minas nuevas en explotación, las labores principales de comunicación con la superficie se construirán separadas por macizos de veinte (20) metros de espesor, a lo menos, y no podrán salir a un mismo recinto o construcción exterior. Las instalaciones de cabrías o edificios construidos sobre la entrada de las labores de comunicación con la superficie, serán de material incombustible y no podrán ser utilizadas, a la vez, como depósitos de materiales combustibles o explosivos.*

En las instalaciones antiguas o provisionales que no cumplan con lo prescrito en el inciso anterior, se tomarán las precauciones indicadas por las circunstancias con el fin de evitar la propagación de un incendio y el efecto perjudicial del humo en la respiración de las personas que se encontrasen en las labores subterráneas.

En tal caso se deberán instalar puertas contra incendio y eficaces sistemas de detección y extinción de incendios, los que pueden ser automáticos o manuales; si dichos sistemas fueren manuales, en el recinto deberá permanecer una persona adecuadamente instruida mientras se encuentre una o más personas en las labores subterráneas.

Artículo 92 *En aquellas labores cuya operación haya sido discontinuada por algún tiempo, el Administrador dispondrá que sea exhaustivamente inspeccionada antes de reanudar los trabajos, a fin de cerciorarse que en el lugar no existan condiciones de riesgos en la fortificación, sistemas de desagüe, superficies de tránsito, gases nocivos o deficiencias de oxígeno que pongan en peligro la vida o salud de las personas. Esta inspección deberá realizarse por un grupo formado por a lo menos de dos personas, avanzando de uno en uno separados por una distancia razonable, que les permita auxiliarse en caso de emergencia. Estos deberán contar con detectores y elementos de protección personal apropiados.*

Artículo 95 *En las minas cuyo método de explotación pudiere generar hundimientos o cráteres que alcancen hasta la superficie y en que exista la posibilidad de que personas ajenas a la faena, o sin el conocimiento necesario, puedan transitar por la zona de hundimiento, se deberán colocar barreras de protección y señalización para advertir el peligro existente en dicha zona, incluyendo toda la zona de posible subsidencia.*

Artículo 96 *Para poder explotar labores subterráneas en la misma vertical o en zonas muy próximas a labores subterráneas pertenecientes a otra faena minera, se deberá presentar al Servicio un estudio técnico sobre la viabilidad del proyecto, con relación a cautelar debidamente la estabilidad de las labores mineras y la seguridad de personas e instalaciones. Igual medida deberá tomarse cuando se explote zonas aledañas a otras explotadas con antelación, susceptible a la acumulación de agua o afecte la estabilización del sector. El Servicio tendrá un plazo de sesenta (60) días, desde la fecha de presentación ante su Oficina de Parte, de la solicitud, para aprobar el proyecto presentado.*

Artículo 97 *La Empresa Minera debe documentarse en forma detallada respecto a la situación, extensión y profundidad de las labores antiguas, características del terreno, rocas, presencia de nieve y de los depósitos naturales de agua (fallas y cuevas acuíferas) que puedan existir dentro de sus pertenencias. Esta información deberá estar actualizada y disponible en todo momento.*

Se tomarán las acciones necesarias para proteger a las personas contra inundaciones de agua o barro, cuando los trabajos mineros se desarrollen en las proximidades de napas o bolsones de agua.

En las vías principales o de tránsito deberán hacerse cunetas para mantener el escurrimiento de las aguas y evitar la existencia de lodo y aguas estancadas.

Artículo 157 *Los trabajos subterráneos deben ser provistos, sin retardo, del sostenimiento más adecuado a la naturaleza del terreno y solamente podrán quedar sin fortificación los sectores en los cuales las mediciones, los ensayos, su análisis y la experiencia en sectores de comportamiento conocido, hayan demostrado su condición de autosostento consecuente con la presencia de presiones que se mantienen por debajo de los límites críticos que la roca natural es capaz de soportar.*

Artículo 165 *Los sistemas de fortificación que se empleen, deben fundarse en decisiones de carácter técnico, donde se consideren a lo menos, los siguientes aspectos de relevancia:*

- a) Análisis de parámetros geológicos y geotécnicos de la roca y solicitaciones a la que estará expuesta a raíz de los trabajos mineros.*
- b) Influencia de factores externos y comportamiento de la roca en el avance de la explotación.*
- c) Sistema de explotación a implementar y diseño de la red de galerías y excavaciones proyectadas.*
- d) Uso y duración de las labores mineras.*
- e) Otros, según se observe.*

Cualquiera sea el sistema que se aplique, éste debe estar claramente reglamentado, aplicado y controlado por la Administración de la faena minera, informando de ello al Servicio.

Artículo 168 *Los derrumbes se permiten como parte programada y controlada de un método de explotación aprobado por el Servicio.*

Se prohíbe aceptar, en forma sistemática u ocasional, el uso de derrumbes accidentales, siendo obligatoria la prevención de estos últimos.

Se prohíbe la remoción o adelgazamiento de los estribos o pilares de sostenimiento sin que sean reemplazados por elementos que ofrezcan una resistencia similar o mayor. Ello solo se permitirá si se implementa un sistema de explotación técnicamente factible, el que deberá contar con la autorización del Servicio.

Artículo 288 *En el método de explotación por cámaras y pilares con recuperación de los pilares, el arranque de éstos debe emprenderse lo más rápidamente posible después de terminado el ciclo de trabajo.*

Artículo 346.- *En una mina subterránea, en caso de existir dos o más accesos principales paralelos comunicados a superficie, éstas deben quedar separadas por un macizo rocoso de no menos de veinte metros (20 m.) de espesor y de acuerdo con lo que determinen los cálculos de resistencia del material. Estos accesos no podrán salir al mismo recinto o construcción exterior.*