SERNAGEOMIN
Ministerio de Minería

Gobierno de Chile

GUIA METODOLOGICA DE EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA EL CIERRE DE FAENAS MINERAS

Versión 01

Marzo de 2014

Este documento ha sido Aprobado mediante la Resolución Exenta N°0599, del 28 de Marzo de 2014, del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Preparado para:

Servicio Nacional de Geología y Minería. SERNAGEOMIN

Av. Santa Maria 0104

Providencia – Santiago de Chile.

www.sernageomin.cl

Preparado por:

ARCADIS

Antonio Varas 621

Providencia – Santiago de Chile.

www.arcadis.cl

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO....8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN....9
CAPÍTULO II. OBJETIVOS....11
1. OBJETIVOS....11
1.1. Objetivo General....11
1.2. Objetivos Específicos....11
CAPÍTULO III. ALCANCE....12
1. ESCENARIO DE EVALUACIÓN....12
2. APLICABILIDAD DE LA GUIA....13
3. INSTALACIONES MINERAS....13
CAPÍTULO IV. CONCEPTUALIZACIÓN DEL RIESGO....14
1. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UN HECHO....16
2. SEVERIDAD DE CONSECUENCIAS....19
CAPÍTULO V. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA....23
1. DESCRIPCIÓN GENERAL....23
2. IDENTIFICACIÓN DE INSTALACIONES MINERAS....25
3. IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS....28
4. ANÁLISIS DE LOS RIESGOS....33
4.1 Análisis de la Probabilidad de Ocurrencia de un Hecho....33
4.2 Análisis de la Severidad de las Consecuencias....42
5. EVALUACIÓN DEL RIESGO....55
6. NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL RIESGO....56
7. TRATAMIENTO DEL RIESGO....56
8. RIESGO RESIDUAL....57
9. OPERATIVIDAD EN LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA....58
CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA GUÍA....59
1. CARACTERÍSTICAS DEL CASO DE ESTUDIO....59
2. DESARROLLO DEL EJEMPLO....61

2.1 Análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho 61
2.2 Análisis de la Severidad de las Consecuencias 68
Resultado del Índice de Medidas de Cierre (IMC2) = 0.65 70
2.3 Evaluación del Nivel de Riesgo 75
2.4 Tratamiento del riesgo 77
2.5 Riesgo Residual 78
BIBLIOGRAFÍA 79
ANEXOS 81
ANEXO A: GLOSARIO DE TÉRMINOS 82
ANEXO B: GLOSARIO DE SIGLAS 86
ANEXO C: TABLAS DE FACTORES TÉCNICOS DE LAS INSTALACIONES MINERAS 88
1. Mina de Labores Subterráneas (MS) 88
2. Mina Rajo Abierto. Open Pit (MR) 93
3. Depósitos de Relaves (DR) 96
4. Ripios de Lixiviación (RL) 105
5. Depósito de Estériles (DE) 112
6. Depósito de Escorias (DL) 123
ANEXO D: METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LAS FÓRMULAS DE LOS FACTORES TÉCNICOS 124
ANEXO E: FORMATO DIGITAL PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO 133

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ejemplo para determinar el nivel de probabilidad 17
Tabla 2. Ejemplo para determinar el nivel de consecuencias..... 20
Tabla 3: Instalaciones Principales. 25
Tabla 4: Instalaciones Complementarias. 26
Tabla 5: Instalaciones Auxiliares..... 27
Tabla 6: Riesgos identificados para Mina de Labores Subterráneas. 29
Tabla 7: Riesgos identificados para Mina Rajo Abierto (Open Pit) 29
Tabla 8: Riesgos Identificados para Depósitos de Relaves 30
Tabla 9: Riesgos Identificados para Ripios de Lixiviación. 31
Tabla 10: Riesgos Identificados para Depósitos de Estériles. 32
Tabla 11: Riesgos Identificados para los Depósitos de Escoria 32
Tabla 12. Tabla para la selección del Nivel de Probabilidad de ocurrencia del Evento Natural 35
Tabla 13. Ejemplo de la estructura de la tabla para la evaluación de Factores Técnicos 37
Tabla 14. Determinación del Índice de Medidas de Cierre..... 39
Tabla 15. Nivel de la Condición de la Instalación 40
Tabla 16. Características para el análisis de la Severidad de las Consecuencias en las Personas 45
Tabla 17. Análisis de la Severidad de las Consecuencias en las Personas. 47
Tabla 18. Nivel de la Severidad de las Consecuencias a las Personas. 48
Tabla 19. Consideraciones de cada componente ambiental. 49
Tabla 20: Variables para el análisis de la Severidad de las Consecuencias en los Componentes Ambientales. 50
Tabla 21. Análisis de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente 53
Tabla 22. Nivel de la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente 54
Tabla 23: Factores Técnicos para Mina Subterránea. Subsidencia a causa de colapso de pilares y puentes de roca. 88
Tabla 24: Factores Técnicos para Mina Subterránea. Incremento en la envolvente de subsidencia, que sobrepase los límites del diseño para el cierre, a causa de un sismo..... 90
Tabla 25: Factores Técnicos para Mina Subterránea. Acidificación agua mina subterránea. 91
Tabla 26: Factores Técnicos para Mina Rajo. Falla en el talud del rajo, que sobrepase la zona de exclusión a causa de un sismo. 93
Tabla 27: Factores Técnicos para Mina Rajo. Infiltración DAR proveniente de la Mina. 94
Tabla 28: Factores Técnicos para Depósitos de Relaves. Liberación de Relaves a Causa de un Sismo..... 96

Tabla 29: Factores Técnicos Depósitos de Relaves. Liberación de Relaves a causa de una erosión interna resultante de piping. 98
Tabla 30: Factores Técnicos Depósitos de Relaves. Overtopping a causa de lluvia intensa y/o crecida. 100
Tabla 31: Factores Técnicos Depósitos de Relaves. Overtopping a causa de remoción en masa. 101
Tabla 32: Factores Técnicos Depósitos de Relaves. Contaminación de Aguas Subterráneas a causa de Infiltración de DAR 102
Tabla 33: Factores Técnicos Depósitos de Relaves. Contaminación atmosférica a causa de infiltración de viento. 104
Tabla 34: Factores Técnicos Ripios de Lixiviación. Falla de talud a causa de un sismo. 105
Tabla 35: Factores Técnicos Ripios de Lixiviación. Falla de talud a causa de erosión hídrica. 107
Tabla 36: Factores Técnicos Ripios de Lixiviación. Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración DAR (Pilas Estáticas). 107
Tabla 37: Factores Técnicos Ripios de Lixiviación. : Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración DAR (Botaderos de Ripios de Lixiviación). 109
Tabla 38: Factores Técnicos Ripios de Lixiviación. Contaminación de agua superficial a causa de crecida/inundación 110
Tabla 39: Factores Técnicos Ripios de Lixiviación. Contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa de viento 111
Tabla 40: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Contaminación de aguas subterráneas a causa de lluvia 112
Tabla 41: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Contaminación de aguas subterráneas a causa de una crecida 114
Tabla 42: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Emisiones de partículas a la atmósfera a causa de viento 115
Tabla 43: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Contaminación de aguas superficiales a causa de lluvia intensa 115
Tabla 44: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Contaminación de aguas superficiales a causa de crecida 117
Tabla 45: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Erosión hídrica a causa de lluvia o deshielo diferido intenso. 118
Tabla 46: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Deslizamiento a causa de un sismo 121
Tabla 47: Factores Técnicos Depósitos de Escorias. Lixiviación Natural a causa de lluvia. 123

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Esquema del ciclo de vida útil de un proyecto minero. 9
Figura N° 2: Esquema de escenario de evaluación de riesgos. 12
Figura N° 3: Esquema de la definición de Riesgo según Reglamento de la Ley 20.551. 15
Figura N° 4: Esquema de la definición de Probabilidad de Ocurrencia de un Hecho 19
Figura N° 5: Esquema de la definición de la Severidad de Consecuencias..... 21
Figura N° 6: Esquema de la Metodología propuesta para la Evaluación de Riesgos en el CFM. 24
Figura N° 7: Ejemplo esquemático de la Identificación de Riesgos. 28
Figura N° 8: Ejemplo esquemático del análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho. 34
Figura N° 9: Esquema del análisis de la Probabilidad de Ocurrencia de un Hecho. 36
Figura N° 10: Matriz del análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho . 41
Figura N° 11: Ejemplo de empleo de la Matriz del análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho 41
Figura N° 12: Análisis de la Severidad de las Consecuencias 43
Figura N° 13: Esquema del análisis de la Severidad de las Consecuencias en las Personas (SCp)..... 43
Figura N° 14: Esquema del análisis de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente. 48
Figura N° 15: Matriz de Evaluación de Riesgos 55
Figura N° 16: Establecimiento de la significancia del nivel de riesgo 56
Figura N° 17: Caso de Estudio: Tranque de Relaves "X" 59
Figura N° 18: Esquema de subsidencia a causa de colapso de pilares y puentes roca. (Método caserones y pilares)..... 89
Figura N° 20: Esquema del incremento en la envolvente de subsidencia, que sobrepase los límites del diseño para el cierre, a causa de un sismo (Método de Hundimiento) 91
Figura N° 21: Esquema Depósito de Ripios de Lixiviación..... 105
Figura N° 22: Ejemplo de la página inicial de la Planilla tipo 1. 134
Figura N° 23: Ejemplo de la Planilla tipo 2 135
Figura N° 24: Ejemplo de la Planilla Tipo 3..... 136

RESUMEN EJECUTIVO

La evaluación de riesgos que se debe desarrollar en una faena minera, es una parte esencial dentro de la formulación del Plan de Cierre que cada empresa minera debe presentar al SERNAGEOMIN. Su importancia radica en que el resultado de dicha evaluación permitirá definir las obras, medidas o actividades de cierre destinadas al control del riesgo de manera de resguardar la vida, salud y seguridad de las personas y el medio ambiente en cumplimiento a lo establecido en la legislación vigente.

Si bien cada empresa minera puede realizar la evaluación de riesgos con la metodología que considere pertinente, en el presente documento se entrega un instrumento metodológico, que puede ser empleado tanto por los profesionales del SERNAGEOMIN como por las empresas mineras, el cual establece criterios y procedimientos para desarrollar en forma trazable y eficiente la identificación, análisis y evaluación de los riesgos que podrían presentarse en las faenas mineras de Chile con ocasión del cierre de las instalaciones y para el periodo posterior al cierre mismo.

La metodología de la presente Guía permite obtener los niveles de riesgo para cada una de las instalaciones de la faena, mediante la combinación de dos elementos esenciales en el análisis: la **Probabilidad** de ocurrencia de un hecho y la **Severidad** de sus consecuencias. Conforme a ello, se han establecido procedimientos de análisis para cada uno de estos elementos, bajo el criterio de la singularidad que cada instalación minera.

Por tanto, para el caso de la Probabilidad de ocurrencia de un hecho, se ha incorporado un profundo análisis de los factores técnicos (condiciones de operación) de cada instalación minera y de las medidas de cierre que son consideradas en la aprobación ambiental y sectorial del proyecto.

Por otro lado, para determinar la Severidad de las consecuencias se han establecido componentes, tanto para el medio ambiente como para las personas, de forma de identificar las características propias del lugar de emplazamiento y su realidad local, representando de la mejor manera la respuesta de las personas y del medio ambiente existente en el área de influencia, ante la ocurrencia de un hecho.

Finalmente con ambos valores identificados, se determina a través de una matriz el nivel de significancia del riesgo para cada una de las instalaciones mineras.

Adicionalmente y como soporte para el mejor entendimiento de la presente Guía, se presenta un ejemplo de aplicación con un caso hipotético de depósito de relaves, donde se desarrolla paso a paso cada una de las etapas de la presente evaluación.

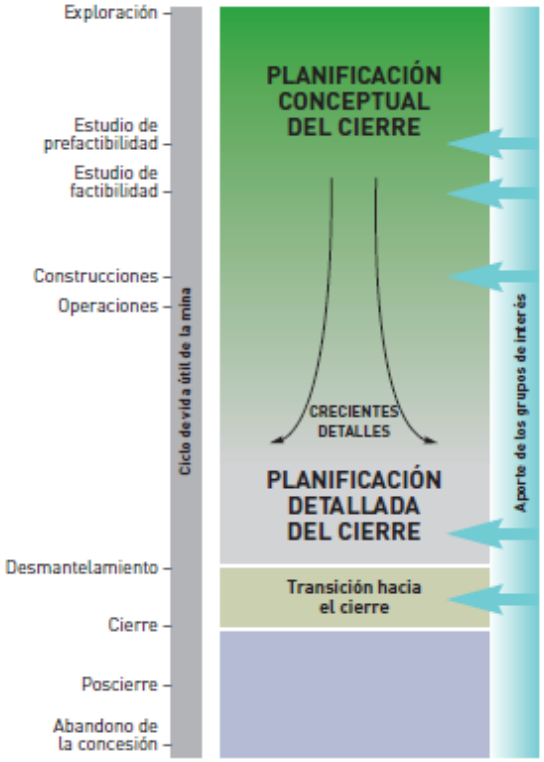
Esta Guía se ha estructurado de tal manera de servir como una herramienta sencilla de apoyo, presentando al inicio la base conceptual, seguido del desarrollo propiamente tal de la metodología y finalizando con un ejemplo didáctico del procedimiento que se propone seguir, todo esto apoyado con la operatividad de la herramienta mediante el uso de planillas de Excel adjuntas al documento.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En noviembre del año 2012 entró en vigencia la Ley N° 20.551 que regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras ("LCFM"), lo mismo que su respectivo Reglamento ("RLC"). Esta nueva normativa enfatiza que la fase de cierre es parte del ciclo de vida de una faena y en tal sentido debe ser diseñada y planificada desde etapas tempranas del proyecto, por lo que se hace esencial la integración de consideraciones sobre el cierre desde los procesos del diseño de la ingeniería, durante la construcción y principalmente en el periodo de operación de la misma.

Esta visión es promovida internacionalmente por el *International Council on Mining & Metals* – ICMM, la que de alguna forma ha sido recogida en la práctica tanto de la industria extractiva minera nacional como de los órganos reguladores de la minería, entre ellos SERNAGEOMIN.

Figura N° 1: Esquema del ciclo de vida útil de un proyecto minero.



Fuente: Planificación del Cierre Integrado de Minas: Equipo de Herramientas – ICMM.

Una de las principales consideraciones que establece la normativa de cierre es la protección de la vida, salud y seguridad de las personas y la protección del medio ambiente, mitigando los efectos adversos que se derivan del desarrollo de la industria extractiva minera, en los lugares que esta se realice, de forma de asegurar la

estabilidad física y química de las instalaciones o infraestructura remanente al cierre de las operaciones mineras.

La normativa establece que toda faena minera, para empezar con sus operaciones, debe contar previamente, con un plan de cierre aprobado por SERNAGEOMIN, el cual tiene como objetivo la integración y ejecución del conjunto de medidas y acciones destinadas a mitigar los efectos negativos que se derivan del desarrollo de un proyecto minero en los lugares donde éste se realice.

En el entendido que la fase de cierre es parte del ciclo de vida útil de la faena, corresponderá a la empresa minera planificar, presupuestar e implementar medidas de cierre desde la etapa de diseño, incluyendo la construcción y operación del proyecto.

Estas medidas deberán tender a "*prevenir, minimizar o controlar los riesgos y los efectos negativos*" sobre la vida e integridad de las personas y el medio ambiente. El elemento central con el cual se deben definir las obras, medidas y actividades de cierre y post cierre es la evaluación de riesgos, de manera que tales obras permitan hacer el tratamiento de dichos riesgos de la faena en condición de cierre. Tal como se indica en el Reglamento de la Ley de Cierre, la evaluación de los riesgos es el procedimiento mediante el cual se establecen y analizan los riesgos de una faena minera de forma de determinar si dichos riesgos revisten o no el carácter de significativo. [1]

En atención a que las empresas mineras deberán identificar y evaluar sus riesgos, SERNAGEOMIN pone a disposición de la industria extractiva minera la presente Guía de manera de orientar el cumplimiento de esta importante tarea. La base de esta metodología radica en la identificación y cuantificación de los riesgos manteniendo los lineamientos de la norma "*ISO 31.000 Risk Management Principles and Guidelines"* y complementado con el análisis de factores técnicos operacionales, además de las condiciones geográficas que permitan que la evaluación recoja los aspectos propios e individuales de cada faena.

Esta Guía presenta una estructura tal, que permite identificar y evaluar los riesgos de una instalación en su condición de cierre en forma progresiva durante la vida útil de la operación minera.

[1] Según artículo 7, letra l) del Reglamento Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras (DS41/12).

CAPÍTULO II. OBJETIVOS

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

Contar con un instrumento metodológico para la evaluación de riesgos de las instalaciones con las que se compone una faena minera en condición de cierre, que pueda ser empleado a lo largo de la vida útil del proyecto minero y orientado a alcanzar la estabilidad física y química de las respectivas instalaciones mineras.

1.2. Objetivos Específicos

- Proporcionar un instrumento metodológico para la evaluación de riesgos de una faena minera en condición de cierre, que podrá ser utilizado tanto por las empresas mineras como por los profesionales de SERNAGEOMIN en la revisión de proyectos.

- Establecer los criterios y procedimientos para desarrollar en forma trazable y eficiente la identificación, análisis y evaluación de riesgos de las instalaciones que componen una faena minera.

- Proporcionar una herramienta para la evaluación de riesgos que permita realizar dicha evaluación en cualquier momento de la vida útil del proyecto.

CAPÍTULO III. ALCANCE

1. ESCENARIO DE EVALUACIÓN

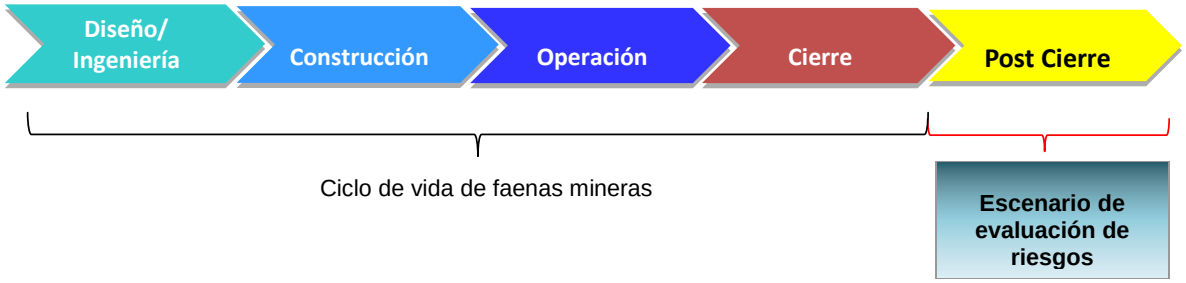
De acuerdo a lo que se ha mencionado anteriormente, la evaluación de riesgos será un proceso iterativo durante todo el ciclo de vida de la faena, teniendo como escenario la condición en que las instalaciones quedarán luego de finalizar las operaciones mineras y considerando que las obras propias de la etapa de cierre ya han sido implementadas en tiempo y forma.

Al inicio de cada proyecto minero, la Empresa deberá realizar una evaluación de riesgos, como requisito para el plan de cierre, y se deberá ir actualizando conforme el proyecto minero va avanzando en su desarrollo.

La metodología propuesta en esta Guía permitirá que la empresa minera presente al Servicio, para su revisión, los niveles de riesgo resultantes de su evaluación, considerando tanto las medidas de cierre propuestas en el diseño aprobado como posibles nuevas medidas y adecuaciones para el control de sus riesgos.

La Figura N° 2 esquematiza el escenario en el cual deben ser evaluados los riesgos.

Figura N° 2: Esquema de escenario de evaluación de riesgos.



Fuente: Elaboración propia.

2. APLICABILIDAD DE LA GUIA

Tal como se ha planteado en los objetivos, esta guía propone una metodología que puede ser empleada por las empresas mineras en la evaluación de los riesgos para el cierre de faenas mineras y por los funcionarios de SERNAGEOMIN para la revisión de los Planes de Cierre.

Se debe precisar que esta Guía Metodológica no tiene el carácter de obligatoria, sin perjuicio que su objetivo sea orientar la evaluación de riesgos, pudiendo cada empresa minera emplear la metodología que más se ajuste a la realidad de su faena.

Esta Guía se desarrolló para aquellas empresas mineras de explotación de cobre, hierro, oro y carbón, con capacidad de extracción de mineral superior a diez mil toneladas brutas (10.000 ton) mensuales por faena[2].

3. INSTALACIONES MINERAS

Según lo establece la normativa, el análisis de riesgos debe desarrollarse para todas las instalaciones que componen una faena minera. Con el objetivo de focalizar la metodología en aquellas instalaciones que permanecerán en el área luego de cerrada la faena minera (etapa de post cierre), se han diferenciado tres grandes grupos de instalaciones denominados: *instalaciones principales, instalaciones complementarias e instalaciones auxiliares*, que a continuación se detallan:

1. **Instalaciones Principales**: Las instalaciones principales son aquellas de mayor envergadura presentes en una faena minera, y son: mina rajo, mina subterránea y depósitos de residuos mineros masivos en general (botaderos de estéril, ripios y depósitos de relaves), que por sus características de permanencia en la etapa de post cierre requieren de un detallado análisis de riesgos.

2. **Instalaciones Complementarias**: Son aquellas instalaciones que por sus características al momento del cese de las operaciones requieren la aplicación directa de medidas sugeridas en el Reglamento de la Ley de Cierre[3], complementadas con la ejecución de buenas prácticas recomendadas a nivel internacional. Entre estas instalaciones se encuentran las plantas de proceso, instalaciones de suministro, infraestructura de servicios, obras lineales y fundiciones.

   Por regla general, en estos casos específicos el Evaluador no aplicará la metodología de evaluación de riesgos, aun cuando deberá respaldar

[2] Según artículo 10, Ley de Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras (Ley N° 20.551)
[3] Según artículo 17, inciso d) del Reglamento Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras (DS 41/12).

técnicamente las medidas de cierre que implementará ante los escenarios de riesgo que su instalación pueda presentar.[4]

3. **Instalaciones Auxiliares**: Considera instalaciones referidas a los almacenamientos o acopios de residuos que típicamente se generan en una faena minera, que podrían significar riesgos en la condición de cierre, pero que se encuentran regulados por la autoridad sanitaria. Entre estas instalaciones se encuentran los depósitos de residuos peligrosos, almacenamiento o depósitos de residuos industriales no peligrosos y los rellenos sanitarios o almacenamiento de residuos domésticos.

Conforme a lo anterior, la presente Guía focaliza la evaluación de riesgos en las instalaciones más relevantes desde el punto de vista del cierre de faenas mineras, como son las minas y los residuos mineros masivos, dejando a las buenas prácticas aceptadas en la industria y el cumplimiento de la regulación sanitaria los otros tipos de instalaciones presentes en una faena.

CAPÍTULO IV. CONCEPTUALIZACIÓN DEL RIESGO

Durante la formulación de la metodología presentada en la Guía, se realizó una extensa revisión bibliográfica de la base conceptual referida a la obtención de los niveles de riesgo, no solo en el rubro minero sino considerando también otras áreas, por ejemplo la gestión de riesgos de desastres naturales y ordenamiento territorial. En cada caso el planteamiento de la metodología empleada para la evaluación de riesgos dependerá de la base conceptual adoptada, del enfoque del proyecto y de los alcances que se pretende realizar con los resultados[5].

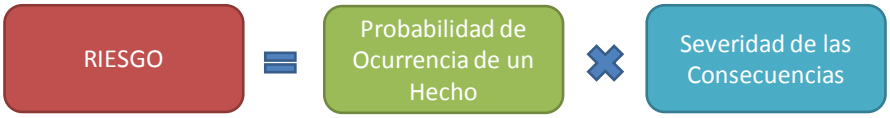
En general, las evaluaciones de riesgo en la industria minera en Chile han tenido como concepto de partida que el riesgo es el resultado de la relación entre la probabilidad y la consecuencia. Lo anterior, procede originalmente a lo establecido en la ISO/IEC Guide 73 que define el Riesgo como: "Combinación de la probabilidad de un suceso y su consecuencia"[6], aun cuando no es una norma específica para la minería.

Actualmente en la industria minera chilena, la metodología que suele emplearse en líneas generales consiste en la formulación de planillas o matrices donde se selecciona el nivel de probabilidad del evento analizado y sus consecuencias en función de criterios cualitativos o semi cualitativos. Los criterios dependerán de la tolerancia al riesgo que cada evaluador decide aceptar y, por tanto, se ha tendido a que cada empresa minera formule una matriz de evaluación de riesgos de acuerdo a su conveniencia.

[4] Por ejemplo, en el caso de una planta de proceso de chancado se podría identificar como medida a realizar el desmantelamiento para evitar el escurrimiento de aceites u otros elementos que pudieran afectar al medio ambiente.
[5] En la bibliografía presentada podrá observarse la amplitud de la revisión que se llevó a cabo.
[6] ISO 31000, ISO 31010 e ISO/IEC Guide 73.

En este mismo sentido, en el Reglamento de la Ley de Cierre se plantea que se entenderá como **riesgo significativo** a "*aquel que revista importancia en atención a la probabilidad de ocurrencia de un hecho y la severidad de sus consecuencias*"[7].

Figura N° 3: Esquema de la definición de Riesgo según Reglamento de la Ley 20.551.



Fuente: Elaboración propia.

Un análisis realizado de la situación de las faenas mineras en operación da cuenta de un fenómeno muy importante a la hora de implementar el cierre, como es el hecho de que si bien ella puede haberse diseñado correctamente, dependerá de una adecuada construcción y posterior operación el alcanzar los objetivos de estabilidad física y química en condición de cierre. Esto es, que una instalación minera puede haberse diseñado con ciertas características y bajo condiciones de operación que, durante la vida útil no es posible alcanzar por diversas razones, en cuyo caso un buen diseño se ve necesariamente afectado por una incorrecta operación lo que podría derivar en la aparición de algún riesgo significativo.

Como resultado de lo anterior, y con la finalidad de enriquecer el análisis, se ha considerado incluir en el procedimiento de evaluación de riesgos factores técnicos de operación de la instalación minera evaluada, variables que reflejen el escenario que se presentaría en las personas y medio ambiente en caso de ocurrir algún hecho, además de la incidencia de las medidas de cierre que se proponen para reducir el nivel de riesgo.

En definitiva, para evaluar los riesgos de una determinada instalación minera en condición de cierre, se incorporará no sólo los criterios de diseño sino que ciertos factores técnicos propios de la operación minera.

La evaluación de riesgos para el cierre de faenas mineras es una tarea compleja que abarca desde el análisis del evento que podría desencadenar el riesgo, su probabilidad de ocurrencia en un período determinado y la severidad de sus consecuencias entre otros aspectos.

Es precisamente en este punto donde se ha considerado importante incorporar el análisis de las características técnicas de la instalación minera, pues si bien no es posible predecir absolutamente cómo se comportará la instalación bajo la incidencia de un evento natural una vez cerrada, sí es posible esperar que una adecuada construcción y operación asegure una mejor respuesta ante un evento determinado una vez cerrada la faena.

[7] Según artículo 7, Reglamento de Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras (DS 41/12).

En cuanto a la Severidad de las Consecuencias, se debe tener en cuenta que el objetivo principal del cierre es resguardar la vida, salud y seguridad de las personas y el medio ambiente.

En este mismo sentido, dada la variabilidad de las características de las personas y el medio ambiente en cada faena minera, es que se ha incorporado en la metodología un procedimiento que permita de manera sencilla caracterizar los componentes referidos a las personas y el medio ambiente.

Es importante indicar que si bien, en este aspecto de la Guía se han seguido ciertos criterios conceptuales evidenciados en la literatura, éstos han sido "adaptados" a la materia en evaluación teniendo como criterio de validación tanto la experiencia técnica de especialistas del SERNAGEOMIN y del juicio experto del consultor.

En este sentido, podemos entender el *riesgo residual* como el nivel de riesgo resultante luego de haber realizado el tratamiento del riesgo[8]. De esta forma, se podrá establecer que si el resultado de la evaluación de un determinado riesgo resulta con un nivel "no significativo" (*bajo*), este nivel se considerará como el "riesgo residual" en atención a que deriva tanto de una adecuada operación de la instalación minera como asimismo de la efectividad de las medidas de control comprometidas en el diseño.

La metodología formulada en la presente Guía, a objeto de hacer efectivo su empleo, es acompañada en un formato digital mediante el uso de planillas en Excel que permiten el desarrollo paso a paso de la evaluación de cada riesgo.

Previo a la explicación de la metodología propuesta, y debido a la importancia de los componentes del Riesgo, como son la Probabilidad de Ocurrencia de un Hecho y la Severidad de las Consecuencias, a continuación se aborda una breve conceptualización de ambos términos iniciando primero con las definiciones generales analizadas de la bibliografía consultada, para luego formular las definiciones concretas para la presente Guía.

1. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UN HECHO

Como se ha indicado en puntos anteriores, para plantear el procedimiento más adecuado para el análisis de la Probabilidad de Ocurrencia de un Hecho, se han revisado los conceptos y enfoques empleados en el ámbito nacional e internacional. a continuación se citan a manera de referencia algunos de ellos:

La ISO/IEC Guide 73 define el término Probabilidad como "*grado en que un suceso (ocurrencia de una serie de circunstancias particulares) puede tener lugar*". Asimismo, propone que la probabilidad corresponde a "un número real situado en la escala de 0

[8] ISO/CEI Guide 73 Terminology.

a 1 asignado a un suceso fortuito. Puede estar relacionado con una frecuencia de ocurrencia relativa a largo plazo o con un grado de creencia de que ocurra un suceso. Para un alto grado de creencia, la probabilidad se acerca a 1". El mismo documento agrega que "estos grados de creencia acerca de la probabilidad se pueden elegir como clases o categorías, como:

– Rara / improbable / moderada / probable / casi segura, o
– Increíble / improbable / remota / ocasional / probable / frecuente".

Así mismo, la International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE)[9], considera la probabilidad como una medida de certeza con valores entre 0 (imposible) y 1 (cierto), planteando dos enfoques al momento de su análisis:

a. Estadístico - Frecuencia o fracción.
b. Probabilidad subjetiva (grado de creencia). Cuantifica la medida de la creencia, es decir del juicio, o la confianza en la probabilidad de un resultado, formulado considerando toda la información disponible con honestidad, imparcialidad, y con un mínimo de sesgo.

Por su parte, el ICMM presenta "ejemplos y sugerencias que pueden ser redefinidos para ajustarse a las circunstancias y la sensibilidad ante los riesgos de cualquier organización"[10], para el caso específico del análisis de probabilidad se propone lo siguiente:

Tabla 1: Ejemplo para determinar el nivel de probabilidad[11]

Escala	Probabilidad	Descripción
1	Improbable	Sería necesario un cambio sustancial de las circunstancias para crear el ambiente propicio para que esto ocurra, y, de todos modos es un suceso poco común en la industria de minería y metales en cualquier lugar.
2	Poco probable	No existen circunstancias específicas que sugieran que esto podría pasar, pero ha sucedido antes al menos una vez en la industria de minería y metales.
3	Posible	Existe como mínimo un 5 por ciento de posibilidades de que ocurra o ha sucedido ocasionalmente en otras áreas antes o ha ocurrido (aunque de manera poco frecuente) en la industria minera en el pasado o los programas de mitigación de riesgos no pueden reducir la probabilidad inherente más allá de ese límite.

[9] ISSMGE TC32 - Technical Committee on Risk Assessment and Management: Glossary of Risk Assessment Terms – Version 1, July 2004.
[10] ICMM Consejo Internacional de Minería y Metales: Planificación del Cierre Integrado de Minas Equipo de Herramientas.
[11] Se presentan únicamente como referencia, consultada y analizada durante el desarrollo de la Guía, sin constituir íntegramente la metodología formulada en la presente Guía.

Escala	Probabilidad	Descripción
4	Probable	Existe como mínimo un 50 por ciento de posibilidades de que ocurra o ha sucedido varias veces en áreas similares antes o es una consecuencia común en la industria de minería y metales o ninguno de los programas de mitigación de riesgos puede reducir la probabilidad inherente del riesgo más allá de ese límite.
5	Casi seguro	Ha ocurrido u ocurrirá probablemente durante la vida de la mina y no hay motivos para suponer que no ocurrirá nuevamente o ha ocurrido en esta área con anterioridad.

Fuente: Consejo Internacional de Minería y Metales ICMM

Una práctica frecuente al momento de establecer la probabilidad en las evaluaciones de riesgos es el empleo del denominado "juicio de experto" tanto en forma cualitativa como semi cualitativa. En este sentido, el Evaluador en función de su experiencia indica si la posibilidad de ocurrencia del evento es mayor o menor, de acuerdo a los niveles de clasificación formulados.

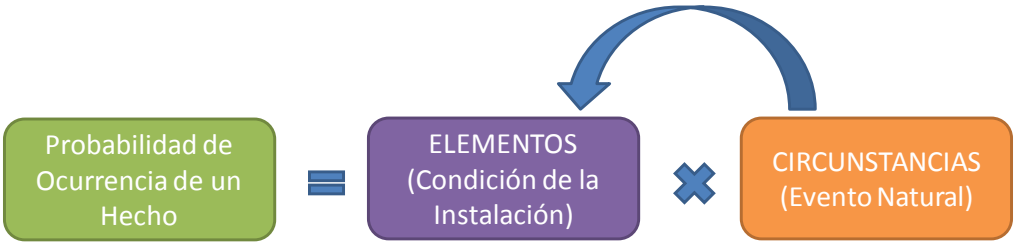
Por otro lado, a objeto de poder analizar la probabilidad de ocurrencia de un hecho, en el contexto de una faena minera cerrada, se han de contestar preguntas tales como ¿Cuáles son las circunstancias que generan ese hecho? ¿Cómo es posible analizar dichas circunstancias en base a la información existente o posible de generar por la empresa minera? ¿Cuáles son los elementos que se involucran en el análisis? ¿Cómo puede reproducirse este análisis y ser trazable a lo largo de la vida del proyecto hasta el momento de la etapa de Post Cierre? entre otras. Por tanto, para poder contestar a estas interrogantes, se ha considerado necesario formular un procedimiento que permita un análisis profundo del conjunto de condiciones, que al interactuar entre sí, puedan generar un escenario para la ocurrencia de un hecho.

Conforme a lo anterior, para los efectos de la evaluación de riesgos para el cierre de faenas mineras, entenderemos como **Probabilidad de Ocurrencia** de un hecho, **a la combinación de circunstancias y elementos que provocan un evento no deseado que trae consigo consecuencias para las personas y el medioambiente.**

De esta forma, se considerará como elementos de la probabilidad a las condiciones propias de la instalación minera, particularmente ciertos factores técnicos de operación y la efectividad de las medidas de cierre propuestas por el operador minero como parte del diseño de la faena. Ejemplos de lo anterior, serían el nivel de compactación del muro de un depósito de relaves y el ángulo de talud diseñado.

Adicionalmente, se entenderán como circunstancias de la probabilidad a aquellos eventos naturales que podrían presentarse luego del cese de las operaciones de la faena minera, por ejemplo un sismo de determinada magnitud.

Figura N° 4: Esquema de la definición de Probabilidad de Ocurrencia de un Hecho



Fuente: Elaboración propia.

En el CAPÍTULO V. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA se explica en detalle la metodología de trabajo para el análisis de la probabilidad de ocurrencia de un hecho.

2. SEVERIDAD DE CONSECUENCIAS

De igual manera que para la Probabilidad de Ocurrencia, se ha efectuado un análisis de la literatura nacional e internacional respecto a la Severidad de la Consecuencia para determinar cuál es la mejor forma de definir este concepto de modo de lograr que la evaluación de riesgos sea acorde a la realidad del país, a continuación se desarrolla brevemente lo expuesto a nivel internacional.

En primer término, la ISO/IEC Guide 73 define el término Consecuencia como "el resultado de un suceso (ocurrencia de una serie de circunstancias particulares)".

Antecesora a esa definición, la AS/NZS12 define consecuencia como "el resultado o impacto de un evento, su análisis determina la naturaleza y el tipo de impacto el cual puede ocurrir asumiendo que un evento particular, situación o circunstancia, haya ocurrido. Un evento puede tener un rango de impactos de diferentes magnitudes, y afectar a un rango de diferentes objetivos y diferentes partes interesadas.

También es definida como el resultado de un evento expresado cualitativamente o cuantitativamente, siendo una pérdida, daño, desventaja o ganancia."[13]

Al igual que en el caso anterior, se trata de conceptos que no fueron formulados específicamente para la evaluación de riesgos para el cierre de faenas mineras, y se presentan como lineamientos para el análisis en diferentes sectores.

En el ámbito de la minería, aunque no específicamente para la condición de cierre, la ICMM sugiere una evacuación de las consecuencias a partir de una escala que va desde una consecuencia emergente hasta la denominación de extrema, tal como se observa en la Tabla 2

[12] AS/NZS 4360,2004.
[13]Tonkin & Taylor Ltd : Research report Natural Hazard Management.

Tabla 2. Ejemplo para determinar el nivel de consecuencias[14]

	Escala	Consecuencia negativa	Consecuencia positiva
C	Emergente	Relacionada con, como consecuencia de. No sin consecuencias, pero no más grave que eso.	Relacionada con, como consecuencia de. No sin consecuencias, pero no más importante que eso.
L	Limitada	Alguna consecuencia, generalmente reversible en un corto plazo y/o con una aplicación modesta de recursos (similar al manejo del presupuesto diario de la mina, si es adecuada una comparación financiera).	Alguna consecuencia, no sustentable sin una aplicación significativa y continua de recursos.
D	Declarada	Las consecuencias pueden ser reversibles, habitualmente si se aplican los recursos de manera significativa y por cierto tiempo (similar al manejo del presupuesto mensual de la mina, si es adecuada una comparación financiera).	Consecuencias generalmente sustentables durante un período de tiempo prolongado, con una aplicación pequeña o no permanente de recursos.
I	Importante	Consecuencias generalmente irreversibles, con impactos visibles por un período de tiempo prolongado (en una escala de tiempo similar a la vida de la mina, cuando las comparaciones en escalas de tiempo son apropiadas).	Consecuencias generalmente sustentables durante un período de tiempo prolongado, con una aplicación pequeña o no permanente de recursos.
E	Extrema	Consecuencias irreversibles, con impactos que exceden un período similar a la vida de la mina (cuando las comparaciones en escalas de tiempo son apropiadas).	Consecuencias generalmente sustentables que superan un período similar a la vida de la mina.

Fuente: Consejo Internacional de Minería y Metales ICMM

En el ámbito nacional, en las evaluaciones de riesgo actuales, el análisis de la consecuencia suele ser realizado de manera directa seleccionando el nivel de severidad en base al "juicio experto". No obstante ello, la selección de severidad de esta manera puede limitar la consideración de características propias del receptor, que para el caso del cierre de faenas mineras son las personas y el medio ambiente. Para este análisis

[14] Se presentan únicamente como referencia, consultada y analizada durante el desarrollo de la Guía, sin constituir íntegramente la metodología formulada en la presente Guía.

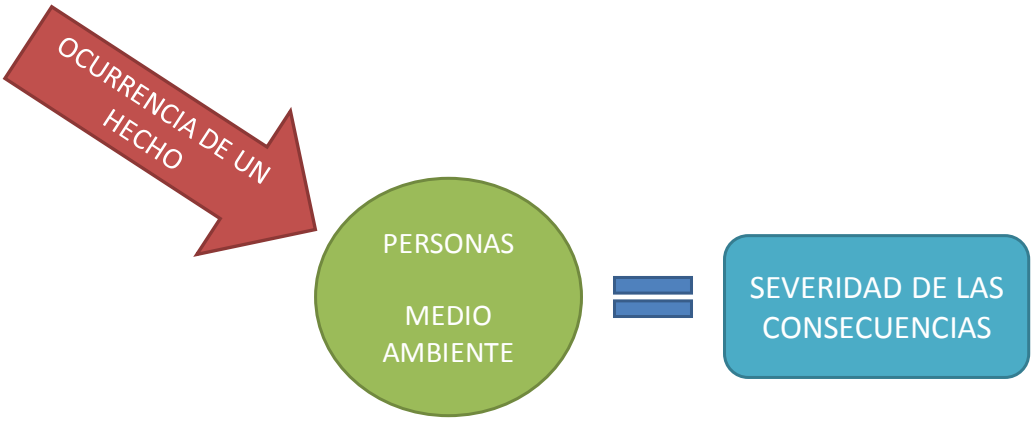
revisten particular importancia características tales como ubicación geográfica, la capacidad de respuesta, recuperabilidad, la duración de la consecuencia, su intensidad y extensión, entre otros.

Dichas características son específicas para cada faena y riesgo evaluado, por lo que se ha estimado conveniente formular un procedimiento para el análisis de la Severidad de las Consecuencias que integre las características tanto de las personas como del medio ambiente involucrado. Es importante remarcar que la Ley de Cierre establece como finalidad de la evaluación de riesgos el resguardo de la salud y seguridad de las personas y el medio ambiente.

Conforme a lo anterior, para los efectos de la evaluación de riesgos para el cierre de faenas mineras, en la presente Guía entenderemos como **Severidad de las Consecuencias al grado de impacto o daño que pueda generarse como resultado de la ocurrencia del hecho sobre las personas y el Medio Ambiente existentes en el área de estudio.**

Tal como se muestra en el esquema de la Figura N° 5, el resultado de la ocurrencia de un hecho sobre las personas y/o el medio ambiente indica el nivel de severidad de sus consecuencias.

Figura N° 5: Esquema de la definición de la Severidad de Consecuencias



Fuente: Elaboración propia.

En relación a lo anterior, es importante precisar que el análisis de la severidad de las consecuencias que podrían ocurrir a las personas considerará a aquellos habitantes que se encuentren viviendo en el área de impacto o daño luego del cese de las operaciones mineras. Por lo tanto, no se consideran para evaluar los riesgos para el cierre a los trabajadores que se encuentren realizando actividades de monitoreo u otro trabajo referido al cierre de faenas.

En lo referido al medio ambiente, como se describe en los párrafos siguientes, el procedimiento incorpora de manera general los factores más importantes que son

referidos a la actividad minera como son, dentro del área de influencia de la faena, el aire, suelo, agua, flora y fauna y las áreas protegidas en general.

En el capítulo siguiente, se explica en detalle la metodología de trabajo de la presente Guía para el análisis de la Severidad de las Consecuencias.

CAPÍTULO V. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

1. DESCRIPCIÓN GENERAL

En base a los conceptos formulados en los capítulos anteriores, se ha desarrollado una metodología para realizar la evaluación de riesgos de las instalaciones de una faena minera, en condición de cierre. Este proceso se deberá repetir a lo largo de la vida útil de la faena minera incorporando los antecedentes de la construcción y operación de la misma como una manera de gestionar los riesgos de cada instalación.

Entendiendo que la evaluación de riesgos corresponde a una parte esencial del plan de cierre requerida por la normativa vigente, el procedimiento de evaluación de riesgos tiene como supuesto que la faena ya tiene un diseño aprobado por las autoridades correspondientes (ambientales y sectoriales), y que al menos cuenta con la calificación ambiental y el proyecto de explotación aprobado.[15]

Para realizar la evaluación de riesgos de una faena minera, entendiendo que la evaluación de riesgos de la faena está compuesta por la evaluación de riesgos de cada una de las instalaciones, el primer paso es identificar todas las instalaciones comprendidas en la faena y agruparlas de acuerdo a la clasificación presentada en el CAPÍTULO III. ALCANCE (Ver INSTALACIONES MINERAS)

Es así, como se indicó en capítulos anteriores, la metodología de evaluación de riesgos que se presenta en esta guía está enfocada en las instalaciones principales de una faena minera, es decir, depósitos de relaves, depósitos de estériles, pilas de lixiviación, minas rajo y minas subterráneas.

Para el desarrollo de la evaluación de riesgos de cada una de estas instalaciones, se debe realizar una serie de pasos, los cuales se describen a continuación, esto es debido a que cada instalación es distinta una de otra y por tanto la evaluación de riesgos es única y particular para cada instalación (ver Figura N° 6).

a) **Identificación de los riesgos:** En esta etapa se deben identificar a cuál de los riesgos propuestos en esta guía puede estar expuesta la instalación en evaluación.

b) **Análisis de los riesgos:** Para cada riesgo identificado y de manera independiente se debe analizar la probabilidad de ocurrencia de un hecho y las consecuencias que trae para las personas y para el medio ambiente.

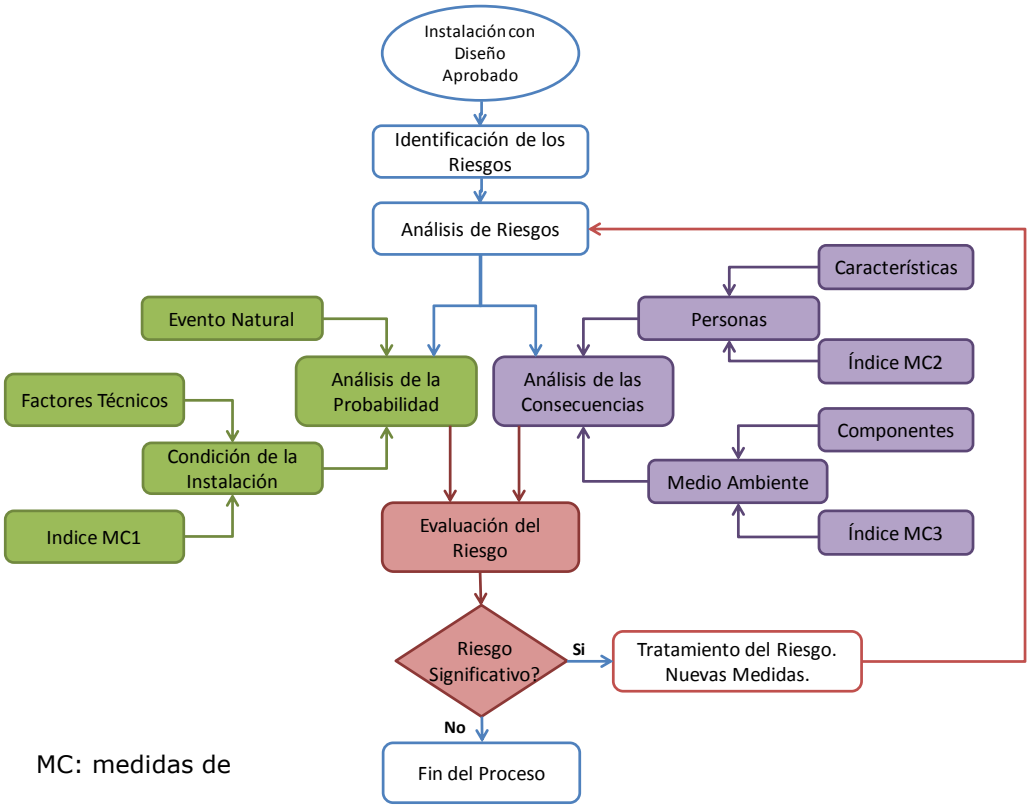
[15] Todo proyecto minero, previo al inicio de las operaciones debe contar con ciertos permisos. Es así, como de acuerdo al Reglamento de Seguridad Minera (D.S. 132) todo proyecto minero debe contar con un método de explotación aprobado y aquellos proyectos mineros cuya explotación o beneficio sea mayor o igual a 5.000 tpm deben contar con al menos una Resolución de Calificación Ambiental (RCA)

c) **Evaluación del riesgo:** En función a una matriz de riesgos y con los resultados del análisis de la probabilidad de ocurrencia de un hecho y la severidad de las consecuencias, se debe identificar el nivel de riesgos para las personas y para el medio ambiente.

d) **Tratamiento del riesgo:** si el nivel de riesgos obtenido en la etapa anterior, ya sea para las personas o el medio ambiente, es considerado significativo, debe ser tratado incorporando medidas adicionales que permitan controlar este riesgo y llevarlo a un nivel aceptable.

e) **Riesgo Residual:** una vez incorporadas obras, medidas y/o actividades que controlen el riesgo, el valor de riesgo que queda es el denominado "Riesgo Residual"

Figura N° 6: Esquema de la Metodología propuesta para la Evaluación de Riesgos en el CFM.



MC: medidas de

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en el esquema, la evaluación de riesgos se debe realizar considerando los compromisos (obras y medidas) que hayan sido aprobadas en el diseño.

En los capítulos siguientes se detalla la metodología para cada uno de los pasos expuestos en el esquema.

2. IDENTIFICACIÓN DE INSTALACIONES MINERAS

La normativa de cierre existente establece que el análisis de riesgo debe desarrollarse para todas las instalaciones de una faena minera, sin embargo, para efectos de la presente Guía, se han considerado las instalaciones más comunes de una faena minera, definidas dentro de catorce (14) instalaciones típicas de esta industria, las cuales han sido agrupadas con el objetivo de focalizar la metodología en aquellas que permanecerán en la etapa de post cierre.

Así entonces, se han diferenciado tres grupos de instalaciones: principales, complementarias y auxiliares.

1. **Instalaciones Principales**: Comprende seis (6) instalaciones que por sus características de permanencia en la etapa de post cierre requieren de una de evaluación de riesgos detallada.

Tabla 3: Instalaciones Principales.

CODIFICACIÓN	N°	NOMBRE DE LA INSTALACIÓN MINERA	INSTALACIONES CONSIDERADAS
MS	1	Mina Subterránea	Mina de labores subterráneas.
MR	2	Mina Rajo Abierto	Mina de labores a rajo abierto
DR	3	Depósitos de relaves	Incluye tranques, embalses, relaves espesados, en pasta, filtrados y toda otra forma de depositación de relaves en tierra.
RL	4	Ripios de Lixiviación	Botaderos de ripios de lixiviación.
DE	5	Depósitos de Estériles	Botaderos de desmonte, estéril, lastre, marinas*.
DL	6	Depósitos de Escorias	Acopios de escoria de fundición.

**Los depósitos de baja ley al ser depósitos temporales podrán considerarse como permanentes en los casos donde su ley sea inferior a la ley de corte de proceso, en estas circunstancias se tratarán como Depósito de Estéril siguiendo el procedimiento que la presente Guía sugiere para esta instalación minera.*

Fuente: Elaboración propia.

2. **Instalaciones Complementarias:** Las instalaciones complementarias comprenden cinco (5) instalaciones que al momento del cese de operaciones bastará con la aplicación directa de las medidas sugeridas en el Reglamento de la Ley de Cierre complementadas con la ejecución de buenas prácticas recomendadas a nivel internacional. Por lo cual, por regla general, no se

requerirá evaluar sus riesgos conforme a la presente metodología, aun cuando deberán incluir los debidos respaldos a las medidas de cierre propuestas[16].

Tabla 4: Instalaciones Complementarias.

N°	NOMBRE DE LA INSTALACIÓN	INSTALACIONES CONSIDERADAS
7	Planta proceso	Planta de chancado (primario- secundario- terciario - cuaternario, correas transportadoras), chancado de pebbles, silo de mineral (stock pile).
		Planta concentradora (molienda - flotación - estaciones de ciclones - remolienda), planta de molibdeno.
		Concentración magnética, prensa de rodillo, hidroseparadores, discos peletizadores, colectores húmedos, hornos giratorios.
		Espesamiento de relaves y de concentrado, planta de filtrado.
		Instalaciones propias de la Lixiviación (no incluye las pilas de lixiviación), Planta SX - EW, piscina de captación de soluciones (PLS, ILS, Refino, traspaso), tambores aglomeradores.
		Planta de columnas de adsorción (carbón activado: procesos CIP y CIL), torres de elusión, celdas electrolíticas, lixiviación por agitación (cianuración por agitación), filtros de colas
8	Instalaciones de suministros	Bodegas de almacenamiento de productos químicos, laboratorios químicos, metalúrgicos, muestreras, redes y estanques de suministros de reactivos (cal, ácidos, diesel, combustibles, otros similares), planta de hormigón, cal, otros reactivos. Canteras de material granular (empréstitos).
9	Infraestructura de servicios	Oficinas, campamentos, talleres, nave de mantención de equipos mayores, bodegas de materiales, casinos, policlínicos, casa de cambio y polvorines.
		Caminos, puentes, aeródromos.
		Puerto de Embarque (muelle, sistema e instalaciones de acopio de material e infraestructura de carga y descarga de material), túneles mineros.
		Obras hidráulicas (canaletas de recolección de aguas, vertederos de seguridad, emergencia, de abandono), embalse de agua, piscinas de emergencias, campos de pozos de agua. Planta de tratamiento de aguas servidas, de agua potable, de osmosis, desaladora, redes de distribución de insumos básicos (aguas, gas), estanques de agua y gas, estaciones de bombeo.

[16] Según artículo 17, inciso d) del Reglamento Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras (DS 41/12). Por ejemplo, en el caso de una planta de proceso de chancado se podría identificar como medida a realizar el desmantelamiento para evitar el escurrimiento de aceites u otros elementos que pudieran afectar al medio ambiente.

N°	NOMBRE DE LA INSTALACIÓN	INSTALACIONES CONSIDERADAS
10	Obras lineales	Acueductos, concentraductos, mineraductos, relaveducto, canaletas de relaves, oleoductos, gaseoductos, tendidos eléctricos, y subestaciones eléctricas.
11	Fundición	Fundición (fundición, refinación, planta de oxígeno, planta de ácido, ductos asociados), moldeo de ánodos, planta de tratamiento de escorias, Planta de metales nobles. Calcinación, horno de fusión, secador rotatorio.

Fuente: Elaboración propia.

3. **Instalaciones Auxiliares:** Considera tres (3) instalaciones referidas a los acopios de residuos que típicamente se generan en una faena minera y que podrán significar riesgos en la condición de cierre. Para estos casos el Evaluador debe cumplir a cabalidad los procedimientos y exigencias establecidas por el Ministerio de Salud (MINSAL).

Tabla 5: Instalaciones Auxiliares

N°	NOMBRE DE LA INSTALACION	INSTALACIONES CONSIDERADAS	COMPETENCIA DEL MINSAL *
12	Almacenamiento de Residuos Peligrosos	Sectores de acopio, almacenamiento y/o disposición final de residuos peligrosos.	Regulados por el DS N° 148(Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos)
13	Almacenamiento de Residuos Industriales No Peligrosos	Sectores de almacenamiento o disposición final de residuos industriales no peligrosos (patios de chatarra, vertederos de residuos industriales, etc).	Regulados por el DS N° 594 Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo D.F.L N°1 Y Código Sanitario.
14	Residuos Domésticos	Rellenos Sanitarios y/o Vertedero de residuos domésticos.	Regulados por el DS N° 189 Reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básica en los rellenos sanitarios.

**Podría considerar otra normativa que la Autoridad Sanitaria disponga.*

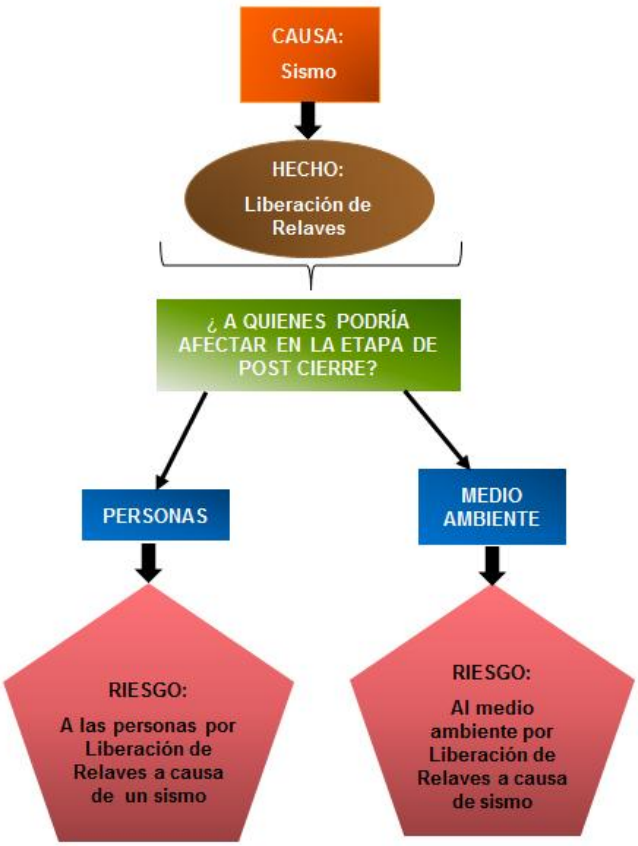
Fuente: Elaboración propia.

3. IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

Posteriormente, para cada una de las Instalaciones Principales, se identificarán los riesgos más relevantes que se espera que estén controlados en condición de cierre de la instalación. Para lo anterior, se ha determinado cuál es el "hecho" que puede provocar un determinado riesgo y en base a esto se ha analizado cuál es la "causa" que puede desencadenarlo, por ejemplo la liberación de relaves a causa de un sismo de determinada magnitud.

Finalmente, se evalúa quiénes serían los afectados por el hecho, pudiendo corresponder a las personas, el medioambiente o ambos (Ver Figura N° 7).

Figura N° 7: Ejemplo esquemático de la Identificación de Riesgos.



Fuente: Elaboración propia.

Si bien la Guía presenta la identificación de los riesgos más representativos para cada Instalación minera, el Evaluador podrá añadir otros riesgos que considere necesarios dadas las características específicas de su faena.

En las siguientes tablas se encuentran los riesgos típicos identificados para cada instalación:

Tabla 6: Riesgos identificados para Mina de Labores Subterráneas.

INSTALACIÓN MINERA	CODIFICACIÓN		RIESGOS	RECEPTORES
Mina de Labores Subterráneas (MS)	MS1	MS1.P	Incremento en la envolvente de subsidencia (que sobrepase los límites del diseño para el cierre) a causa de un sismo.	Personas
		MS1.MA		Medio Ambiente
	MS2	MS2.P	Subsidencia a causa del colapso pilares y puentes de roca.	Personas
		MS2.MA		Medio Ambiente
	MS3	MS3.P	Acidificación de agua subterránea, a causa de reacciones químicas con el mineral.	Personas
		MS3.MA		Medio Ambiente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Riesgos identificados para Mina Rajo Abierto (Open Pit)

INSTALACIÓN MINERA	CODIFICACIÓN		RIESGOS	RECEPTORES
Mina Rajo Abierto (MR)	MR1	MR1.P	Falla en el talud del rajo (que sobrepase la zona de exclusión) a causa de un sismo.	Personas
		MR1.MA		Medio Ambiente
	MR2	MR2.P	Contaminación de aguas a causa de infiltración de DAR provenientes de la mina.	Personas
		MR2.MA		Medio Ambiente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Riesgos Identificados para Depósitos de Relaves

INSTALACIÓN MINERA	CODIFICACIÓN		RIESGOS	RECEPTORES
Depósitos de Relaves (DR)	DR1	DR1.P	Liberación de relaves a causa de un sismo.	Personas
		DR1.MA		Medio Ambiente
	DR2	DR2.P	Liberación de relaves a causa de piping	Personas
		DR2.MA		Medio Ambiente
	DR3	DR3.P	Overtopping a causa de lluvia intensa y/o crecida.	Personas
		DR3.MA		Medio Ambiente
	DR4	DR4.P	Overtopping a causa de una remoción en masa.	Personas
		DR4.MA		Medio Ambiente
	DR5	DR5.P	Contaminación de aguas subterráneas a causa de infiltración de DAR.	Personas
		DR5.MA		Medio Ambiente
	DR6	DR6.P	Contaminación atmosférica a causa de viento.	Personas
		DR6.MA		Medio Ambiente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Riesgos Identificados para Ripios de Lixiviación.

INSTALACIÓN MINERA	CODIFICACIÓN		RIESGOS	RECEPTORES
Ripios de Lixiviación (RL)	RL1	RL1.P	Falla de talud a causa de un sismo.	Personas
		RL1.MA		Medio Ambiente
	RL2	RL2.P	Falla de talud a causa de erosión hídrica.	Personas
		RL2.MA		Medio Ambiente
	RL3	RL3.1.P	Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración DAR (pilas estáticas)	Personas
		RL3.1.MA		Medio Ambiente
		RL3.2.P	Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración DAR (Botaderos de Ripios de Lixiviación).	Personas
		RL3.2.MA		Medio Ambiente
	RL4	RL4.P	Contaminación de agua superficial a causa de crecida/inundación.	Personas
		RL4.MA		Medio Ambiente
	RL5	RL5.P	Contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa de viento.	Personas
		RL5.MA		Medio Ambiente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Riesgos Identificados para Depósitos de Estériles.

INSTALACIÓN MINERA	CODIFICACIÓN		RIESGOS	RECEPTORES
Depósitos de Estériles (DE)	DE1	DE1.P	Contaminación de aguas subterráneas a causa de lluvia. (infiltración de soluciones)	Personas
		DE1.MA		Medio Ambiente
	DE2	DE2.P	Contaminación de aguas subterráneas a causa de crecidas.	Personas
		DE2.MA		Medio Ambiente
	DE3	DE3.P	Contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa de viento.	Personas
		DE3.MA		Medio Ambiente
	DE4	DE4.P	Contaminación de aguas superficiales a causa de lluvia intensa.	Personas
		DE4.MA		Medio Ambiente
	DE5	DE5.P	Por contaminación de aguas superficiales a causa de crecidas.	Personas
		DE5.MA		Medio Ambiente
	DE6	DE6.P	Por erosión hídrica a causa de lluvia o deshielo diferido intenso.	Personas
		DE6.MA		Medio Ambiente
	DE7	DE7.P	Por deslizamiento a causa de un sismo.	Personas
		DE7.MA		Medio Ambiente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Riesgos Identificados para los Depósitos de Escoria

INSTALACIÓN MINERA	CODIFICACIÓN		RIESGOS	RECEPTORES
Depósitos de Escorias (DL)	DL1	DL1.P	Lixiviación natural a causa de lluvia.	Personas
		DL1.MA		Medio Ambiente

Fuente: Elaboración propia

4. ANÁLISIS DE LOS RIESGOS

Una vez identificados los riesgos a los cuales está expuesta una instalación minera, el paso siguiente es determinar la probabilidad de ocurrencia del hecho y la severidad de las consecuencias tanto para las personas como para el medio ambiente.

A continuación, se desarrolla la metodología que se empleará para el análisis de la probabilidad de ocurrencia y la severidad de las consecuencias, de cuya relación podrá determinarse el nivel de riesgo de la instalación y si revisten el carácter de significativo o no.

Como ya se mencionó, para la estimación de la probabilidad de ocurrencia de un hecho se relacionarán ciertos factores técnicos propios de la operación minera, la efectividad de las medidas de cierre propuestas por el titular como parte del diseño de la faena con aquellos eventos naturales que podrían presentarse luego del cese de las operaciones de la faena minera, por ejemplo un sismo de determinada magnitud.

En cuanto a la severidad de las consecuencias, es pertinente recordar que la normativa establece como finalidad de la evaluación de riesgos el resguardo de la salud y seguridad de las personas y el medio ambiente, por lo que se deberá hacer una distinción entre las consecuencias a las personas y el medioambiente.

Respecto de las personas, se considerará a aquellos habitantes que se encuentren viviendo en el área de impacto o daño luego del cese de las operaciones mineras, y en lo que toca al medioambiente el procedimiento incorpora aspectos relacionados a la actividad minera como son, el área de influencia de la faena, aire, suelo, agua, flora y fauna y las áreas protegidas en general.

4.1 Análisis de la Probabilidad de Ocurrencia de un Hecho

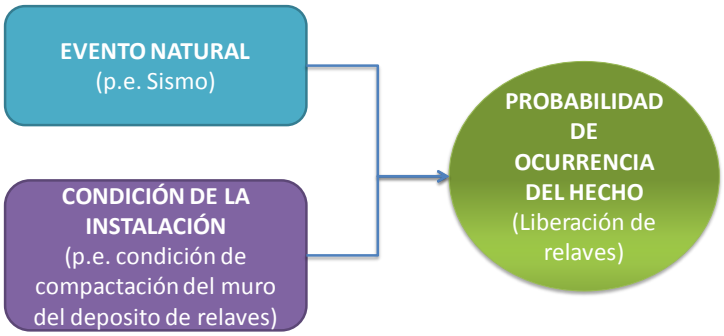
De acuerdo a la definición formulada, el análisis de la probabilidad de ocurrencia del hecho, se enfocará en evaluar los elementos y circunstancias cuya combinación produzca un escenario potencial de ocurrencia de un hecho, tal como se muestra en la Figura N° 8.

De esta forma, se considerará como elementos de la probabilidad a las condiciones propias de la instalación minera, particularmente ciertos factores técnicos de operación y efectividad de las medidas de cierre propuestas por el operador minero como parte del diseño de la faena y sus correspondientes instalaciones. Ejemplo de lo anterior, serían el nivel de compacidad del muro de un depósito de relaves y el ángulo de talud diseñado, respectivamente.

De igual forma, se entenderán como circunstancias de la probabilidad a aquellos eventos naturales que podrían presentarse luego del cese de las operaciones de la faena minera, por ejemplo un sismo de determinada magnitud.

Por tanto, siguiendo el ejemplo anterior, la condición de un depósito de relaves ante un sismo generará un escenario con un nivel de Probabilidad de ocurrencia de un determinado hecho, que en este caso es la liberación de los relaves. (Ver figura 8).

Figura N° 8: Ejemplo esquemático del análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se realiza el análisis, de manera independiente, del Evento Natural y de la Condición de la Instalación Minera, de acuerdo a la metodología descrita en los siguientes subtítulos.

4.1.1 Evento Natural

Se ha evidenciado que para la generación de riesgos durante la etapa de post cierre una de las causales o circunstancias son, por lo general, eventos naturales, tales como por ejemplo un sismo, pluviometría extrema, remoción en masa, inundación, viento, entre otros.

Debido a que cada uno de estos eventos tiene sus propias características y metodologías de evaluación aceptadas en la industria, el Evaluador en base al estudio correspondiente, definirá el nivel de probabilidad de ocurrencia del Evento Natural en un rango de 1 a 5, (de Muy Bajo a Muy Alto):

Tabla 12. Tabla para la selección del Nivel de Probabilidad de ocurrencia del Evento Natural

Nivel de Probabilidad de ocurrencia				
1	2	3	4	5
MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo E se indica el evento natural que debe ser analizado para cada riesgo identificado, sin perjuicio que puedan incorporarse otros eventos naturales dado lo específico de la ubicación de la respectiva faena.

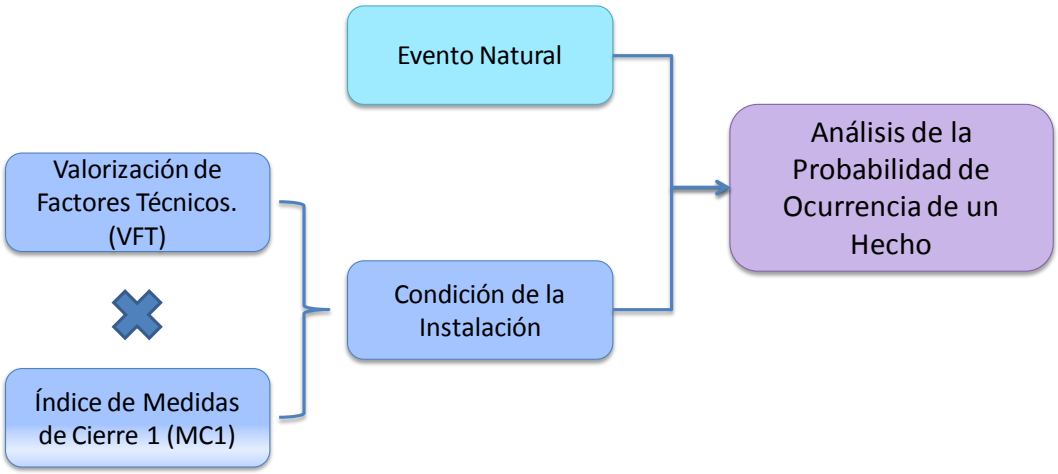
4.1.2 Condición de la Instalación (CI)

Una circunstancia esencial para establecer el riesgo de una determinada instalación, en condición de cierre, es la forma en que la instalación ha sido operada. Esto, porque un adecuado diseño de ingeniería debe estar complementado con una correcta operación durante la vida de la respectiva instalación, pues es la forma de asegurar que responderá de forma esperada ante un evento natural.

Por lo anterior, una construcción y una operación ajustada al diseño original en conjunto con medidas de cierre eficientes, significarán una menor probabilidad de ocurrencia de un hecho que conlleve consecuencias en las personas y medio ambiente, luego de cerrada la instalación.

La metodología que se propone aborda precisamente tanto los factores técnicos propios de la operación como la efectividad de las medidas de cierre que se propongan por parte del operador minero, tal como se muestra en la Figura N° 9.

Figura N° 9: Esquema del análisis de la Probabilidad de Ocurrencia de un Hecho.



Fuente: Elaboración propia.

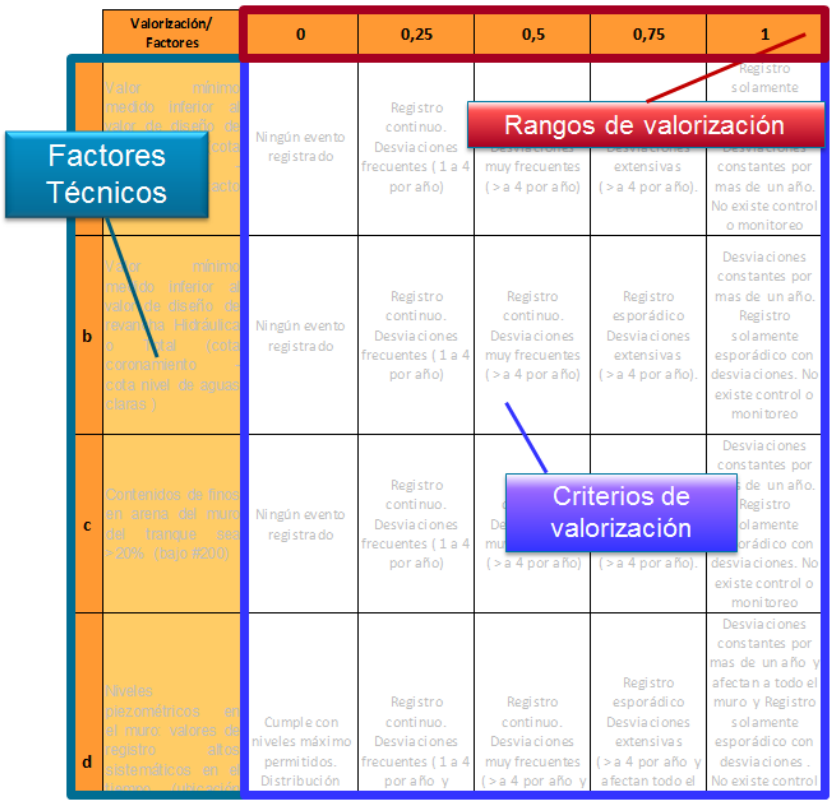
a) Valorización de los Factores Técnicos (VFT)

Los Factores Técnicos son las condiciones de operación de la instalación minera, con implicancias en el post cierre, cuya evaluación permitirá estimar su posible comportamiento en el caso que se presente un evento natural durante ese período de tiempo.

En esta Guía se han formulado factores técnicos para cada uno de los riesgos identificados y para cada instalación principal, considerando aquellos aspectos que pueden ser **medidos durante la operación y que incidirán en el comportamiento de la instalación durante la etapa de post cierre**[17]**.**

[17] Mediante la revisión bibliográfica y la consulta de especialistas relacionados al tema en el ámbito nacional público y privado,

Tabla 13. Ejemplo de la estructura de la tabla para la evaluación de Factores Técnicos[18]



	Valorización/ Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
	Valor mínimo medido inferior al valor de diseño de cota [illegible] factor	Ningún evento registrado	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año)	[illegible] muy frecuentes (> a 4 por año)	[illegible] extensivas (> a 4 por año).	Registro solamente [illegible] constantes por mas de un año. No existe control o monitoreo
b	Valor mínimo medido inferior al valor de diseño de revancha Hidráulica o total (cota coronamiento - cota nivel de aguas claras)	Ningún evento registrado	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año)	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por mas de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo
c	Contenidos de finos en arena del muro del tranque sea > 20% (bajo #200)	Ningún evento registrado	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año)	[illegible] muy [illegible] (> a 4 por año)	[illegible] (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por [illegible] de un año. Registro [illegible]olamente [illegible]orádico con desviaciones. No existe control o monitoreo
d	Niveles piezométricos en el muro: valores de registro altos sistemáticos en el tiempo (Piezómetro	Cumple con niveles máximo permitidos. Distribución	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año y	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el	Desviaciones constantes por mas de un año y afectan a todo el muro y Registro solamente esporádico con desviaciones . No existe control

Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar cada factor técnico se ha establecido un rango de valorización entre 0 y 1, donde el valor 1 significa que la operación de la instalación ha sido inadecuado y por lo tanto se encuentra en un estado crítico y el valor 0 es indicativo de una operación dentro de los parámetros de diseño y las buenas prácticas operacionales, por lo que la instalación se encuentra en un buen estado.

En la

[18] El contenido de las tablas está desarrollado en extenso para cada riesgo e instalación en el Anexo C.

Tabla 13 se presenta en un ejemplo la estructura de la tabla donde el Evaluador podrá analizar los factores técnicos para cada riesgo relacionado con la instalación respectiva, en el entendido que su contenido variará dependiendo de la instalación que se esté analizando.

En las dos primeras columnas se encuentran la identificación de los factores técnicos sugeridos para cada riesgo. Las cinco columnas siguientes expresan los criterios de valorización (de 0 a 1) que permiten al Evaluador diagnosticar la situación en la que se encuentra la instalación minera al momento de realizar el análisis, todo lo cual deberá estar acompañado de los respaldos técnicos correspondientes.

El resultado de este análisis es la interacción de todos estos factores mediante una relación matemática, sin embargo debido a que no todos estos factores tienen igual incidencia en relación al riesgo evaluado, se ha realizado la jerarquización de los mismos por orden de importancia. Para efectos prácticos, el resultado de este proceso se traduce en la formulación de coeficientes normalizados incluidos en una fórmula vinculada a cada tabla de factores técnicos.

Para realizar el análisis de los factores técnicos el Evaluador deberá ingresar a la tabla correspondiente, identificar la valorización de cada factor de acuerdo a la situación en la que se encuentra la Instalación minera y determinar el nivel final mediante el empleo de una ecuación:

$$\boldsymbol{VFT = \alpha \cdot a + \beta \cdot b + \gamma \cdot c + \delta \cdot d + \cdots}$$

(Ejemplo 1)

Donde:

VFT= Valorización de los factores técnicos.
$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ = Coeficientes resultantes del proceso de jerarquización y normalización.
a, b, c, d= Valorización de cada factor técnico.

En algunos casos se tiene más de una fórmula para obtener el resultado de cada tabla debido a que en algunas instalaciones mineras no todos los factores técnicos necesariamente aplican, por ejemplo, en el depósito de relaves se requiere diferenciar entre aquellas instalaciones con muro de arena y aquellas construidas con muro de empréstito.

En el Anexo C, se presenta para cada riesgo su correspondiente tabla de factores técnicos propuestos para ser utilizada por el Evaluador. El detalle del procedimiento realizado para obtener estos coeficientes mediante el análisis de comparación de pares se encuentra descrito en el Anexo D.

b) Índice de Medidas de Cierre que inciden en la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho (IMC1)

La condición de la instalación al momento de cierre naturalmente dependerá no solo de los factores técnicos de operación sino que también de la efectividad de las medidas de cierre que se implementen para el control del riesgo.

Por tanto, se plantea determinar un índice que represente el nivel de control del riesgo de las medidas de cierre formuladas por la empresa minera al momento de ser aprobado su diseño, considerando que éstas serán implementadas conforme a estándares técnicos adecuados. Estas medidas, por regla general, se establecen tanto en la etapa de evaluación ambiental como en los permisos sectoriales que correspondan.

En la Tabla 14 se presenta la estimación del nivel de control que cada medida de cierre tendrá sobre los riesgos de la faena minera.

Tabla 14. Determinación del Índice de Medidas de Cierre

	Nivel de Efectividad de la Medida de Cierre				
	100%-81%	**80%-61%**	**60%-21%**	**20%-0%**	**IMCi**
	Índice de la Medida de Control				
Medidas de Cierre	**0,5**	**0,65**	**0,8**	**0,95**	

Fuente: Elaboración propia.

En la primera columna se deben indicar las medidas de cierre comprometidas en la etapa de diseño del proyecto y que se orienten la disminución de la probabilidad de ocurrencia de un riesgo determinado, como por ejemplo la cobertura del tranque de relaves que "ataca" la probabilidad de generación de drenaje ácido.

Posteriormente, en las cuatro columnas siguientes se encuentran los índices de efectividad de la medida de control a objeto de seleccionar de acuerdo al nivel de control que cada medida tenga expresada en porcentaje. Por ejemplo, si el Evaluador considera que la construcción de un muro deflector, comprometido en su diseño, controlará la probabilidad de la liberación de relaves en un 90%, entonces se ubicará en la columna respectiva seleccionando el valor de índice 0.5.

Finalmente debido a que el control del riesgo se realiza por la interacción de las medidas de cierre en su conjunto, se obtiene el Índice de Medidas de Cierre a partir de la siguiente ecuación:

$$IMC1 = \frac{\sum MCI_i}{n} \qquad \textbf{(Ec. 1)}$$

Donde :

IMC1= Índice de Medidas de Cierre que afecta a la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho.
IMC_i = Valor seleccionado para cada medida de cierre.
n = Número de medidas de cierre asignadas para el riesgo analizado.

c. Determinación de la Condición de la Instalación Minera (CI)

Una vez determinada la Valorización de los Factores Técnicos (VFT) y el Índice de Medidas de Cierre (IMC1), y dado que la condición de la instalación está determinada por la relación entre los factores técnicos de operación que inciden en el post cierre y la efectividad que se le asigna a las determinadas medidas de cierre, se aplicará la siguiente relación matemática:

CI= VFT x IMC1 (Ec. 2)

Finalmente el nivel resultante cuantitativo será convertido a un valor cualitativo mediante el empleo de los rangos de ponderación formulados en la Tabla 15.

Tabla 15. Nivel de la Condición de la Instalación

Resultados de la fórmula CI	Nivel de Valorización
80-100	MUY ALTO
60-79	ALTO
40-59	MEDIO
20-39	BAJO
0-19	MUY BAJO

Fuente: Elaboración propia

El resultado permitirá junto con el nivel de la valorización de los factores técnicos, determinar la probabilidad de ocurrencia del hecho.

4.1.3 Determinación de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho

Una vez determinado el nivel de probabilidad de ocurrencia del Evento Natural y el resultado del análisis de la Condición de la Instalación se procederá a combinarlos mediante el empleo de la siguiente matriz:

Figura N° 10: Matriz del análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho

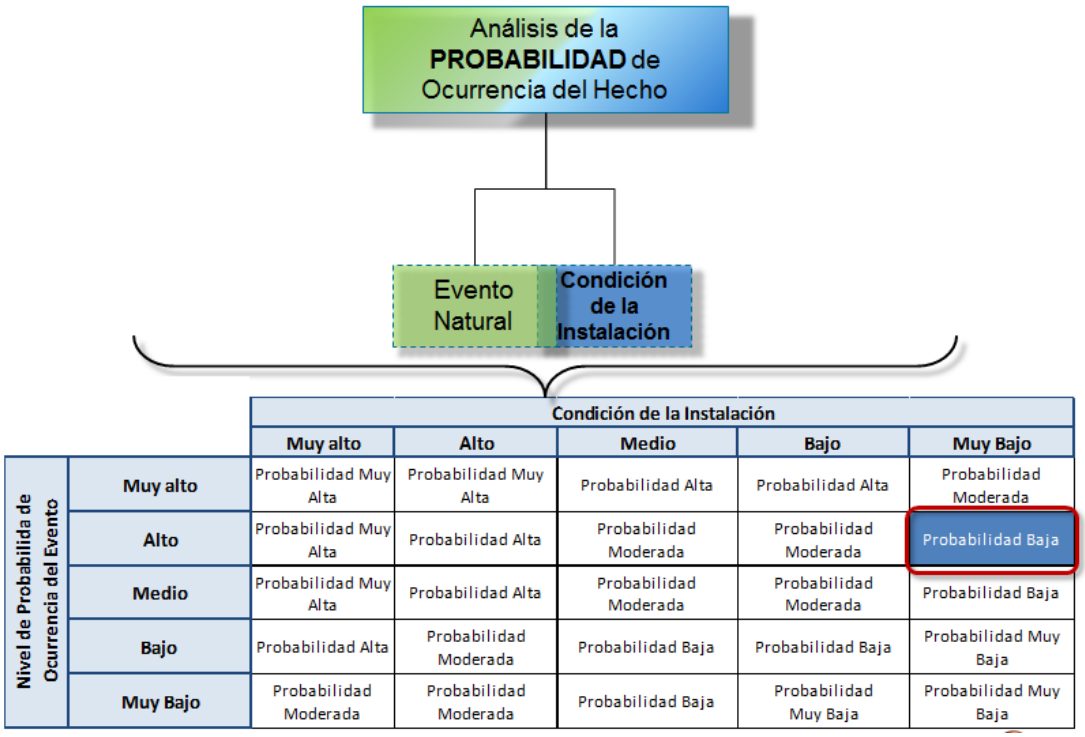
		Condición de la Instalación (Factores Técnicos x IMC1)				
		Muy alto	**Alto**	**Medio**	**Bajo**	**Muy Bajo**
Nivel de Probabilida de Ocurrencia del Evento	**Muy alto**	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada
	Alto	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja
	Medio	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja
	Bajo	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja	Probabilidad Baja	Probabilidad Muy Baja
	Muy Bajo	Probabilidad Moderada	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja	Probabilidad Muy Baja	Probabilidad Muy Baja

Fuente: Elaboración propia.

En definitiva, el resultando del ingreso a la matriz de análisis indica la **Probabilidad de Ocurrencia del Hecho** evaluado, tal como se muestra en la Figura 11.

Es importante recalcar que la incidencia de un evento natural sobre la condición de la instalación minera, expresada mediante el análisis de los factores técnicos y de la eficiencia de las medidas de control, genera un escenario de probabilidad de ocurrencia del hecho.

Figura N° 11: Ejemplo de empleo de la Matriz del análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho



Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior quiere decir que una inadecuada operación de la instalación minera y/o una inefectividad de las medidas de control, conjuntamente con una elevada probabilidad de ocurrencia de un evento natural durante el periodo post cierre, significarán una mayor probabilidad de que ocurra un hecho que cause severas consecuencias a las personas y al medio ambiente.

4.1.4 Riesgos no vinculados a eventos naturales

De acuerdo al análisis realizado durante la identificación de los riesgos, se han determinado como casos especiales aquellos riesgos donde si bien es posible evidenciar la Probabilidad de Ocurrencia de un Hecho, éste no se presenta por la incidencia de un evento natural externo, sino que únicamente por las características internas de la instalación minera. Estos casos son los siguientes:

- Mina Subterránea (MS): Riesgo a las personas y al Medio Ambiente por acidificación agua Mina.
- Mina Subterránea (MS): Riesgo a las personas y al Medio Ambiente por subsidencia a causa de colapso pilares y puentes de roca.
- Depósito de Relaves (DR): Riesgo a las personas y al Medio Ambiente por liberación de relaves a causa de una erosión interna resultante de piping.

Por tanto, en estos casos la empresa minera analizará la Probabilidad de Ocurrencia determinando únicamente la Condición de la Instalación y sin la combinación final con el evento natural.

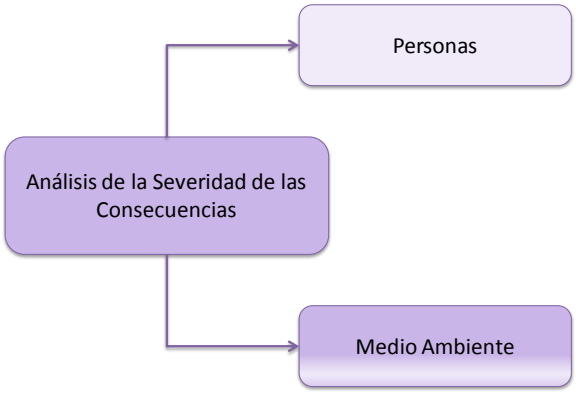
4.2 Análisis de la Severidad de las Consecuencias

La Severidad de las Consecuencias, de acuerdo a la definición formulada, es el **grado de impacto o daño que pueda generarse como resultado de la ocurrencia del hecho sobre las personas y el medio ambiente existentes en el área de influencia**.

Se ha considerado adecuado diferenciar entre las consecuencias sobre las personas de aquellas que se tendrían sobre el medioambiente. Por ello, en todos los casos existirán dos riesgos resultantes: uno correspondiente al análisis de la severidad de las consecuencias a las personas (Rp) y otro por la severidad de las consecuencias al medio ambiente (Rma).

Lo anterior, tiene por objetivo enfocar el Tratamiento del Riesgo, ya sea sobre las personas o el medioambiente. (Ver Figura N° 7)

Figura N° 12: Análisis de la Severidad de las Consecuencias



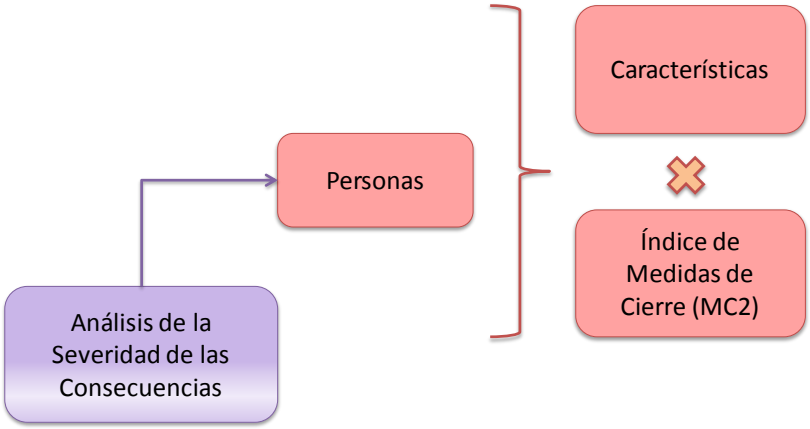
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Análisis de la Severidad de las Consecuencia a las Personas

En el análisis de la Severidad de las Consecuencias a las Personas, se debe considerar a los habitantes que se encuentren en los alrededores de la instalación minera, es decir, en el área donde potencialmente podría presentarse la situación de riesgo, cuando la faena se encuentre en condición de riesgo.

El procedimiento planteado consiste en realizar el análisis de "características" que reflejen el grado de severidad de las consecuencias en las personas en el periodo de post cierre, asumiendo el escenario de que efectivamente ocurriera el Hecho. Por otro lado, al igual que en la determinación de la probabilidad de ocurrencia, también se ha considerado como parte del análisis de la severidad de las consecuencias, la efectividad de las medidas de cierre propuestas por el operador minero en orden a disminuir en algún nivel el riesgo de la instalación en condición de cierre conforme al esquema indicado la Figura N° 13.

Figura N° 13: Esquema del análisis de la Severidad de las Consecuencias en las Personas (SCp)



Fuente: Elaboración propia.

a. Características (SCp')

Considerando que la evaluación de riesgos se debe hacer para las condiciones en la cual queda la instalación desde el momento que inicia el post cierre se han definido seis (6) características o variables que permiten reflejar el nivel de severidad de las consecuencias en las personas

- **Intensidad (I):** Indica el grado de afectación en áreas de uso antrópico, incluyendo cualquier sector utilizado por un grupo humano con diversos fines. En consecuencia, se debe evaluar el grado de afectación de sectores utilizados con fines residenciales, económicos (puede incluir infraestructura o sectores con clara intervención como áreas cultivadas, así como también áreas más "silvestres" pero vinculadas por ejemplo a pastoreo de animales como vegas y bofedales), ceremoniales o recreativos.

- **Proximidad (Pr):** Evalúa la proximidad de la instalación minera a asentamientos humanos o áreas con actividades antrópicas. Es necesario considerar que dependiendo del alcance espacial de un evento no deseado, la proximidad de las obras ante asentamientos humanos o áreas con usos antrópicos cobra relevancia para evaluar la severidad de las consecuencias.

- **Fragilidad (F):** Considera la fragilidad de las personas ante la ocurrencia del Hecho en relación a su composición etaria, es decir, el porcentaje de la población en edades frágiles, como son los niños y ancianos. Dicha población se considera podría tener menor capacidad de enfrentar eventos indeseados que exijan movilidad física autónoma y rápida para evitar sufrir consecuencias físicas.

- **Daño a la Salud (S):** Refleja la potencial afectación a la salud de las personas. La gradualidad de la severidad de la consecuencia ante esta variable, tiene relación con la temporalidad del malestar/daño, así como también con la necesidad de contar con asistencia médica para la recuperación.

- **Recuperabilidad (RE):** Define la posibilidad de volver al estado normal de forma total o parcial de la persona y sus actividades después de ocurrido el Hecho. Esta variable busca identificar cómo el evento no deseado puede comportarse en el tiempo en función de que el daño sea revertido.
- **Capacidad de Respuesta (C.Re):** Analiza la capacidad de respuesta ante la ocurrencia del Hecho. Para evaluar tal capacidad, se toma como referencia la existencia o no de un sistema de alerta temprana y el nivel de información, capacitación y entrenamiento que la población, con potencial de ser alcanzada por el evento.

Para evaluar cada una de estas variables, se ha establecido un rango de valoración entre 1 y 5, que van desde un nivel muy bajo y hasta un nivel muy alto de severidad de las consecuencias.

Tabla 16. Características para el análisis de la Severidad de las Consecuencias en las Personas

		Rango				
		MUY BAJO (1)	**BAJO (2)**	**MEDIO (3)**	**ALTO (4)**	**MUY ALTO (5)**
Características o variables	**Intensidad (I)**	**No tiene potencial** de afectar zonas residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.	**Tiene potencial** de afectar **una** de las siguientes zonas; residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.	**Tiene potencial** de afectar **dos** de las siguientes zonas; residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.	**Tiene potencial** de afectar **tres** de las siguientes zonas; residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.	**Tiene potencial** de afectar **todas** las siguientes zonas; residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.
	Proximidad (Pr)	Instalación minera **emplazada fuera** de asentamientos o lugares con actividades antrópicas.	-	Instalación minera **emplazada colindante** con asentamiento y/o lugares con actividades antrópicas.	-	Instalación minera **emplazada en medio de asentamiento**.
	Fragilidad (F)	0 - 5 %	6 - 10 %	11 - 20 %	21 - 30 %	> 30%

		Rango				
		MUY BAJO (1)	**BAJO (2)**	**MEDIO (3)**	**ALTO (4)**	**MUY ALTO (5)**
	Daño a la Salud (S)	**No existe** un potencial de afectación a la salud.	**Existe potencial** de afectación, pero con molestias en la salud que **pueden desaparecer por sí solas y en pocos minutos** (por ejemplo nauseas provocadas por malos olores que duren poco tiempo).	**Existe un potencial** de afectación a la salud, que no dejando secuelas, sí implica la **necesidad de asistencia** médica para **recuperarla en pocas horas**.	**Existe un potencial** de afectación a la salud que dejará **secuelas por más de un día** (sin secuelas crónicas), y que requiere de tratamiento u observación médica.	Existe un potencial de **afectación a la salud que causará secuelas crónicas o la muerte**.
	Recuperabilidad (RE)	**Inmediato** (Durante la semana en que ocurre el Hecho).	**Corto Plazo** (Durante 2da a 4ta semanas de ocurrido el Hecho).	**Mediano Plazo** (Durante el mes 2do y hasta 12vo de ocurrido el Hecho).	**Largo Plazo** (Durante el mes 13vo y 24vo de ocurrido el Hecho).	**Irrecuperable** (No existe recuperación).
	Capacidad de Respuesta (C.Re)	**Existencia** de Sistema de Alerta y **Totalmente** Capacitados.	**Existencia** de Sistema de Alerta temprana **sin capacitación** de la población.	**Existencia** de Sistema de Alerta temprana y **parcial capacitación** de la población.	**No existencia** de Sistema de Alerta e **información general** de la población.	**No existencia** de Sistema Alerta temprana **ni información** a la población.

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el análisis para cada riesgo el Evaluador deberá, identificar en cada Variable la valoración que correspondería en el escenario de que ocurriera el hecho y con dichos valores se deberá completar la Tabla 17:

Tabla 17. Análisis de la Severidad de las Consecuencias en las Personas.

VARIABLES					
Intensidad (I)	**Proximidad (Pr)**	**Fragilidad (F)**	**Daño a la Salud (S)**	**Recuperabilidad (RE)**	**Capacidad de Respuesta (C.Re)**

Fuente: Elaboración propia.

El resultado final del análisis de las características de los habitantes en el área de influencia, se obtendrá empleando la siguiente relación:

$$SCp' = I + Pr + F + S + RE + C.Re \qquad \text{(Ec. 3)}$$

b. Índice de Medidas de Cierre que inciden en la Severidad de las Consecuencias a las Personas (IMC2)

Como se ha indicado el nivel de afectación o daño resultante de la ocurrencia de un hecho dependerá no solo de las características o variables que podría presentar en ese momento la población sino también del nivel de control del riesgo que las medidas de cierre permitan, es decir su efectividad.

Las medidas de cierre, que tengan incidencia en la severidad de las consecuencias serán evaluadas de acuerdo al procedimiento presentado en la Tabla 14, teniendo presente que se incluyen en la primera columna precisamente las medidas referidas a reducir o mitigar la severidad de las consecuencias en las personas para el riesgo analizado.

El resultado del análisis se obtendrá empleando la siguiente ecuación,

$$IMC2 = \frac{\sum MCI_i}{n} \qquad \text{(Ec. 4)}$$

Donde :

IMC2= Índice de Medidas de Cierre que inciden en la severidad de las consecuencias sobre las personas.

IMC_i = Valor seleccionado para cada medida de cierre.

n = Número de medidas de cierre asignadas para el riesgo analizado.

c. Determinación del Nivel de la Severidad de las Consecuencias a las personas (SCp)

Una vez analizadas las características de la población potencialmente afectada y determinado el Índice de Medidas de Cierre para el riesgo analizado, el Evaluador procederá a la aplicación de la siguiente fórmula:

$$SCp = SCp' \times IMC2 \qquad \text{(Ec. 5)}$$

Finalmente el nivel resultante cuantitativo será convertido a una estimación cualitativa mediante el empleo de los rangos de ponderación formulados en la siguiente tabla:

Tabla 18. Nivel de la Severidad de las Consecuencias a las Personas.

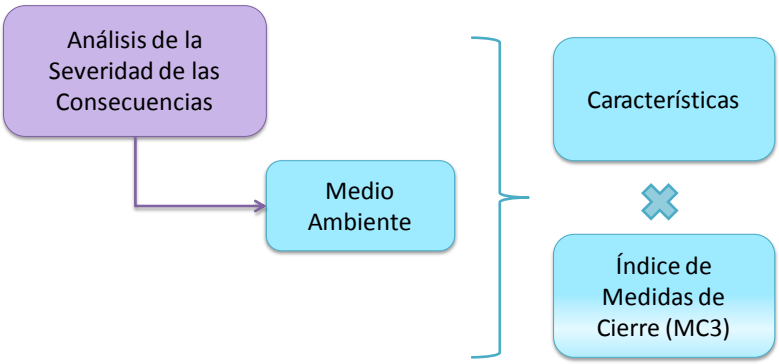
Resultados de la fórmula SCp	Nivel de Severidad de las Consecuencias
25 - 30	MUY ALTA
20 - 24	ALTA
15 - 19	MODERADA
10 - 14	BAJA
5 - 9	MUY BAJA

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Análisis de la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente

El enfoque para el análisis de la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente es similar al procedimiento planteado para el caso de la afectación a las personas:

Figura N° 14: Esquema del análisis de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente.



Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la severidad de las consecuencias para el medioambiente también se plantea incluir no sólo la incidencia de la aplicación de medidas de cierre propiamente tales sino que también las variables de los componentes ambientales vinculados a la estabilidad física y química.

a. Variables en los Componentes Ambientales (SCma')

Se ha realizado la diferenciación de los receptores específicos del medio ambiente a partir ciertos componentes ambientales[19], seleccionando aquellos que tienen relación con la estabilización física y química, y que podrían ser afectados por la ocurrencia de un hecho durante el periodo de post cierre:

Tabla 19. Consideraciones de cada componente ambiental.

COMPONTE AMBIENTAL	CONSIDERACIONES
Aire	Se deberá tener en consideración los eventuales efectos derivados de emisiones de material particulado y sedimentable.
Suelo	Se deberá enfocar el análisis en la capacidad de uso y el valor ambiental del suelo.
Agua Superficial	Serán relevantes los aspectos asociados a la calidad, cantidad y uso de este recurso.
Agua Subterránea	Serán relevantes los aspectos asociados a la calidad, cantidad y uso de este recurso.
Flora y Fauna	Se deberá tener especial consideración las especies en categoría de conservación y formaciones vegetacionales existentes.
Áreas Protegidas y Sitios Prioritarios para la Conservación	Se deberá determinar si cada riesgo analizado afecta las superficies establecidas en estas declaratorias oficiales.

Fuente: Elaboración propia.

El Evaluador deberá seleccionar, para cada riesgo analizado, los componentes ambientales que podrían ser afectados en el escenario de ocurrencia de un hecho. Para el análisis de la severidad de la consecuencia en cada uno de estos componentes ambientales se han definido cinco (5) variables, las que en su conjunto reflejarían el nivel de severidad de las consecuencias que podrían presentarse en el medio ambiente.

[19] Para la definición de los componentes ambientales remitirse a lo establecido en la Ley de Medio Ambiente N° 19.300.

Estas variables se indican a continuación:

- **Extensión (E):** Define la magnitud y/o consecuencia espacial del hecho. Esta variable tiene como objetivo determinar la superficie y/o extensión territorial que podría ser afectada por el riesgo analizado.

- **Duración (D):** Indica el tiempo que permanecerá la consecuencia desde su aparición. No considera la aplicación de acciones correctivas. La variable duración busca determinar la extensión "temporal" del riesgo analizado.

- **Reversibilidad (Rev):** Evalúa la capacidad que tiene el medio ambiente de revertir naturalmente o mediante acciones las consecuencias del riesgo. Esta variable tiene como objetivo principal determinar la capacidad de resiliencia del componente ambiental según el tipo de riesgo analizado. En este sentido, busca evaluar si es que la componente ambiental podrá volver a la situación o condición existente de manera previa a la generación del riesgo analizado.

- **Intensidad (I):** Expresa el grado de alteración sobre el medio ambiente que pueda generar el riesgo analizado. Son ejemplos de *Intensidad Alta* la destrucción y/o pérdida del recurso o componente analizado; de *Intensidad Media* la disminución y/o degradación del componente; en tanto, se entenderá como *Intensidad Baja* cuando el nivel y/o grado de alteración implique modificaciones menores en la condición de la situación basal del componente.

- **Relevancia Ambiental (Rel)**: Refleja la relevancia y/o valor ambiental del componente. A modo de referencia, son ejemplos de Relevancia Ambiental *Muy Alta* la presencia de bofedales y/o llaretas; paisaje prístino y/o escasamente intervenido; suelos con alto potencial agropecuario; hábitats de flora/fauna frágiles y/o que contengan especies en algún tipo de categoría de conservación; recursos hídricos –superficiales y/o subterráneos- que sean utilizados para el consumo humano y/o tengan valor biológico por su importancia para el ecosistema. En complemento, en la siguiente tabla se presentan orientaciones adicionales para la determinación de la Relevancia Ambiental.

De igual manera que se realizó para el análisis a las personas, para cada una de las variables identificadas se consideraron cinco rangos desde muy baja (1) hasta muy alta (5), expresando de esta manera el nivel de la severidad de las consecuencias en el componente ambiental analizado:

Tabla 20: Variables para el análisis de la Severidad de las Consecuencias en los Componentes Ambientales.

		Rango				
		MUY BAJO (1)	**BAJO (2)**	**MEDIO (3)**	**ALTO (4)**	**MUY ALTO (5)**
Variables	**Extensión (E)**	**Puntual**: cuando la consecuencia se manifiesta en el entorno inmediato a la fuente generadora.	**Parcial:** cuando la consecuencia tiene implicancias que abarcan una superficie menor a una subcuenca.	**Local**: cuando la consecuencia se manifiesta abarcando una superficie igual a una subcuenca.	**Extenso:** cuando la consecuencia se manifiesta abarcando la superficie equivalente o mayor a una subcuenca.	**Regional**: cuando la consecuencia tiene implicancias regionales.
	Duración (D)	**Temporal:** hasta 6 mes después de verificado el hecho.	**Corto plazo:** entre 6 meses y 1 año.	**Mediano plazo:** entre 1 y 3 años.	**Largo plazo:** entre 3 y 5 años	**Permanente:** duración superior a 5 años.
	Reversibilidad (Rev)	**Reversible:** la consecuencia se revierte en forma natural una vez finalizada la acción que lo genera.	**Reversibilidad Baja**: la consecuencia no se revierte de manera natural después de finalizada la acción que lo genera, pero puede ser revertido en algunos aspectos y de manera transitoria, mediante acciones correctoras.	**Parcialmente reversible:** la consecuencia no se revierte de manera natural después de finalizada la acción que lo genera, pero puede ser revertido al menos parcialmente, mediante acciones correctoras.	**Potencialmente Reversible**: la consecuencia no se revierte de manera natural después de finalizada la acción que lo genera, pero puede ser revertido en algunos aspectos específicos, mediante acciones correctoras.	**Irreversible**: la consecuencia no se revierte en forma natural al finalizar la acción que lo genera y tampoco puede ser revertido mediante acciones correctoras**.**

		Rango				
		MUY BAJO (1)	**BAJO (2)**	**MEDIO (3)**	**ALTO (4)**	**MUY ALTO (5)**
	Intensidad (I)	**Muy Bajo:** grado de alteración mínima en que el componente ambiental se mantiene en su línea base.	**Bajo:** grado de alteración en que el component e ambiental se modifica de baja forma en su línea base.	**Medio:** grado de alteración moderado que implica cambios parciales en la línea base del componente.	**Alto:** grado de alteración mayor que implica una eventual eliminación del componente ambiental o un cambio relevante de su línea base.	**Muy Alto:** grado de alteración mayor que implica la eliminación del componente ambiental o el cambio total de su línea base.
	Relevancia Ambiental (Rel) *	El componente ambiental está abundantemente representado y/o no posee restricciones que condicionan su intervención.	-	El componente ambiental posee una representativi dad aceptable y/o no posee restricciones que condicionan su intervención.	-	El componente ambiental tiene escasa representativi dad o tiene restricciones que condicionan su intervención.

** Notas sobre la variable Relevancia Ambiental (Rel):*

Para determinar la Relevancia Ambiental se podrá tener en consideración los siguientes criterios y/o aspectos adicionales:

Relevancia Ambiental Muy baja: el componente ambiental está abundantemente y/o altamente representado, no contiene especies o componentes singulares o amenazadas, no provee servicios ambientales relevantes, no posee condiciones que restrinjan su intervención, posee una escasa valoración del grupo humano y/o no posee un uso actual. Valor (1)

Relevancia Ambiental Media: el componente ambiental posee una abundancia y/o representatividad aceptable, baja proporción de especies o componentes singulares y/o amenazadas, provee servicios ambientales que no se consideran críticos, posee una capacidad de Resilencia aceptable, el recurso/componente que es valorado por el grupo humano al poseer un uso actual, pero que actualmente posee alternativas de reemplazo, el recurso/componente fue recientemente utilizado con fines culturales o

económicos por comunidades tradicionales, un grupo humano indígena y/o un grupo vulnerable. Valor (3)

Relevancia Ambiental Muy alta: el componente ambiental tiene alta proporción de especies o componentes singulares o amenazados, provee servicios ambientales relevantes, baja capacidad de Resilencia y/o fragilidad, régimen de protección oficial, alta valoración por parte de los grupos humanos, cuando el recurso/componente es utilizado con fines culturales o económicos por comunidades tradicionales, un grupo humano indígena y/o un grupo vulnerable. Valor (5)

Los valores intermedios (2 y 4) se podrán establecer como parte de los umbrales entre los valores extremos.

En base a los criterios presentados en los cinco rangos de cada variable, el Evaluador deberá seleccionar los valores que corresponden a su riesgo analizado y completar la Tabla 21:

Tabla 21. Análisis de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente

VARIABLES						
COMPONENTES AMBIENTALES	APLICA (Si/No)	Extensión (E)	Duración (D)	Reversibilidad (Rev)	Intensidad (I)	Relevancia Ambiental (Rel)
Calidad del Aire						
Suelo (Edafología)						
Agua superficial						
Agua subterránea						
Flora y Fauna						

Fuente: Elaboración propia.

La segunda columna permite al Evaluador indicar cuáles son los factores ambientales que aplican al riesgo analizado, es decir seleccionar aquellos que podrían ser afectados en forma posterior al cese de las operaciones mineras.

Una vez completa cada una de las filas de acuerdo a los criterios de la para cada uno de los componentes ambientales, el Evaluador deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$SCma'i = E + D + Rev + I + Rel \qquad \textbf{(Ec. 6)}$$

Finalmente, para la determinación de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente, el Evaluador deberá seleccionar el **valor mayor** de los resultados obtenidos en la Tabla 21 para cada componente ambiental:

SCma'= Máximo (Scma'i) **(Ec. 7)**

b. Índice de Medidas de Cierre que afecta la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente (IMC3)

De igual manera que se planteó para el caso del análisis de la severidad de las consecuencias en las personas, el nivel de afectación o daño resultante de la ocurrencia de un Hecho dependerá no solo de las características o variables que presente en ese momento el medioambiente sino que también de la existencia de medidas de cierre.

Tales medidas de cierre serán evaluadas de acuerdo al procedimiento presentado en la Tabla 14 con la diferencia de que el Evaluador introducirá en la primera columna las medidas o actividades de cierre referidas a reducir o mitigar la severidad de las consecuencias en los componentes ambientales para el riesgo analizado. El resultado del análisis se obtendrá empleando la siguiente ecuación, denominándolo con la sigla IMC3:

$$\mathbf{IMC3} = \frac{\sum \mathbf{MCI_i}}{\mathbf{n}} \qquad \textbf{(Ec. 8)}$$

Donde :

IMC3= Índice de Medidas de Cierre que inciden en la severidad de las consecuencias sobre el medioambiente.
IMC_i = Valor seleccionado para cada medida de cierre.
n = Número de medidas de cierre asignadas para el riesgo analizado.

c. Determinación del Nivel de la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente (SCma)

Una vez analizada la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente y determinado el Índice de Medidas de Cierre para el riesgo analizado, el Evaluador procederá a la aplicación de la siguiente fórmula:

SCma= SCma' x IMC3 **(Ec. 9)**

Finalmente el valor resultante será convertido a una estimación cualitativa mediante el empleo de los rangos de ponderación formulados en la siguiente tabla:

Tabla 22. Nivel de la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente

Resultados de la fórmula SCma	Nivel de Severidad de las Consecuencias
21 - 25	MUY ALTA
17 - 20	ALTA
13 - 16	MODERADA
9 - 12	BAJA
5 - 8	MUY BAJA

Fuente: Elaboración propia

5. EVALUACIÓN DEL RIESGO

Una vez establecida la Probabilidad de ocurrencia del hecho y la Severidad de sus consecuencias, tanto para las personas como para el medio ambiente, es factible evaluar efectivamente el riesgo de la respectiva instalación utilizando para ello una matriz de riesgos como la que se muestra en la Figura N° 15.

Figura N° 15: Matriz de Evaluación de Riesgos

		Severidad de las Consecuencias				
		Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Probabilidad de Ocurrencia del Hecho	Muy alta	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Alto	Medio
	Alta	Muy Alto	Alto	Alto	Medio	Medio
	Moderada	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo
	Baja	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Muy baja	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de riesgo consiste en una tabla de doble entrada de 5 x 5 cuyo resultado expresa el nivel de riesgo en un rango de cuatro niveles desde "Bajo" hasta "Muy Alto".

El Evaluador ingresará a la matriz con el resultado del **Análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho** en la segunda columna y el resultado del Análisis de **la Severidad de las Consecuencias** en la segunda fila superior, la intersección de ambos indicará el nivel resultante de riesgo. Por ejemplo, si la severidad de las consecuencias se estimó como *moderada* y la probabilidad de ocurrencia del hecho como *baja* entonces, usando la matriz resultaría un ***riesgo medio***.

Este proceso se debe realizar tanto para los resultados de severidad obtenida para las personas y para el medio ambiente, de modo que se tendrán dos niveles de riesgos, uno para las personas y otro para el medio ambiente.

a. Nivel de Riesgos para las Personas.

$$R_P = P \times SC_P \qquad \textbf{(Ec. 10)}$$

b. Nivel de Riesgos para el Medio Ambiente

$$R_{ma} = P \times SC_{ma} \qquad \textbf{(Ec. 11)}$$

6. NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL RIESGO

A efectos de la presente metodología, se considerará como **nivel de significancia** del riesgo al resultado de la evaluación de riesgos que indique que el riesgo analizado requiere ser controlado para resguardar la salud y seguridad de las personas y el medio ambiente.

Conforme a la metodología de evaluación de riesgos propuesto en esta Guía, se considerarán como **riesgos significativos** todos aquellos que en su evaluación de cómo resultante un nivel de riesgos *medio a alto*, por lo que deberán ser objeto de medidas de control específicas, ya sea que incidan sobre la probabilidad de ocurrencia, la severidad de las consecuencias o ambas a la vez. En caso de que el valor resultante sea *bajo* el riesgo se entenderá como **No Significativo.**

Figura N° 16: Establecimiento de la significancia del nivel de riesgo

		Severidad de las Consecuencias				
		Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Probabilidad de Ocurrencia del Hecho	Muy alta	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Alto	Medio
	Alta	Muy Alto	Alto	Alto	Medio	Medio
	Moderada	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo
	Baja	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Muy baja	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

RIESGO SIGNIFICATIVO

RIESGO NO SIGNIFICATIVO

Fuente: Elaboración propia.

7. TRATAMIENTO DEL RIESGO

Como indica el esquema metodológico (Figura N° 6) si el riesgo resultante del análisis presenta un nivel significativo, se requiere realizar un **Tratamiento del Riesgo** con la finalidad de asegurar la estabilidad física y química de la instalación.

En estos casos, la empresa minera tendrá que analizar y reformular las medidas de cierre consideradas y su efectividad para el control del riesgo, pudiendo también incorporar nuevas medidas de acuerdo al avance tecnológico existente. En este mismo sentido, dado que la probabilidad de ocurrencia está determinada también por factores técnicos de operación, podrá conjuntamente disponer de los ajustes operacionales necesarios para llevar el riesgo a un nivel aceptable para la condición de cierre.

El contenido del Plan de Cierre considera un capítulo específico para las obras, medidas o actividades de cierre propuestas por el titular del proyecto. Sin perjuicio que las medidas de cierre son específicas para cada faena minera, existen una serie de buenas prácticas reconocidas y aceptadas en la industria, entre las que se puede mencionar:

- Referencia Nacional:
  - ✓ *Reglamento Cierre Faenas e Instalaciones Mineras*, Ministerio de Minería (2012). DS 41.
  - ✓ *Reglamento de Seguridad Minera*, Ministerio de Minería (2004). DS 132
  - ✓ *Ley de cierre de faenas e instalaciones mineras*, Ministerio de Minería (2011). Ley 20.551.
  - ✓ *Guía Metodológica para el Cierre de Faenas Mineras,* Ministerio de Minería y Consejo Minero (2002).
  - ✓ *Guía Metodológica sobre Drenaje Ácido en la Industria Minera,* Ministerio de Minería y Consejo Minero (2002).
  - ✓ *Manual de Remediación de Pasivos Ambientales Mineros (PAM),* SERNAGEOMIN y Golder Associates S.A. (2006).
  - ✓ *Guía Técnica de Operación y Control de Depósitos de Relave,* Ministerio de Minería (2007).

- Referencia Internacional:
  - ✓ *Global Acid Rock Drainage (GARD) Guide,* International Network for Acid Prevention (INAP) (2009).
  - ✓ *Mine Environment Neutral Drainage (MEND),* International Network for Acid Prevention (INAP) y Global Alliance (GA) (2009).
  - ✓ *Mine Closure handbook. Environmental Techniques for the Extractive Industries,* Heikkinen et al (2008).
  - ✓ *Guía para la Elaboración de Planes de Cierre de Minas,* Ministerio de Energía y Minas de Perú (2006).

8. RIESGO RESIDUAL

La ISO define el *riesgo residual* como el nivel de riesgo resultante luego de haber realizado el tratamiento del riesgo[20]. Para el caso de esta metodología, si el resultado de la evaluación de un determinado riesgo resulta con un nivel "no significativo" (*bajo*), este nivel de riesgo se considerará como el "riesgo residual" debido a que proviene no solo de la buena operación de la instalación minera evaluada sino también de la efectividad de las medidas de control comprometidas en el diseño.

[20] ISO/CEI Guide 73 Terminology.

Por otro lado, en aquellos casos donde el resultado de la evaluación de riesgo indique un nivel de riesgo significativo, (de *moderado* a *muy alto)* se debe proceder a realizar el Tratamiento de ese riesgo, ya sea complementando las medidas de cierre o modificando la operación minera según corresponda.

Una vez realizado lo anterior, corresponderá realizar la evaluación de riesgos nuevamente, obteniendo un nuevo nivel de riesgo que será considerado como el riesgo residual resultante.

9. OPERATIVIDAD EN LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Para hacer operativa la metodología propuesta en esta Guía, se acompaña una serie de planillas electrónicas para cada riesgo que han sido preparadas para ser utilizadas por los evaluadores respectivos, cuyo uso se explica en el Anexo que se acompaña a esta Guía.

CAPÍTULO VI. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA GUÍA

En el Capítulo V, se ha desarrollado la explicación paso a paso de la metodología propuesta para la evaluación de riesgos en las Instalaciones mineras principales. En el presente capítulo, se realizará, a manera de ejemplo, el empleo de la metodología para la evaluación de un riesgo en una instalación minera **hipotética**.

1. CARACTERÍSTICAS DEL CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio corresponde a un Tranque de Relaves "X" perteneciente a la minera "XYZ", dicha instalación presenta las siguientes características generales:

Figura N° 17: Caso de Estudio: Tranque de Relaves "X"

Fuente: Elaboración propia.

Antecedentes:

1. Altura final del muro : 150 m.
2. Taludes aguas arriba (V:H) : 1:2.
3. Taludes aguas abajo (V:H) : 1:4.

4. Capacidad (TM) : 1.000.000.000.
5. Sistema de Construcción : Aguas Abajo.
6. Material del Muro : Arena ciclonada.
7. Tiempo de vida : 30 años.
8. Altura actual del muro : 75 m.
9. Evaluación de riesgos : año 10 de operación.
10. El depósito aloja 370.000.000 ton. de relaves en la actualidad.
11. Tasa de procesamiento 40 millones ton-año.
12. Evidencia de una falla (geológica) tectónicamente activa en el área de estudio.
13. El muro cuenta con un sistema de piezómetros dispuestos de manera uniforme en el área de su base.
14. Al momento de la evaluación presenta un funcionamiento adecuado del sistema de drenaje.
15. Laguna de 1.4 Mm^3 se encuentra operando fuera de su posición de diseño.
16. El valle que ocupa el depósito de relaves es afluente al río Sisajahuira que es fuente de captación de agua para la población existente, además es utilizada para riego de agricultura.
17. Existe dentro de la zona delimitada por la Distancia Peligrosa la población Chuquiña con 5,500 habitantes, de los cuales el 10% corresponde a niños y ancianos. Así mismo el 35% se identifica como población indígena.
18. La principal actividad del área es la agricultura. La cual se practica en la periferia del sector residencial.
19. En la ribera norte del río Sisajahuira se desarrolla el Área Protegida Altos de Sisajahuira.
20. Aguas abajo del depósito de observan amplias zonas con presencia de llaretas (especie en categoría de protección).
21. La población no ha recibido ningún tipo de información de la empresa Minera sobre procedimientos en caso de emergencia y no posee sistemas de alerta temprana.
22. La empresa minera se ha comprometido en el diseño a realizar las siguientes obras de cierre: Secado de Lagunas de Agua Clara, Estabilización de Taludes y Programa de Difusión.

23. La tradición en el área señala que existió un movimiento sísmico muy fuerte hace 200 años.

2. DESARROLLO DEL EJEMPLO

Siguiendo el esquema metodológico de la Figura N° 6, una vez identificada la instalación minera a ser evaluada, en este caso el Tranque de relaves "X", la minera "XYZ" ha procedido a la identificación de los riesgos, para el caso del depósito de relaves la Guía ofrece un listado de riesgos en la

Tabla 8, de los cuales para el ejemplo se evaluará:

- Riesgo a las personas por liberación de relaves a causa de un sismo.
- Riesgo al medio ambiente por liberación de relaves a causa de un sismo.

Para realizar el análisis de riesgo, el Evaluador dispone de la planilla DR1 en formato digital (Anexo E. Planilla tipo 1), se describen los pasos a continuación:

2.1 Análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho

De acuerdo a la metodología la probabilidad de Ocurrencia del Hecho se debe analizar como un escenario de dos componentes: el evento natural, en este caso el sismo, y la Condición de la Instalación, es decir del depósito de relaves "X".

2.1.1 Nivel de Probabilidad de ocurrencia del Evento Natural

Las características del depósito de relaves "X" indican que se evidencia una falla tectónicamente activa en el área de estudio, además que por tradición oral en la comunidad de Chuquiña se señala que existió un movimiento sísmico muy fuerte hace 200 años. Por tanto, la empresa minera "XYZ" ha efectuado el estudio sísmico correspondiente, en base a los resultados de dicho estudio, su especialista indicó que el nivel de probabilidad de ocurrencia de un sismo en la etapa de post cierre es ALTO:

Evento: **Sismo**

Nivel de Probabilidad de ocurrencia				
1	2	3	**4**	5
MUY BAJO	BAJO	MEDIO	**ALTO**	MUY ALTO

Nivel de Probabilidad de Ocurrencia del Evento: ALTO.

En la planilla 1, existe un espacio denominado ***trazabilidad*** donde la empresa minera ha escrito el nombre del estudio de riesgo sísmico y la referencia del anexo donde adjunta el documento de respaldo.

2.1.2 Condición de la instalación (CI)

a. Valorización de los factores técnicos (VFT)

La empresa minera "XYZ", de acuerdo a los criterios establecidos en la tabla de factores técnicos para este riesgo (Anexo C) ha realizado la revisión de sus registros de operación hasta el año actual, es decir hasta el año 10 de operación, dichas condiciones técnicas han sido comparadas con las establecidas en el diseño, de tal manera de identificar si existían desviaciones. En base a esto, ha procedido al llenado de la tabla, ubicándose para cada factor en la casilla y valor que le correspondía.

Por ejemplo, en el factor a: "Valor mínimo medido inferior al valor de diseño de revancha (cota coronamiento - cota relave contacto con el muro)", los registros de su operación indicaron desviaciones muy frecuentes, en algún caso hasta 5 desviaciones por año, por tanto la valorización para ese factor corresponde a la casilla central de la tabla con el valor 0.5.

De igual forma, analizando cada factor con el respaldo de sus registros, la empresa minera ha completado la tabla:

	Valorización / Factores	**0**	**0,25**	**0,5**	**0,75**	**1**	**VALOR DE SELECCIÓN**
a	Valor mínimo medido inferior al valor de diseño de revancha (cota coronamiento - cota relave contacto con el muro).	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año).	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Registro solamente esporádico con desviaciones. Desviaciones constantes por más de un año. No existe control o monitoreo.	**0,5**

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1	VALOR DE SELECCIÓN
b	Valor mínimo medido inferior al valor de diseño de revancha Hidráulica o Total (cota coronamiento - cota nivel de aguas claras).	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año).	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por más de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.	**0,5**
c	Contenidos de finos en arena del muro del tranque sea >20% (bajo #200).	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año).	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por más de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.	**1**

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1	VALOR DE SELECCIÓN
d	Niveles piezométricos en el muro: valores de registros altos sistemáticos en el tiempo (ubicación distribuida arealmente).	Cumple con niveles máximo permitidos. Distribución areal adecuada.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año y concentradas en un sector).	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y afectan todo el muro)	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el muro). Distribución areal adecuada.	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo. O no existe una adecuada ubicación de los puntos de monitoreo.	**0,75**
e	Densidad relativa de compactación del material del muro menor al diseño.	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año y concentradas en un sector)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.	**0,25**

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1	VALOR DE SELECCIÓN
f	Ángulo del talud de aguas abajo mayor al talud de diseño.	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año).	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por más de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.	**0,25**
g	Laguna fuera de su posición de diseño (* considerar solo en caso de muro de arena).	Ningún evento registrado en los últimos 5 años.	-	-	-	Evento registrado en los últimos 5 años.	**1**
h	Afloramientos de agua en el pie del muro no recogidos por el dren o agua del dren enturbiada.	Ningún evento registrado por año.	-	-	-	Más de un evento por año en el período de análisis y dos o más eventos en año consecutivos.	**0**

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1	VALOR DE SELECCIÓN
i	Valor mínimo medido del ancho de coronamiento de diseño inferior al requerido.	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año y concentradas en un sector).	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.	**0,25**

Para este riesgo, se ha realizado en la Guía una distinción entre los muros de arena y empréstito debido a que presentan características de análisis diferente, para el caso de estudio, al ser un muro de arena, el resultado final de la valorización de los factores técnicos se lo ha realizado empleando la siguiente fórmula:

$$VFT = 29a + 29b + 16c + 10d + 5e + 5f + 2g + 2h + 2i = 58$$

Dicho resultado numérico refleja los factores técnicos del depósito de relaves que podrían incidir en la respuesta del mismo si un sismo ocurriera en la etapa de post cierre.

a. Índice de Medidas de Cierre con incidencia en la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho (IMC1)

En este punto del análisis, se tiene como información que la empresa minera "XYZ" en los compromisos emitidos para la aprobación de su diseño indicó como medidas de control para el cierre: secado de lagunas de agua clara, estabilización de taludes y la realización de un programa de difusión.
De acuerdo a la metodología, del listado de medidas de control comprometidas, el evaluador debe seleccionar aquellas que puedan reducir el riesgo evaluado en sus componentes de probabilidad de ocurrencia y severidad de consecuencias. En este caso para **controlar** la probabilidad de ocurrencia de la liberación de relaves, en base al análisis de sus especialistas, la empresa minera consideró que la Estabilización de

taludes tendrá una efectividad del 90% y el Secado de la laguna un 60%, por tanto realizó la siguiente evaluación:

	Nivel de Control del Riesgo con la ejecución de la Medida				
	100%-81%	80%-61%	60%-21%	20%-0%	
	Índice de la Medida de Control				
Medidas de Cierre	0,5	0,65	0,8	0,95	Índice seleccionado
Estabilización de taludes	x				0,5
Secado de laguna		x			0,65

$$IMC1 = \frac{(0,5 + 0,65)}{2} = 0,58$$

Resultando del Índice de Medidas de Cierre : **IMC1=** **0,58**

b. Condición de la Instalación (Factores Técnicos x IMC1)

Con los valores obtenidos en la valorización de los factores técnicos y en la determinación del IMC1, se ha calculado la Condición de la Instalación:

$$CI = VFT\ x\ IMC1\ =\ 33$$

Como indica la metodología, el valor cuantitativo obtenido se lo ingresó en la Tabla 15 para obtener el resultado cualitativo:

Resultados de la fórmula	Nivel del Valorización
80-100	MUY ALTO
60-79	ALTO
40-59	MEDIO
20-39	**BAJO**
0-19	MUY BAJO

Resultando del Nivel de Valorización de los Factores Técnicos: BAJO

2.1.3 Nivel de la probabilidad de ocurrencia del Hecho

Finalmente, con los niveles cualitativos de ocurrencia del evento sísmico (ALTO) y de la condición del depósito de relaves (BAJO), el evaluador ingresó a la Figura N° 10, para la obtención del nivel de la Probabilidad de ocurrencia del Hecho:

		Condición de la Instalación (Factores Técnicos x IMC1)				
		Muy alto	**Alto**	**Medio**	**Bajo**	**Muy Bajo**
Nivel de Probabilidad de Ocurrencia del Evento	**Muy alto**	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada
	Alto	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada	**Probabilidad Moderada**	Probabilidad Baja
	Medio	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja
	Bajo	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja	Probabilidad Baja	Probabilidad Muy Baja
	Muy Bajo	Probabilidad Moderada	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja	Probabilidad Muy Baja	Probabilidad Muy Baja

NIVEL DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UN HECHO: MODERADA

Por tanto la probabilidad de liberación de relaves del depósito "X" durante el post cierre es moderada

2.2 Análisis de la Severidad de las Consecuencias

De acuerdo a la metodología desarrollada en el subtítulo 4.2 del Capítulo V, la empresa minera "XYZ" ha realizado el análisis para la obtención del nivel de severidad de las consecuencias en las personas y en el medio ambiente:

2.2.1 Nivel de Severidad de las Consecuencias a las personas

La determinación de la severidad de las consecuencias a las personas se realiza mediante el análisis de las características de los habitantes y la incidencia de las medidas de control:

a. Características (SCp')

Como se ha indicado en las características, descritas al inicio del capítulo, el depósito de relaves "X" se encuentra colindante a la población Chuquiña, por tanto al situarse esta población dentro del área de influencia, delimitada por el Estudio de la Distancia Peligrosa realizado, será el centro del análisis.

En base a lo descrito en la

Tabla 16 y de acuerdo a las características específicas de la población Chuquiña, la empresa minera realizó el análisis para el llenado de la Tabla 17:

VARIABLES					
Intensidad (I)	Proximidad (Pr)	Fragilidad (F)	Daño a la Salud (S)	Recuperabilidad (RE)	Capacidad de Respuesta (C.Re)
5	3	2	5	5	5

En la variable Intensidad, referida al grado potencial de afectación, se ha seleccionado el nivel Muy Alto (5), debido a que la población de Chuquiña tiene un porcentaje de su población indígena, lo que implica no solo la existencia de zonas residenciales sino también de zonas ceremoniales, y además se remarca en las características de la región que su principal actividad es la agricultura. Al encontrarse dentro del área de delimitada por el análisis de la distancia peligrosa, estas tres zonas tienen potencial de ser afectadas.

La variable Proximidad, ha sido calificada con un valor Medio (3) debido a que como se indicó la población se encuentra colindante a la empresa minera.

Para la variable Fragilidad, la empresa minera ha realizado la proyección de la población de niños y ancianos, en base a los datos estadísticos del último censo en la región, siendo el resultado un 10% de la población total, por tanto, el valor seleccionado fue Bajo (2).

En el caso de la variable de Daño a la Salud, en base a experiencias similares donde la liberación de relaves impacto en la población civil, se ha seleccionado el nivel Muy Alto (5), considerando que si llegará a ocurrir una liberación de relaves sobre la comunidad Chuquiña, habría la posibilidad de registrar heridos y muertos.

La variable Recuperabilidad ha sido valorada con un nivel Muy Alto (5), manteniendo el criterio de la variable de Daño a la Salud, es decir, la posibilidad de registrar muertos por la liberación de relaves, permite indicar que se trataría de un escenario irrecuperable.

Finalmente, en la variable Capacidad de Respuesta, si bien la empresa minera se comprometió dentro de sus medidas de control realizar un programa de difusión, a la fecha de la evaluación de riesgos no se ha iniciado el mismo, por tanto se valoriza Muy Alto (5), al no tener la población ningún tipo de información ni un sistema de alerta.

Una vez completada la Tabla 17 se procedió al cálculo empleando la Ec.4 del capítulo V:

$$SCp' = I + Pr + F + S + RE + C.Re$$

$$SCp' = 5 + 3 + 2 + 5 + 5 + 5 = 25$$

b. Índice de Medidas de cierre con incidencia en la severidad de las consecuencias a las personas (IMC2)

De igual manera que se realizó el análisis de las medidas de cierre en la etapa anterior, la empresa minera "XYZ" ha revisado las medidas de control comprometidas para determinar cuál de ellas aporta a reducir la severidad de las consecuencias en la población Chuquiña en caso de que ocurriera una liberación de relaves en la etapa de post cierre.

La medida de control identificada en este caso, es el Programa de Difusión, la empresa minera considera que cuando este se ejecute la eficacia en el control de la severidad de las consecuencias a las personas será un 70%, por tanto:

	Nivel de Control del Riesgo con la ejecución de la Medida				
	100%-81%	**80%-61%**	**60%-21%**	**20%-0%**	
	Índice de la Medida de Control				
Medidas de Cierre	**0,5**	**0,65**	**0,8**	**0,95**	**Índice seleccionado**
Programa de difusión		**x**			**0,65**

Resultado del Índice de Medidas de Cierre (IMC2) = 0.65

c. Nivel de Severidad de las Consecuencias a las personas (SCp)

Con los valores determinados de las características de la población de Chuquiña (SCp') y de la incidencia de las medidas de control propuestas (IMC2), se empleó la ecuación 5:

$$SCp = SCp' x\ IMC2$$
$$SCp = 25\ x\ 0.65 = 16.5$$

Finalmente, con el valor cualitativo se ha ingresado a la Tabla 18 de la Guía para determinar el Nivel de Severidad de las consecuencias en las personas:

Resultados de la fórmula	Nivel del Severidad
25 - 30	MUY ALTA
20 - 24	ALTA
15 - 19	**MODERADA**
10 - 14	BAJA
5 - 9	MUY BAJA

NIVEL DE LA SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS EN LAS PERSONAS: MODERADA

Nótese que si la empresa "XYZ" no hubiese considerado la ejecución eficiente de alguna medida de control para reducir la severidad de las consecuencia a las personas de la población Chuquiña, el resultado final hubiese correspondido únicamente al análisis de sus características, es decir el valor 25, por tanto al ingresar a la Tabla 18 se hubiese obtenido un nivel de severidad de las consecuencias Muy Alta y no Moderada como es el caso.

2.2.2 Nivel de Severidad de las consecuencias al medio ambiente

Para el nivel de la severidad de las consecuencias al medio ambiente, siguiendo la metodología descrita en la guía, la empresa minera "XYZ", ha realizado el análisis tanto en los componentes ambientales involucrados como en las medidas de cierre comprometidas.

a. Variables en los componentes ambientales (SCma')

Para este caso, considerando el área de influencia, la empresa minera ha determinado que los siguientes componentes ambientales podrían ser afectados en caso de ocurrir la liberación de relaves en el post cierre:

		VARIABLES					
COMPONENTES AMBIENTALES	**APLICA (Si/No)**	**Extensión (E)**	**Duración (D)**	**Reversibilidad (Rev)**	**Intensidad (I)**	**Relevancia Ambiental (Rel)**	**SCma´**
Calidad del Aire	no aplica						-
Suelo (Edafología)	**aplica**						
Agua superficial	**aplica**						
Agua subterránea	no aplica						-
Flora y Fauna	**aplica**						
Áreas Protegidas y Sitios Prioritarios para la Conservación	**aplica**						

$$SCma' = E + D + Rev + I + Rel$$
$$SCma = Máximo\ (SCma')$$

El componente ambiental Suelo, es considerado debido a que será el principal afectado en la liberación de relaves, se ha tomado en cuenta el componente de agua superficial por la existencia del río Sisajahuira dentro del área de influencia, así mismo la evidencia de llaretas en el área indicó la selección del componente de flora y fauna, y

finalmente la existencia del área protegida Altos de Sisajahuira condujeron a la selección del componente Áreas protegidas y sitios prioritarios para la conservación.

Una vez identificados los componentes ambientales, la empresa minera procede al análisis de cada uno de ellos de acuerdo a las variables y criterios de la

Tabla 20 del capítulo V:

Suelo

En la variable Extensión, para el componente del suelo, se ha calificado con el nivel Medio (3), debido a que en caso de ocurrir la liberación de relaves, por el análisis de Distancia Peligrosa realizado, la consecuencia abarcaría una superficie igual a una subcuenca.

El análisis realizado por los especialistas de la empresa minera, indica que para el caso de la variable Duración, el valor es Medio (3), es decir que su permanencia en el suelo podría ser entre 1 y 3 años.

De igual forma en el caso de la variable Reversibilidad se ha indicado que una vez impacto el suelo con el relave, por las características del mismo, la consecuencia sería Irreversible (5).

En la variable Intensidad, se ha considerado que existiría un alto grado de alteración al suelo por lo que se ha seleccionado el nivel Alto (4).

Finalmente, en la variable Relevancia Ambiental, se ha seleccionado el valor medio (3), debido a que el suelo en la región, al ser dedicado a la actividad agrícola no tiene restricciones en su intervención.

Se ha realizado, similar análisis para los otros componentes ambientales, como resultado se tuvo completando la Tabla 21:

		VARIABLES					
COMPONENTES AMBIENTALES	**APLICA (Si/No)**	**Extensión (E)**	**Duración (D)**	**Revers. (Rev)**	**Intensidad (I)**	**Relevancia Ambiental (Rel)**	**Scma´ (i)**
Calidad del Aire	no aplica						-
Suelo (Edafología)	aplica	**3**	**3**	**4**	**5**	**3**	18
Agua superficial	aplica	3	4	4	5	5	21
Agua subterránea	no aplica						-
Flora y Fauna	aplica	3	3	4	5	5	20
Áreas Protegidas y Sitios Prioritarios para la Conservación	aplica	1	3	5	4	5	18

$$SCma'(i) = E + D + Rev + I + Rel$$

$$SCma'(suelo) = 0 + 18 + 21 + 0 + 20 + 18 = 21$$

$$SCma' = Max(SCma'\ (i))$$

$$SCma = Max(18, 21, 20, 18) = 21$$

Nivel de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente: 21

Como indica la metodología, el valor resultante es el mayor obtenido de todos los componentes ambientales, en este caso el valor obtenido en el análisis del componente Suelo.

b. Índice de Medidas de cierre con incidencia en la severidad de las consecuencias al medio ambiente (IMC3)

Al igual que se realizó para el análisis de los IMC que inciden a la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho y a la Severidad de las Consecuencias a las personas, la empresa minera "XYZ", ha efectuado la evaluación de la efectividad de sus medidas de control que podrían controlar y reducir la severidad de las consecuencias al medio ambiente en sus componentes. Ha considerado que la medida que podría controlar la severidad de

la consecuencia en el medio ambiente es la estabilización de taludes en un 70%, por tanto:

	Nivel de Control del Riesgo con la ejecución de la Medida				
	100%-81%	80%-61%	60%-21%	20%-0%	
	Índice de la Medida de Control				
Medidas de Cierre	**0,5**	**0,65**	**0,8**	**0,95**	**Índice seleccionado**
Estabilización de taludes		**x**			**0,65**

Resultados del Índice de las Medidas de Cierre (IMC3) = 0.65

c. Nivel de Severidad de las Consecuencias al medio ambiente (SCma)

Con los valores determinados en el análisis de los componentes ambientales y la incidencia de las medidas de control comprometidas se ha determinado el nivel de Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente con la ecuación 8 del capítulo V:

$$SCma = SCma' x\ IMC3$$
$$SCma = 21\ x\ 0.65 = 14$$

Finalmente, con la finalidad de obtener el valor cualitativo resultante, se ha empleado la
Tabla 22:

Resultados de la fórmula	Nivel del Severidad
21 - 25	MUY ALTA
17 - 20	ALTA
13 - 16	**MODERADA**
9 - 12	BAJA
5 - 8	MUY BAJA

NIVEL DE LA SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS EN EL MEDIO AMBIENTE: MODERADA

Al igual que en el caso de la severidad de las consecuencias a las personas, nótese que si no existiría la obtención del índice de cierre de medio ambiente, es decir, si la empresa minera "XYZ" no aplicará de manera adecuada medidas de control que

reduzcan el valor, el resultado del análisis sería 21, es decir un nivel de severidad Muy Alto.

2.3 Evaluación del Nivel de Riesgo

Una vez determinado los niveles de Probabilidad de Ocurrencia de la liberación de relaves y los niveles de la Severidad de las Consecuencias en la población de Chuquiña y en los componentes ambientales del área de influencia, se ha procedido a determinar el nivel de riesgo. Para esto, con los resultados anteriores, se ha ingresado a la matriz de riesgo (Figura N° 15) considerando de manera independiente cada componente de consecuencia, es decir, un ingreso a la matriz con el resultado de la severidad de las consecuencias a las personas para obtener el nivel de Riesgo (P) y otro ingreso a la matriz con el resultado de la severidad de las consecuencias al medio ambiente para obtener el nivel de Riesgo (MA):

Nivel de Riesgo a las Personas:

- Probabilidad de Ocurrencia: Moderada
- Severidad de las Consecuencias: Moderada.
- Ingresando a la matriz de riesgos, este resulta ser:

		Severidad de las Consecuencias				
		Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Probabilidad de Ocurrencia del Hecho	Muy alta	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Alto	Medio
	Alta	Muy Alto	Alto	Alto	Medio	Medio
	Moderada	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo
	Baja	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Muy baja	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

Por tanto, el resultado de la evaluación siguiendo la metodología indica un riesgo a las personas por liberación de relaves a causa de un sismo en el depósito de relaves X:

	Nivel
RIESGO (P)	**MEDIO**

Para el caso del riesgo al medio ambiente por liberación de relaves a causa de un sismo en depósito de relaves "X" la evaluación realizada indicó el siguiente resultado:

Nivel de Riesgo al Medio Ambiente:

- Probabilidad de Ocurrencia: Moderada
- Severidad de las Consecuencias: Moderada.

- Ingresando a la matriz de riesgos, este resulta ser:

Probabilidad de Ocurrencia del Hecho	Severidad de las Consecuencias				
	Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Muy alta	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Alto	Medio
Alta	Muy Alto	Alto	Alto	Medio	Medio
Moderada	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo
Baja	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo
Muy baja	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

	Nivel
RIESGO (MA)	**MEDIO**

Cabe hacer notar que ambos niveles de riesgo obtenidos, a las personas y al medio ambiente, son los resultandos finales de la evaluación, no se realiza la combinación de ambos, porque como se ha indicado requieren un control diferenciado.

Completando el análisis, la empresa minera "XYZ" también realizó la evaluación para los otros cinco (5) riesgos identificados en el depósito de relaves "X", el resumen de los resultados ha sido generado en la planilla 2:

REGISTRO	RIESGOS		NIVEL	SIGNIFICANCIA
DR1	DR1.P	A las personas por liberación de relaves a causa de un sismo	**MEDIO**	Significativo
	DR1.MA	Al medio ambiente por liberación de relaves a causa de un sismo	**MEDIO**	Significativo
DR2	DR2.P	A las personas por liberación de relaves a causa de una erosión interna resultante de un piping	**BAJO**	No Significativo
	DR2.MA	Al medio ambiente por liberación de relaves a causa de una erosión interna resultante de un piping	**BAJO**	No Significativo
DR3	DR3.P	A las personas por overtopping a causa de una lluvia intensa y/o crecida	**BAJO**	No Significativo
	DR3.MA	Al medio ambiente por overtopping a causa de una lluvia intensa y/o crecida	**BAJO**	No Significativo
DR4	DR4.P	A las personas por overtopping a causa de una remoción en	**BAJO**	No Significativo

REGISTRO	RIESGOS		NIVEL	SIGNIFICANCIA
		masa		
	DR4.MA	Al medio ambiente por overtopping a causa de una remoción en masa	**BAJO**	No Significativo
DR5	DR5.P	A las personas por contaminación de aguas subterráneas a causa de una infiltración de DAR	**BAJO**	No Significativo
	DR5.MA	Al medio ambiente por contaminación de aguas subterráneas a causa de una infiltración de DAR	**BAJO**	No Significativo
DR6	DR6.P	A las personas por contaminación atmosférica a causa de viento	**BAJO**	No Significativo
	DR6.MA	Al medio ambiente por contaminación atmosférica a causa de viento	**BAJO**	No Significativo

2.4 Tratamiento del riesgo

Debido a que en el caso realizado como ejemplo, ambos resultados dieron niveles de riesgo SIGNIFICATIVOS, la empresa minera "XYZ", tuvo que analizar el enfoque de su Tratamiento de Riesgo en base a lo indicado en el subtítulo 7 del Capítulo V.

Para controlar estos riesgos, en específico, la empresa minera "XYZ" consideró implementar una nueva medida de control: Muro de Pie indicando que su efectividad será de un 90% en controlar tanto la probabilidad de liberación de relaves como la severidad de las consecuencias a las personas y al medio ambiente.

Por tanto, realizó nuevamente la evaluación de riesgos con la metodología de la Guía, empleando nuevamente la planilla 1 con el denominativo DR1r, en esta nueva evaluación incorporó el criterio de la ejecución eficiente de un muro de pie, por tanto obtuvo nuevos valores de los Índices de Medidas de control (IMC1r, IMC2r e IMC3r).

2.5 Riesgo Residual

La empresa minera "XYZ" obtuvo como resultado de esta segunda evaluación, el nivel del riesgo residual (evaluado al año 10 de operación) para el caso de presentarse una liberación de relaves durante el período de post cierre. Sus nuevos resultados fueron:

	Nivel
RIESGO (Pr)	**BAJO**
RIESGO (MAr)	**BAJO**

De igual manera realizó la evaluación de los riesgos para sus otras instalaciones, el resumen de dicho análisis fue presentado de acuerdo a lo establecido en la planilla 3:

BIBLIOGRAFÍA

- AS/NZS 4360. (2004). Risk Management Guidelines Companion to AS/NZS. Sydney: Standards Australia/Standards New Zealand, 2007.
- Conesa Fernández - Vítora, V. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Madrid: Ed. Mundi-Prensa. 3ª edición, 2010.
- Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM). Planificación del Cierre Integrado de Minas: Equipo de Herramientas. Londres: ICMM, 2008.
- DS 132. CHILE. Reglamento de Seguridad Minera. Ministerio de Minería, Santiago, Chile, 2004.
- DS 41. CHILE. Reglamento Cierre Faenas e Instalaciones Minera. Ministerio de Minería, Santiago, Chile, 2012.
- Emery, Alan C. . Buenas Prácticas de Preparación y Respuesta ante Emergencias. Londres: PNUMA (Programa de las Naciones Unidas del Medio Ambiente) e ICMM (Consejo Internacional de Minería y Metales), 2005.
- Foote, Andrew J., Is Probabilistic Risk Assessment the Answer? The Journal of the Reliability Analysis Center, 2003.
- GTZ Cooperación Técnica Alemana; Guidelines Risk Analysis – a Basis for Disaster Risk Management: Echborn,2004
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Manual Básico para la Estimación de Riesgo. Lima: INDECI, 2006.
- International Network for Acid Prevention (INAP) y Global Alliance (GA), Mine Environment Neutral Drainage (MEND). http://www.mend-nedem.org [consulta: 2013]
- International Network for Acid Prevention (INAP), Global Acid Rock Drainage (GARD) Guide. http://www.gardguide.com [consulta: 2013]
- ISO 31000. Risk management – Principles and Guidelines. Suiza: International Organization for Standardization, 2009.
- ISO 31010. Risk management – Risk assessment techniques. Suiza: International Organization for Standardization (ISO), 2009.
- ISO/CEI 73, International Organization for Standardization Gestión de riesgos – Terminología – Líneas directrices para el uso en las normas. Suiza: ISO, 2009.
- Lacasse, S. y Nadim, F., Learning to Live with Geohazards: From Research to Practice, GeoRisk, 2011.
- Ley N° 20.551. CHILE. Regula el cierre de faenas e instalaciones mineras. Chile: Ministerio de Minería, Santiago, 2011.

- Ministerio de Minería y Consejo Minero de Chile, Guía Metodológica para el Cierre de Faenas Mineras. Santiago: Subsecretaría de Economía, 2002.

- Ministerio de Minería y Consejo Minero de Chile. Guía Metodológica sobre Drenaje Ácido en la Industria Minera. Santiago: Subsecretaría de Economía, 2002.

- Office of the United National Disaster Relief Coordinator (UNDRO),Report of Expert Group Meeting, Natural Disasters and Vulnerability Analysis, 9-12 July, 1979.

- Perú, Ministerio de Energía y Minas, Guía para la Elaboración de Planes de Cierre de Minas. Lima: Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, 2006.

- Ramírez, N. Guía Técnica de Operación y Control de Depósitos de Relaves. Santiago: SERNAGEOMIN, 2007.

- Read, J. y Stacey, P. Guidelines for Open Pit Slope Design. United States: CRC Press, 2009.

- Saaty, T, The Analytical Hierarchy Process. United States: Int J. Services Sciences, 1988.

- SERNAGEOMIN y Golder Associates S.A. Manual de Evaluación de Riesgos de Faenas Mineras Abandonadas o Paralizadas (FMA/P). Santiago: Golder Associates S.A, 2008.

- SERNAGEOMIN y Golder Associates S.A. Manual de Remediación de Pasivos Ambientales Mineros (PAM). Santiago: Golder Associates S.A, 2006.

- UNISDR (Naciones Unidas), Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra: Estrategia internacional para la reducción de desastres, 2009.

- Weeks, BJörn, Disaster Risk Assessment: Understanding the Concept of Risk. En: IV Forum Sustentare Sept.20-24, 2010.

SERNAGEOMIN
Ministerio de Minería

Gobierno de Chile

ANEXOS

ANEXO A: GLOSARIO DE TÉRMINOS

- ***Análisis de la Probabilidad de ocurrencia de un hecho***: Procedimiento a través del cual se determina/estima el nivel de las potenciales causas de tipo técnico y natural que generan un escenario de probabilidad. [1]

- ***Análisis de la severidad de las consecuencias***: Procedimiento a través del cual se determina/estima el nivel de impacto negativo en los receptores a causa de la ocurrencia de un hecho. [1]

- ***Área de influencia***: El área o espacio geográfico, cuyos componentes ambientales podrían verse afectados luego del cese de las operaciones de la faena o instalación minera, de acuerdo a lo establecido en la ley N°19.300.[2]

- ***Componente ambiental***: elemento natural o artificial de naturaleza física, química o biológica, sociocultural y sus interacciones. Se ha establecido que los componentes ambientales susceptibles de ser afectados durante la etapa de cierre de una faena minera son: Aire, Suelo, Agua superficial, Agua subterránea, Flora, Fauna, Áreas Protegidas y Sitios Prioritarios para la Conservación. Los elementos naturales y artificiales de naturaleza sociocultural y sus interacciones han sido considerados en las variables para determinar las Consecuencias sobre las Personas.[1]

- ***Consecuencia***: resultado o impacto de un evento. [4]

- ***Depósito de estériles***: Depósito de material sin actual valor económico proveniente de la explotación del mineral. [1]

- ***Etapa de cierre de faenas mineras***: Etapa de un proyecto minero que se inicia el día posterior al cese de las operaciones y finaliza una vez concluidas la ejecución de todas las medidas y actividades contempladas en el plan de cierre. [1]

- ***Etapa del post cierre de faenas mineras***: Etapa de un proyecto minero que se inicia el día posterior a la conclusión de la etapa del cierre de faenas mineras. [1]

- ***Empresa Minera***: La persona natural o jurídica que a título propio o por cuenta de un tercero ejecuta operaciones propias de la industria extractiva minera, sujetas a la obligación de cierre de faenas. [2]

- ***Estabilidad Física***: Situación de seguridad estructural, que mejora la resistencia y disminuye las fuerzas desestabilizadoras que pueden afectar obras o depósitos de una faena minera, para la cual se utilizan medidas con el fin de evitar fenómenos de falla, colapso o remoción. [2]

- ***Estabilidad Química***: Situación de control en agua, en aire y en suelo de las características químicas que presentan los materiales contenidos en las obras o depósitos de una faena minera, cuyo fin es evitar, prevenir o eliminar, si fuere necesario, la reacción química que causa acidez, evitando el contacto del agua con los residuos generadores de ácidos que se encuentren en obras y depósitos masivos mineros, tales como depósitos de relaves, botaderos, depósitos de estériles y ripios de lixiviación. [2]

- ***Evaluación del riesgo***: Procedimiento mediante el cual se establecen y analizan los riesgos de una Faena Minera o instalación minera, de forma de determinar si dichos riesgos revisten o no el carácter de significativo. [3]

- ***Evaluador***: Profesional del SERNAGEOMIN o de la Empresa minera que realiza la evaluación de riesgos. [1]

- ***Evento natural***: Suceso o fenómeno de origen natural que genera la ocurrencia de un hecho potencialmente riesgoso. Suceso de igual magnitud al evento de diseño / Suceso inusual en relación al evento de diseño. [1]

- ***Factores Técnicos***: Conjunto de criterios relacionados a la instalación minera cuyo análisis refleja la posibilidad de generación de un escenario de Probabilidad de ocurrencia de un Hecho en la etapa de post cierre ya sea por su interacción con un evento natural o por su acción independiente. [1]

- ***Identificación del riesgo***: Proceso mediante el cual el evaluador de riesgo selecciona los riesgos bajo los cuales se encontrará la instalación minera y que serán analizados y evaluados. [1]

- ***Instalación minera***: Infraestructura componente de la faena minera cuyos riesgos serán evaluados. [1]

- ***Medidas de Control***: Medidas estructurales y no estructurales que se aplicarán para reducir los niveles de riesgo significativos y asegurar la estabilidad física y química. [1]

- ***Medio Ambiente:*** corresponde al sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones. [7]***.***

- ***Método caserones en mina subterránea***: Métodos autosoportantes o de caserones abiertos: Corresponden a aquellos que consideran la extracción del mineral y dejar la cavidad que éste ocupaba vacía. Para ello, el caserón debe mantenerse estable en forma natural (ser autosoportante) o requerir escasos elementos de refuerzo. Estos caserones se dejan vacíos una vez que concluye la explotación.
    - Room and Pillar.
    - Stope and Pillar.
    - Shrinkage Stooping.
    - Sublevel Stooping.
    - Vertical Crater Retreta.

- ***Método de hundimiento en mina subterránea***: cuando las cavidades generadas por el mineral extraído son rellenas con el material superpuesto (mineral, mientras dura la explotación, y estéril, una vez finalizada). El hundimiento y consecuente relleno de las cavidades se produce simultáneamente a la extracción del mineral.
    - Longwall Mining.
    - Sublevel Caving.
    - Block / Panel Caving.

- ***Período de evaluación de riesgos***: Lapso de tiempo en el cual se efectuará la evaluación de riesgo con miras al post cierre de faenas mineras. [1]

- ***Personas***: habitantes en el área de influencia del riesgo analizado. [1]

- ***Principio ALARP***: Principio el cual establece que los riesgos menores al límite tolerable son tolerables solo si la reducción del riesgo es impracticable o si el costo es desproporcionalmente grosero (dependiendo del nivel de riesgo) para mejorar las ganancias. [6]

- ***Receptor***: Personas y Medio Ambiente existente dentro del área de influencia. [1]

- ***Riesgo***: Combinación de la probabilidad de un suceso y de su consecuencia. [5]

- ***Riesgo residual***: El nivel restante de riesgo en cualquier momento antes, durante y después de la aplicación de las medidas de control. [6]

- ***Riesgo significativo***: Aquel que revista importancia en atención a la probabilidad de ocurrencia de un hecho y la severidad de sus consecuencias. [3]

- ***Servicio***: Servicio Nacional de Geología y Minería. (SERNAGEOMIN). [2]

- ***Valor ambiental del componente ambiental***: se entenderá que un componente cuenta con valor ambiental cuando corresponda a un componente con nula o baja intervención antrópica y sea parte de un territorio que provea de servicios ecosistémicos locales relevantes para la población, o cuyos ecosistemas del que forma parte -o formaciones naturales- presentan características de unicidad, escasez o representatividad.

[1] Definición formulada por Arcadis para la Guía de Evaluación de Riesgos para el Cierre de Faenas Mineras.
[2] Definición extraída de la Cierre de faenas e instalaciones mineras (Ley 20.551).
[3] Definición extraída del Reglamento Cierre de faenas e instalaciones mineras (D.S.41)
[4] Definición extraída de la Guía de Gestión de Riesgo Estándar Australiana – Nueva Zelandés (AS/NZS 4360).
[5] Definición extraída de la Guía Gestión de riesgos – Terminología – Líneas directrices para el uso en las normas. (ISO/CEI 73).
[6] Definición extraída del Glosario de Términos de Evaluación de Riesgo del Comité Técnico de Gestión y Manejo de Riesgo de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica ISSMGE (ISSMGE TC32).
[7] Definición extraída de la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente

ANEXO B: GLOSARIO DE SIGLAS

- ***CFM***: Cierre de faenas mineras.
- ***CI***: Condición de la instalación.
- ***CMP***: Crecida máxima probable.
- ***C.Re***: Capacidad de respuesta.
- ***D***: Duración.
- ***DAR***: Drenaje ácido de roca.
- ***DE***: Depósitos de estériles.
- ***DL***: Depósito de escorias.
- ***DR***: Depósitos de relaves.
- ***E***: Extensión.
- ***F***: Fragilidad.
- ***I***: Intensidad.
- ***ICMM***: Consejo internacional de minería y metales.
- ***IMC***: Índice de Medidas de Cierre.
- ***ISO***: International Organization for Standardization.
- ***MC***: Medidas de cierre.
- ***MINSAL***: Ministerio de salud.
- ***MR***: Mina de rajo.
- ***MS***: Mina de labores subterráneas.
- ***PCFM***: Plan de cierre de faenas mineras.
- ***PNN***: potencial de neutralización neta.
- ***Pr***: Proximidad.
- ***RCA***: Resolución de calificación ambiental
- ***RE***: Recuperabilidad.
- ***Rel***: Relevancia ambiental.
- ***Rev***: Reversibilidad.
- ***RL***: Ripios de lixiviación.
- R_{MA}: Nivel de riesgo al medio ambiente.
- R_P: Nivel de riesgo a las personas.
- ***S***: Daño a la salud.

- ***SCma'***: Variables analizadas en los componentes ambientales para la severidad de sus consecuencias.
- ***SCma'i:*** Nivel de las variables de severidad de consecuencia en el componente ambiental "i".
- ***SCp***: Nivel de severidad de las consecuencias a las personas.
- ***SCp'***: Características analizadas en la severidad de las consecuencias en las personas.
- ***SERNAGEOMIN***: Servicio nacional de geología y minería.
- ***VFT***: Valorización de los factores técnicos.

ANEXO C: TABLAS DE FACTORES TÉCNICOS DE LAS INSTALACIONES MINERAS

1. Mina de Labores Subterráneas (MS)

*1.1 **Riesgo**: Subsidencia a causa de colapso de pilares y puentes de roca.*

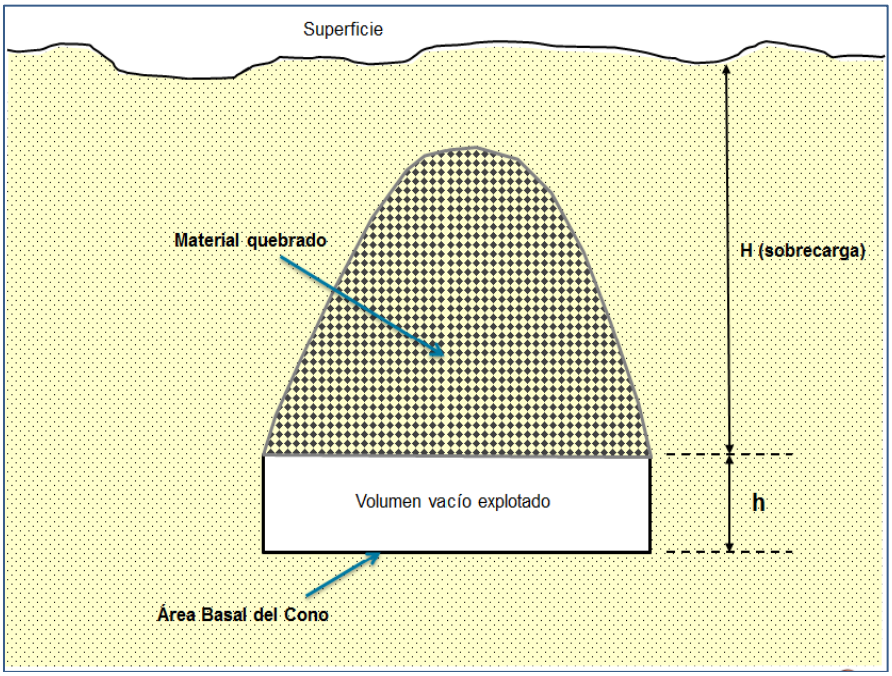
Planilla: MS1

Tabla 23: Factores Técnicos para Mina Subterránea. Subsidencia a causa de colapso de pilares y puentes de roca.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Factor de Seguridad de pilares remanentes.	FS > 1,4	1,3 < FS < 1,4	1,2 <FS < 1,3	1,1 < FS <1,2	FS = 1
b	Altura del sector explotado, h.	Menor a 1/3 de la altura de la sobrecarga H.	-	-	-	Mayor a 1/3 de la altura de la sobrecarga H.
c	Volumen vacío dejado posterior a la explotación.	< (1/3) * área basal*H (*)	-	-	-	≥ (1/3) * área basal*H
d	Efecto "pistón" por colapso de cámaras o puentes de roca.	No existen eventos registrados.	1 evento en la vida útil de la mina.	1 evento cada 10 años.	1 evento cada 5.	1 evento al año.

$$\boldsymbol{VTF = (3.91\, a\ x\ 3.91\, b\, x\, 3.91\, c) + 40\, d}$$

Figura N° 18: **Esquema de subsidencia a causa de colapso de pilares y puentes roca. (Método caserones y pilares)**



Fuente: Elaboración propia

*1.2 **Riesgo**: Incremento en la envolvente de subsidencia, que sobrepase los límites del diseño para el cierre, a causa de un sismo.*

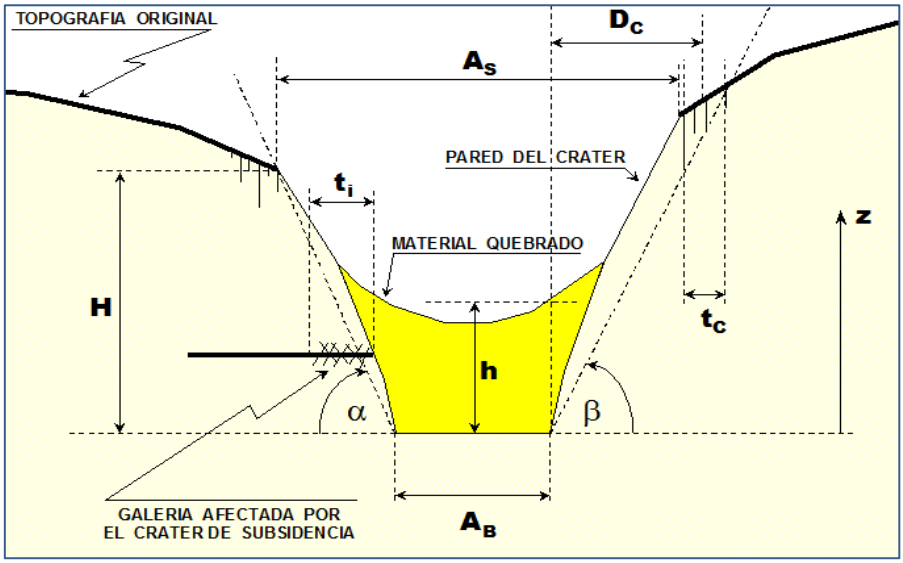
Planilla: MS2

Tabla 24: Factores Técnicos para Mina Subterránea. Incremento en la envolvente de subsidencia, que sobrepase los límites del diseño para el cierre, a causa de un sismo.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Desplome de la pared del cráter con ángulo menor al ángulo de diseño.	Ningún evento registrado.	1 vez en la vida útil de la mina.	1 vez cada 10 años.	1 vez cada 5 años.	1 vez al año.
b	Abandono de galerías o sectores productivos producto de aparición de grietas por efecto de subsidencia.	Ningún evento registrado.	1 vez en la vida útil de la mina.	1 vez cada 10 años.	1 vez cada 5 años.	1 vez al año.
c	Registro de Sismo con aceleración mayor al máximo probable según estudio de riesgo sísmico realizado para el diseño.	Ningún evento registrado.	-	-	-	Se registra.

$$\boldsymbol{VTF = 64\,a + 26\,b + 10\,c}$$

Figura N° 19: Esquema del incremento en la envolvente de subsidencia, que sobrepase los límites del diseño para el cierre, a causa de un sismo (Método de Hundimiento)



Fuente: Elaboración propia

1.3 Riesgo: Acidificación agua mina subterránea.

Planilla: MS3

Tabla 25: Factores Técnicos para Mina Subterránea. Acidificación agua mina subterránea.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Calidad de agua de mina.	pH > 6 ó SO4 < 250 mg/lt ó metales disueltos < 0,5 mg/lt.	pH 6 - 5,1 ó SO4 250 - 500 mg/lt ó metales disueltos 0,5 - 1 mg/lt.	pH 5 - 4,6 ó SO4 501 - 1000 mg/lt ó metales disueltos 1,1 - 5 mg/lt.	pH 4,5 - 3,5 ó SO4 1001 - 2000 mg/lt ó metales disueltos 5,1 - 20 mg/lt.	pH <3,5 ó SO4 >2000 mg/lt ó metales disueltos >20 mg/lt.
b	Presencia de unidades potenciales generadoras de ácido en la zona de subsidencia.	Ninguna unidad.	5% < = unidad en la roca.	5% <unidad en la roca < =15%.	15%< unidad en la roca<=20%.	Unidad en la roca >20%.

$$\boldsymbol{VTF = 50\,a + 50\,b}$$

Nota 1. El factor "a" supone la existencia de un programa de muestreo y monitoreo de la calidad del agua mina. Este programa debe ser sistemático y cubrir diferentes sectores de la mina en diferentes periodos. Es fundamental considerar la posible existencia de variaciones estacionales ligadas a un aumento de caudales relacionado por ejemplo con periodo de deshielo. Estos aumentos de caudales pueden estar acompañados de cambio de concentraciones de iones disueltos.

Nota 2. En relación al factor "b" no siempre existe un programa de caracterización sistemática de las unidades geológicas y de su potencial generación de drenaje ácido. En caso de no existencia de este programa y a menos que existen otras evidencias geológicas que permiten descartar el riesgo de generación de drenaje ácido, el factor será valorizado en su peor condición (valor 1). El potencial de drenaje ácido se determina aplicando diferentes tipos de pruebas estándares. En este caso, puede ser el test ABA, el test NAG o pruebas cinéticas en celdas de humedad.

2. Mina Rajo Abierto. Open Pit (MR)

*2.1 **Riesgo**: Falla de talud del Rajo, que sobrepase la zona de exclusión a causa de un sismo.*

PLANILLA: MR1.

Tabla 26: Factores Técnicos para Mina Rajo. Falla en el talud del rajo, que sobrepase la zona de exclusión a causa de un sismo.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Registro de Sismo con aceleración mayor al máximo probable.	Ningún evento registrado.	-	-	-	Se registra.
b	Reconocimiento de cambios litológicos, nuevas discontinuidades de gran longitud, o cambios de calidad de macizo rocoso.	Ningún evento registrado.	1 evento en período de evaluación.	Entre 2 y 3 eventos en período de evaluación.	Entre 4 y 5 eventos en período de evaluación.	Más de 5 eventos en período de evaluación.
c	Grandes deslizamientos.	Ningún evento registrado.	1 evento en período de evaluación.	Entre 2 y 3 eventos en período de evaluación.	Entre 4 y 5 eventos en período de evaluación.	Más de 5 eventos en período de evaluación.
d	Aparición de grietas más allá del límite de seguridad originalmente establecido.	Ningún evento registrado.	1 evento en período de evaluación.	Entre 2 y 3 eventos en período de evaluación.	Entre 4 y 5 eventos en período de evaluación.	Más de 5 eventos en período de evaluación.

$$VTF = 52\,a + 20\,b + 20\,c + 8\,d$$

2.2 *Riesgo: Infiltración de Drenaje Acido de Roca (DAR) proveniente de la Mina.*

PLANILLA: MR2

Tabla 27: Factores Técnicos para Mina Rajo. Infiltración DAR proveniente de la Mina.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Presencia en las paredes del rajo de unidades geológicas con potencial generadora de DAR.	Ninguna unidad.	1 - 5% unidad en la roca.	6 - 15% unidad en la roca.	16 - 20% unidad en la roca.	>20% unidad en la roca.
b	Existencia del Nivel Freático por encima del piso del rajo.	No existe.	-	-	-	Si existe.
c	Evidencia de afloramiento de agua en las paredes del rajo.	Ningún evento registrado.	Afloramiento puntual.	Afloramiento ocasional.	Afloramiento estacional.	Afloramiento permanente.
d	Acumulación de agua en el rajo; formación de una laguna.	Ningún evento registrado.	Puntual.	Ocasional.	Estacional.	Permanente.
e	Aumento de la concentración de sulfatos en drenaje o laguna.	Ningún aumento registrado.	Leve aumento (500 mg/L < [SO4] < 1000 mg/L).	1000 mg/L < [SO4] < 2000 mg/L.	2000 mg/L < [SO4] < 3000 mg/L.	Aumento sostenido ([SO4] > 3000 mg/L).
f	Disminución de pH en drenaje o laguna.	Ninguna disminución registrada.	5<pH < 5,5.	Leve disminución registrada (4,0<pH <= 5,0).	3,0<pH < =4,0.	Disminución sostenida (pH < =3,0).

g	Aumento de la concentración de metales disueltos en drenaje o laguna.	Ningún aumento registrado.	Leve aumento: concentración > 0,3 x norma.	Concentración > 0,5 x norma.	Concentración > 0,8 x norma.	Concentración > valor total de la norma.

$$\boldsymbol{VTF = 45\,a + 23\,b + 8\,c + 8\,d \cdot (e + f + g)}$$

Nota: No siempre existe un programa de caracterización sistemática de las unidades geológicas y de su potencial generación de drenaje ácido. En caso de no existir este programa y a menos que existan otras evidencias geológicas que permiten descartar el riesgo de generación de drenaje ácido, el factor será valorizado en su peor condición (valor 1). En este caso, la evaluación se refiere al diseño final del rajo tal como está diseñado al momento de presentar el plan de cierre. El potencial de drenaje ácido se determina aplicando diferentes tipos de pruebas estándares. En este caso, puede ser el test ABA, el test NAG o pruebas cinéticas en celdas de humedad.

3. Depósitos de Relaves (DR)

3.1 Riesgo: Liberación de Relaves a causa de un Sismo.

PLANILLA: DR1

Tabla 28: Factores Técnicos para Depósitos de Relaves. Liberación de Relaves a Causa de un Sismo.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Valor mínimo medido inferior al valor de diseño (cota coronamiento - cota relave contacto con el muro).	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Registro solamente esporádico con desviaciones. Desviaciones constantes por más de un año. No existe control o monitoreo.
b	Valor mínimo medido inferior al valor de diseño de revancha Total (cota coronamiento - cota nivel de aguas claras).	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año).	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por más de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.
c	Contenidos de finos en arena del muro del tranque sea >20% (bajo #200).	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año).	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por más de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
d	Niveles piezométricos en el muro: valores de registros altos sistemáticos en el tiempo (ubicación distribuida arealmente).	Cumple con niveles máximo permitidos. Distribución areal adecuada.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año y concentradas en un sector).	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el muro). Distribución areal adecuada.	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo. O no existe una adecuada ubicación de los puntos de monitoreo.
e	Densidad relativa de compactación del material del muro menor al diseño.	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año y concentradas en un sector)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y afectan todo el muro)	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.
f	Ángulo del talud de aguas abajo mayor al talud de diseño.	Ningún evento registrado	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año)	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por más de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.
g	Laguna fuera de su posición de diseño (*considerar solo en caso de muro de arena).	Ningún evento registrado en los últimos 5 años.	-	-	-	Evento registrado en los últimos 5 años.
h	Afloramientos de agua en el pie del muro no recogidos por el dren, Agua del dren enturbiada.	Ningún evento registrado por año.	-	-	-	Más de un evento por año en el período de análisis y dos o más eventos en año consecutivos.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
i	Valor mínimo medido del ancho de coronamiento de diseño inferior al requerido.	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año y concentradas en un sector)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.

Nota: El valor de referencia 4 es en relación a los informes trimestrales que se entrega al SERNAGEOMIN (E700).

Muro de arena (*): $\boldsymbol{VTF = 29a + 29b + 16c + 10d + 5e + 5f + 2g + 2h + 2i}$

Muro de empréstito: $\boldsymbol{VTF = 30a + 30b + 17c + 9d + 5e + 5f + 2h + 2i}$

3.2 Riesgo: Liberación de Relaves a causa de una erosión interna resultante de piping.

PLANILLA: DR2

Tabla 29: Factores Técnicos Depósitos de Relaves. Liberación de Relaves a causa de una erosión interna resultante de piping.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Laguna de aguas cercana al muro.	Ningún evento registrado.	-	-	-	Evento registrado.
b	Existencia de ductos que atraviesen el muro del tranque.	No existe.	-	-	-	Existe.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
c	Niveles piezométricos en el muro: valores de registro altos sistemáticos en el tiempo y que su ubicación sea distribuida de forma areal.	Ningún evento registrado.	Desviaciones frecuentes (> a 4 por año y concentradas en un sector). Distribución areal adecuada.	Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y afectan todo el muro). Distribución areal adecuada.	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el muro). Distribución areal adecuada.	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo. Ubicación inadecuada los puntos de monitoreo.
d	Afloramientos de agua en el pie del muro no recogidos por el dren, agua del dren enturbiada	Ningún evento registrado.	-	-	-	Evento registrado.
e	Contenidos de finos en arena del muro del tranque sea >20% (bajo #200).	Ningún evento registrado.	Desviaciones frecuentes (> a 4 por año).	Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.
f	Densidad relativa de compactación del material del muro menor al diseño.	Ningún evento registrado.	Desviaciones frecuentes (> a 4 por año y concentradas en un sector).	Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.

Nota: El valor de referencia 4 es en relación a los informes trimestrales que se entrega al SERNAGEOMIN (E700)

$$VTF = 46a + 25b + 14c + 7d + 4e + 4f$$

Riesgo: Overtopping a causa de lluvia intensa y/o crecida.

PLANILLA: DR3

Tabla 30: Factores Técnicos Depósitos de Relaves. Overtopping a causa de lluvia intensa y/o crecida.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Valor mínimo medido inferior al valor de diseño (cota coronamiento - cota espejo de agua).	Ningún evento registrado.	Desviaciones frecuentes (> a 4 por año).	Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.
b	Laguna de aguas en contacto con el muro (solo en caso de que el muro no tenga geomembrana).	Ningún evento registrado.	-	-	-	Evento registrado.
c	Condición operativa del vertedero de crecidas diseñado para el Cierre (cuando existe).	Esta operativo.	-	-	-	No está operativo.
d	Laguna de aguas en contacto con el muro (*solo en caso de que el muro tenga geomembrana).	Ningún evento registrado	-	Evento registrado.	-	-
e	Condición operativa de los canales de contorno diseñados para el Cierre (cuando existen).	Esta operativo.	-	-	-	No está operativo.

Nota: El valor de referencia 4 es en relación a los informes trimestrales que se entrega al SERNAGEOMIN (E700).

Muro con geomembrana (*): $\boldsymbol{VTF = 56a + 26c + 12d + 6e}$

Muro sin geomembrana : $\boldsymbol{VTF = 56a + 26b + 12c + 6e}$

3.3 *Riesgo: Overtopping a causa de remoción en Masa.*

PLANILLA: DR4

Tabla 31: Factores Técnicos Depósitos de Relaves. Overtopping a causa de remoción en masa.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Movimientos de remoción en masa en la cubeta.	Ningún evento registrado.	-	No activos (estables).	-	Activos (inestables).
b	Valor mínimo medido inferior al valor de diseño (cota coronamiento - cota espejo de agua).	Ningún evento registrado.	Desviaciones frecuentes (> a 4 por año).	Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.
c	Laguna de aguas en contacto con el muro (solo en caso de que el muro este sin geomembrana (liner).	Ningún evento registrado.	-	-	-	Evento registrado.
d	Registro del volumen de agua del depósito.	Volumen adecuado según plan de llenado del depósito (fijado en el diseño).	-	-	-	Volumen no adecuado.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
e	Laguna de aguas cercana al muro.	Ningún evento registrado.	-	-	-	Evento registrado.
f	Laguna de aguas en contacto con el muro (* solo en caso de que el muro tenga geomembrana (liner)).	Ningún evento registrado.	-	Evento registrado.	-	-

Nota: El valor de referencia 4 es en relación a los informes trimestrales que se entrega al SERNAGEOMIN (E700).

Muro con geomembrana (*) : $VTF = 50a + 26b + 13d + 7e + 4f$

Muro sin geomembrana : $VTF = 50a + 26b + 13c + 7d + 4e$

3.4 Riesgo: Contaminación de las Aguas Subterráneas a causa de Infiltración de Drenaje Acido de Roca (DAR).

PLANILLA: DR5.

Tabla 32: Factores Técnicos Depósitos de Relaves. Contaminación de Aguas Subterráneas a causa de Infiltración de DAR

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Características de los relaves.	Los relaves son materiales con bajo potencial de generación de drenaje ácido (Potencial de Neutralización Neto PNN > 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Los relaves son materiales con potencial de generación de drenaje ácido no claramente definido (-20 kg < PNN < 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Los relaves son materiales con alto potencial de generación de drenaje ácido (PNN < -20 kg equivalentes de CaCO3/t).

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
b	Balance hidrológico proyectado para el cierre.	Modelo de balance hidrológico demuestra la inexistencia del drenaje.	-	El modelo indica baja probabilidad de drenaje.	-	El modelo indica la existencia de drenaje.
c	Oxidación de sulfuros en las arenas del muro.	No se observa ningún índice de oxidación de las arenas en el muro del tranque (manchas rojizas; hidróxidos y óxidos de hierro; sulfatos).	-	Solo se observa muy localmente algunos índices de oxidación de las arenas en el muro del tranque (manchas rojizas; hidróxidos y óxidos de hierro; sulfatos).	-	Se observan cl aros índices de oxidación de las arenas en el muro del tranque (manchas rojizas; hidróxidos y óxidos de hierro; sulfatos).
d	Oxidación de las lamas en la cubeta.	No se observa ningún índice de oxidación de las lamas en la cubeta del tranque (avance de un frente de oxidación con presencia de hidróxidos y óxidos de hierro).	-	Se observa algunos índices de oxidación de las lamas en la cubeta del tranque (avance muy lento de un frente de oxidación con presencia de hidróxidos y óxidos de hierro).	-	Se observan claros índices de oxidación de las lamas en la cubeta del tranque (avance rápido del frente de oxidación con presencia de hidróxidos y óxidos de hierro).
e	Evidencia de infiltraciones durante la operación.	No se observan ninguna señal indicando la existencia de infiltraciones desde el tranque (aumento de conductividad, concentración de sulfatos y/o de metales disueltos en pozos de control).	-	No se observan algunos índices sobre la posible existencia de infiltraciones desde el tranque (aumento de conductividad, concentración de sulfatos y/o de metales disueltos en pozos de control).	-	No se observan claros índices de la existencia de infiltraciones desde el tranque (aumento de conductividad, concentración de sulfatos y/o de metales disueltos en pozos de control).

Tranque, muro de arenas: $VTF = (6b + 4e) * (6.3a + 1.1d + 2.6c)$
Embalse de relaves, muro empréstito: $VTF = (6b + 4e) * (7a + 3d)$
Depósito relaves espesados o en pasta: $VTF = 8b * (8.75a + 3.75d)$

Nota 1.- En lo referido al factor "a" No siempre existe un programa de caracterización sistemática de los relaves y de su potencial generación de drenaje ácido. En caso de no existir este programa y a menos que existen otras evidencias geológicas o datos de la planta que permiten descartar el riesgo de generación de drenaje ácido, el factor será valorizado en su peor condición (valor 1). En este caso, la evaluación se refiere tanto a las arenas como a las lamas. El potencial de drenaje ácido se determina aplicando diferentes tipos de pruebas estándares. En este caso, el criterio de basa en los resultados del test ABA.

Nota 2.- En lo referido al modelo hidrológico se refiere principalmente a las condiciones de cierre, después del cese de la operación del tranque y en ausencia de un sistema de bombeo y recirculación del agua de relave. Deberían existir modelos separados para el muro y la cubeta. Además, en forma adicional el modelo debería considerar las condiciones intermediarias que se producen después del cese de la descarga de relave y hasta que se alance un régimen estacionario.

3.5 Riesgo: Contaminación Atmosférica a causa de Infiltración de Viento.

PLANILLA: DR6.

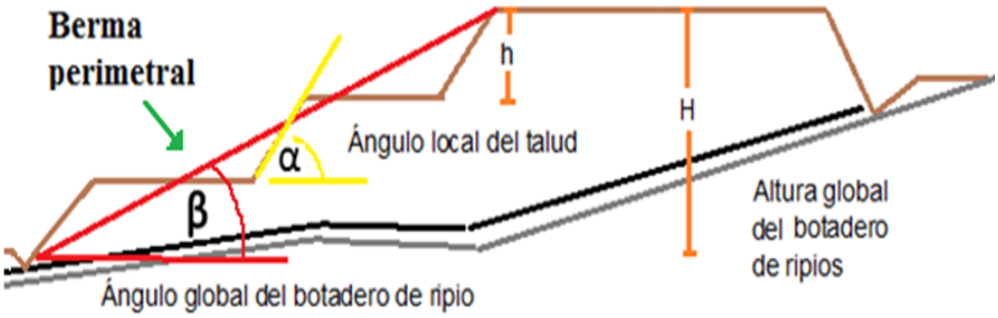
Tabla 33: Factores Técnicos Depósitos de Relaves. Contaminación atmosférica a causa de infiltración de viento.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Existencia de partículas erosionables.	No existe.	-	-	-	Existe.
b	% Humedad superficial.	Saturado 100%.	-	-	-	Seco 0%.

$$VTF = 50a + 50b$$

4. Ripios de Lixiviación (RL)

Figura N° 20: Esquema Depósito de Ripios de Lixiviación



Fuente: Elaboración propia

4.1 Riesgo: Falla de Talud a causa de un Sismo.

PLANILLA: RL1.

Tabla 34: Factores Técnicos Ripios de Lixiviación. Falla de talud a causa de un sismo.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Identificación de ángulos de taludes.	Según diseño de ingeniería o menor.	-	Desviaciones ocasionales.	-	Sin monitoreo o con un ángulo superior al de diseño.
b	Identificación del Grado saturación de colocación del material.	De acuerdo a diseño o con menor valor.	-	Ocasionalmente.	-	En forma sistemática.
c	Diseño de bermas.	Bermas de acuerdo a diseño de ingeniería o mayor.	-	Bermas ocasionalmente menor al diseño de ingeniería.	-	Construcción sistemática de bermas menores a lo indicado en el diseño o bien, sin monitoreo.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
d	Determinación del nivel freático piezómetros en la base de la pila.	De acuerdo a diseño o con menor valor.	Desviaciones ocasionales 1-2 por año.	Registro esporádico sin desviaciones.	Desviaciones constantes por más de un año.	Desviaciones constantes en todo el período y no existe control o monitoreo.
e	Identificación de presencia de grietas, asentamientos, desplazamiento o deslizamientos en la base de la pila.	Ningún evento registrado.	Eventos ocasionales sin deslizamiento.	Eventos ocasionales con deslizamiento de material (1 capa).	Eventos que involucran más de una capa y con deslizamientos.	Deslizamiento de material que requiere reparación.
f	Identificación de falla en el sistema de drenaje durante operación (indicador de posible vulnerabilidad en el cierre).	Ningún evento registrado.	Evento puntual, 1 vez al año.	Eventos ocasionales, mayores a 1 vez por año.	Desviaciones frecuentes durante el año que además requieren reparación.	Desviaciones sistemáticas en todo el período que requieren reparación o bien, no existe control o monitoreo geotécnico.
g	Especificación de las características del material de diseño en zona de bordes o prisma resistente.	Materiales utilizados de acuerdo a diseño o más competentes (Bajo contenido de finos).	-	Desviaciones ocasionales.	-	Desviaciones sistemáticas. Todo el talud resistente construido con materiales poco competente.
h	Control de inclusión de hielo en el prisma resistente en el caso de botadero de ripios.	Ningún evento registrado.	-	Ocasionalmente y sin presencia de nieve atrapada.	-	En forma sistemática con hielo atrapado en el interior.

$$VTF = 21.5a + 21.5b + 10c + 10d + 10e + 9f + 9g + 9h$$

4.2 *Riesgo: Falla de talud a causa de erosión hídrica.*

PLANILLA: RL2.

Tabla 35: Factores Técnicos Ripios de Lixiviación. Falla de talud a causa de erosión hídrica.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Registro de precipitaciones que excedan el criterio de diseño de los canales perimetrales.	Registros de acuerdo a diseño.	-	-	-	Evento registrado.
b	Identificación de registros de precipitaciones que excedan el valor crítico (aplicado en taludes y bermas de seguridad).	Registros de acuerdo a diseño o menor.	-	-	-	Evento registrado.

VFT = 60a + 40b

4.3 *Riesgo: Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración DAR (Pilas Estáticas).*

PLANILLA: RL3.1.

Tabla 36: Factores Técnicos Ripios de Lixiviación. Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración DAR (Pilas Estáticas).

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Falla en la carpeta (pila permanente y botadero con carpeta basal).	Ninguna fuga detectada.	-	Fugas puntuales y menores.	-	Fugas importantes y extendidas.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
b	Infiltraciones durante la operación.	Ningún evento registrado.	-	Posible existencia de infiltraciones por registros de contaminantes en pozos agua abajo.	-	Existencia de infiltraciones por registros de contaminantes en pozos agua abajo.
c	Falla en el muro cortafuga durante operación.	Ningún evento registrado.	Eventos ocasionales, 1 por año.	Eventos mayores a 1 por año.	Eventos por más de un año que requieran reparación.	Desviaciones constantes en todo el período que requieren reparación, o no existe control o monitoreo geotécnico.
d	Pérdida de solución en la operación de las pilas estáticas.	No se observa.	-	Se observan pérdidas < 5% en un periodo de 2 años.	-	Se observan pérdidas > 5% en un periodo de 2 años.
e	Balance hidrológico proyectado para el cierre.	Modelo de balance hidrológico demuestra la inexistencia del drenaje.	-	El modelo indica baja probabilidad de drenaje.	-	El modelo indica la existencia de drenaje.
f	Características de los ripios.	Los ripios de lixiviación son material con bajo potencial de generación de drenaje ácido (PNN > 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Los ripios de lixiviación son material con potencial de generación de drenaje ácido no claramente definido (-20 kg < PNN < 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Los ripios de lixiviación son material con alto potencial de generación de drenaje ácido (PNN < -20 kg equivalentes de CaCO3/t).

$$VTF = 26a + 26b + 26c + 12d + 5e + 5f$$

4.4 *Riesgo: Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración DAR (Botaderos de Ripios de Lixiviación).*

PLANILLA: RL3.2.

Tabla 37: Factores Técnicos Ripios de Lixiviación. : Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración DAR (Botaderos de Ripios de Lixiviación).

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Drenajes por apilamiento de los ripios (estruje).	No se han observado ningún drenaje durante la operación del botadero.	-	Se ha observado drenajes ocasionales.	-	Se observan drenajes sistemáticos al momento de descargar los ripios en el botadero.
b	Infiltraciones durante la operación detectadas en el monitoreo aguas abajo de la instalación.	Ningún evento registrado.	-	Posible existencia de infiltraciones por registros de contaminantes en pozos agua abajo.	-	Existencia de infiltraciones por registros de contaminantes en pozos agua abajo.
c	Balance hidrológico proyectado para el cierre.	Modelo de balance hidrológico demuestra la inexistencia del drenaje.	-	El modelo indica baja probabilidad de drenaje.	-	El modelo indica la existencia de drenaje.

d	Características de los ripios.	Los ripios de lixiviación son material con bajo potencial de generación de drenaje ácido (PNN > 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Los ripios de lixiviación son material con potencial de generación de drenaje ácido no claramente definido (-20 kg < PNN < 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Los ripios de lixiviación son material con alto potencial de generación de drenaje ácido (PNN < -20 kg equivalentes de CaCO3/t).

$$\boldsymbol{VTF = 38a + 38b + 12c + 12d}$$

4.5 Riesgo: Contaminación de agua superficial a causa de crecida/inundación

PLANILLA: RL4

Tabla 38: Factores Técnicos Ripios de Lixiviación. Contaminación de agua superficial a causa de crecida/inundación

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Existencia y sobre carga en capacidad de piscina de emergencia.	Ningún evento registrado o bien, no existencia.	-	-	-	Evento registrado o no monitoreo.

$$VTF = 100a$$

4.6 Riesgo: Contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa de viento.

PLANILLA: RL5.

Tabla 39: Factores Técnicos Ripios de Lixiviación. Contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa de viento

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Excedencia de material particulado.	Ningún evento registrado.	<20% de las mediciones exceden las Normas vigentes en 2 años.	20-30% de las mediciones exceden las Normas vigentes en 2 años.	31-50% no cumple en 2 años.	>50% no cumple en 2 años o sin monitoreo.

$$VTF = 100a$$

5. Depósito de Estériles (DE)

5.1 Riesgo: Contaminación de aguas subterráneas a causa de lluvia.

PLANILLA: DE1

Tabla 40: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Contaminación de aguas subterráneas a causa de lluvia

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Resultado pruebas de generación de Drenaje Acido en Roca (DAR) para el material almacenado.	Material de botadero con bajo potencial de generación de drenaje ácido (PNN > 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Material de botadero con potencial de generación de drenaje ácido no claramente definido (-20 kg < PNN < 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Material de botadero con alto potencial de generación de drenaje ácido (PNN < -20 kg equivalentes de CaCO3/t).
b	Evidencia de DAR en drenajes en la base del botadero.	Ninguna evidencia de DAR, pH neutro, sulfatos inferiores a 200 ppm metales bajo 0,5 mg/L.	-	-	-	Evidencias de DAR en drenajes del botadero, pH <4 ó sulfatos que superan 200 ppm ó metales sobrepasen 0,5 mg/L.
c	Aparición de drenajes en el botadero (en la base).	Inexistentes.	Esporádicos.	Ocasionales.	Estacionales.	Permanentes.
d	Existencia del registro de valores anómalos de concentración de sustancias contaminantes en pozos de observación aguas abajo del botadero.	No se registran.	1 vez en la vida útil de la mina.	1 vez cada 10 años.	1 vez cada 5 años.	1 vez al año.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
e	Se observa aparición de agua en base del botadero durante períodos de lluvia intensa.	Ningún evento registrado.	1 vez en la vida útil de la mina.	1 vez cada 10 años.	1 vez cada 5 años.	1 vez al año.
g	Fallas en modelamiento hidrogeológico del botadero y en las medidas de mitigación proyectadas. Calibración con menor cantidad de pozos que los actualmente en existencia.	Observaciones de terreno son concordantes con las del modelo hidrogeológico. Operan las medidas de mitigación.	-	Se observan desviaciones respecto a modelamiento hidrogeológico predictivo.	-	Existen amplias desviaciones respecto al comportamiento del modelo, las medidas de mitigación son inefectivas. No existe modelo hidrogeológico. No existen registros de monitoreo.

$$VTF = (7.5a\ x\ 4.8c) + 36b + 7(d + e + f + g)$$

5.2 *Riesgo: Contaminación de aguas subterráneas a causa de una crecida.*

PLANILLA: DE2.

Tabla 41: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Contaminación de aguas subterráneas a causa de una crecida

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Resultado pruebas de generación de Drenaje Acido en Roca (DAR) para el material almacenado.	Material de botadero con bajo potencial de generación de drenaje ácido (PNN > 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Material de botadero con potencial de generación de drenaje ácido no claramente definido (-20 kg < PNN < 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Material de botadero con alto potencial de generación de drenaje ácido (PNN < -20 kg equivalentes de CaCO3/t).
b	Evidencia de DAR en drenajes del botadero.	Ninguna evidencia de DAR, pH neutro, sulfatos inferiores a 200 ppm metales bajo 0,5 mg/L.	-	-	-	Evidencias de DAR en drenajes del botadero, pH <4 ó sulfatos que superan 200 ppm ó metales sobrepasen 0,5 mg/L.
c	Sistema de saneamiento proyectado con valor de la crecida máxima probable (CMP).	Sistema proyectado/verificado con la CMP.	-	-	-	Sistema de saneamiento no ha sido proyectado o verificado con valor de crecida máxima probable CMP.
d	Registro de valores alterados en pozos de observación aguas abajo del botadero.	Ningún evento registrado.	1 vez en la vida útil de la mina.	1 vez cada 10 años.	1 vez cada 5 años.	1 vez al año.

$$VTF = 40a + 40b + 11c + 9d$$

5.3 Riesgo: Emisiones de partículas a la atmósfera a causa de viento

PLANILLA: DE3

Tabla 42: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Emisiones de partículas a la atmósfera a causa de viento

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Caracterización del material particulado que forma parte de la capa superior del botadero en términos de contenido de material bajo #200 (72um).	Contenido de material <#200 despreciable.	-	-	-	Existe material <#200 en capas superficial del botadero. Alta probabilidad de erosión y suspensión eólica.

$$VTF = 100a$$

5.4 Riesgo: Contaminación de aguas superficiales a causa de lluvia intensa.

PLANILLA: DE4.

Tabla 43: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Contaminación de aguas superficiales a causa de lluvia intensa

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Evidencia de DAR en drenajes del botadero.	Ninguna evidencia de DAR, pH neutro, sulfatos inferiores a 200 ppm metales bajo 0,5 mg/L.	-	-	-	Evidencias de DAR en drenajes del botadero, pH <4 ó sulfatos que superan 200 ppm ó metales sobrepasen

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
						0,5 mg/L.
b	Resultado pruebas de generación de Drenaje Ácido en Roca (DAR) para el material almacenado.	Material de botadero con bajo potencial de generación de drenaje ácido (PNN > 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Material de botadero con potencial de generación de drenaje ácido no claramente definido (-20 kg < PNN < 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Material de botadero con alto potencial de generación de drenaje ácido (PNN < -20 kg equivalentes de CaCO3/t).
c	Sistema de saneamiento proyectado/verificado con valor de la crecida máxima probable (CMP).	Sistema proyectado/verificado con la CMP.	-	-	-	Sistema de saneamiento no ha sido proyectado o verificado con valor de crecida máxima probable CMP.
d	Rebose de depósito de retención de aguas contactadas, si existe.	Ningún evento registrado.	1 vez en la vida útil de la mina.	1 vez cada 10 años.	1 vez cada 5 años.	1 vez al año.
e	Aparición de drenajes en el botadero.	Inexistentes.	Esporádicos.	Ocasionales.	Estacionales.	Permanentes.

$$\boldsymbol{VTF = 37.5a + 12.5(c + d) + (8.33b\ x\ 4.5e)}$$

5.5 Riesgo: Contaminación de aguas superficiales a causa de crecida.

PLANILLA: DE5.

Tabla 44: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Contaminación de aguas superficiales a causa de crecida

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Resultado pruebas de generación de Drenaje Acido en Roca (DAR) para el material almacenado.	Material de botadero con bajo potencial de generación de drenaje ácido (PNN > 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Material de botadero con potencial de generación de drenaje ácido no claramente definido (-20 kg < PNN < 20 kg equivalentes de CaCO3/t).	-	Material de botadero con alto potencial de generación de drenaje ácido (PNN < -20 kg equivalentes de CaCO3/t).
b	Evidencia de DAR en drenajes del botadero.	Ninguna evidencia de DAR, pH neutro, sulfatos inferiores a 200 ppm metales bajo 0,5 mg/L.	-	-	-	Evidencias de DAR en drenajes del botadero, pH <4 ó sulfatos que superan 200 ppm ó metales sobrepasen 0,5 mg/L.
c	Sistema de saneamiento proyectado/verificado con valor de la crecida máxima probable (CMP).	Sistema proyectado/verificado con la CMP.	-	-	-	Sistema de saneamiento no ha sido proyectado o verificado con valor de crecida máxima probable CMP.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
d	Aparición de drenajes en el botadero.	Inexistentes.	Esporádicos.	Ocasionales.	Estacionales.	Permanentes.

$$VTF = 43a + (8b\ x\ 5.4d) + 14c$$

5.6 Riesgo: *Erosión hídrica a causa de lluvia o deshielo diferido intenso.*

PLANILLA: DE6.

Tabla 45: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Erosión hídrica a causa de lluvia o deshielo diferido intenso.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Diseño de saneamiento superficial del botadero.	Contempla velocidades de flujo compatibles con materiales de revestimiento, contempla áreas de rebose.	-	-	-	Contempla velocidades de flujo que requieren revestimiento (hormigón u otro), no existen áreas de inundación. Se prevé requerimientos de mantención post evento.
b	Sistema de saneamiento de las aguas lluvias o cursos de agua, ubicados aguas arriba del botadero.	No registra excedencias, overtopping ni erosión. Cuenta con revanchas y velocidad de escurrimiento de diseño no genera erosión.	No registra excedencias, overtopping ni erosión.	No hay desborde pero existen sedimentos que bloquean parcialmente el curso de alguno de los canales de contorno.	Desborde localizado de canales de contorno. Arrastre de sedimentos bloquea localmente el curso de estos canales.	Los canales se desbordan hay evidencia de erosión y mal pronóstico futuro para el sistema.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
c	Empozamientos en plataformas, con descargas concentradas (canalizadas) y formación de cárcavas en taludes exteriores.	Ningún evento registrado. Hay diseño y bajadas encauzadas de aguas lluvia.	1 vez en la vida útil de la mina.	1 vez cada 10 años. Aparición de bajadas no controladas con fuerte erosión.	1 vez cada 5 años.	1 o más veces al año. No existe proyecto de saneamiento de plataforma y taludes. Sub-estimación de precipitaciones de diseño y acumulación de aguas en plataforma.
d	Infiltración de precipitaciones en agrietamientos existentes, iniciando o acelerando deslizamiento.	Ningún evento registrado, no hay o son mantenidos anualmente o post evento.	Se observan agrietamientos menores, aberturas milimétricas, aislados, de corrida o longitud reducida. Son mantenidos periódicamente.	Se observan agrietamientos medios, aberturas centimétricas, una o dos líneas paralelas al coronamiento, de corridas de varios metros, con penetraciones inferiores a 0,5 m. Mantención esporádica.	Se observan agrietamientos intensos, aberturas decimétricas, corridas de metros a decenas de metros, uno a tres agrietamientos (cubren 0,05H de ancho), penetraciones de 1m a 2 m. Poca a nula mantención (varios años sin mantención).	Evento registrado reiteradamente. Hay agrietamientos de más de 0,4 m de abertura, corridas de varias decenas de metros, varios agrietamientos paralelos (cubren más de 0,2 H de ancho) con penetraciones de más de 4m de profundidad y con evidencias de asentamientos de coronamientos superiores a 1 m. Sin mantención.
e	Erosión superficial de taludes.	Ningún evento registrado.	1 vez en la vida útil de la mina.	1 vez cada 10 años. Colocación de materiales de baja permeabilidad y reducida granulometría.	1 vez cada 5 años.	1 vez al año. No existe control del material de cobertura (de granulometría reducida y/o baja permeabilidad). Sub-evaluación de las precipitaciones de diseño.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
f	Evidencia de flujo de agua concentrado sobre los taludes. Pie de taludes exhiben flujos de barro, producto de arrastre hídrico.	Ningún evento registrado.	1 vez en la vida útil de la mina.	1 vez cada 10 años.	1 vez cada 5 años.	1 vez al año.

$$VTF = 26a + 26b + 26c + 12d + 5e + 5f$$

5.7 Riesgo: *Deslizamiento a causa de un sismo.*

PLANILLA: DE7.

Tabla 46: Factores Técnicos Depósitos de Estériles. Deslizamiento a causa de un sismo

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Aparición de materiales poco competentes en la fundación, no considerados en proyecto.	Ninguna aparición registrada.	Extensión de material poco competente menor a 0.3H (H: Altura del depósito).	Extensión de material poco competente entre 0.3H y 0.7H.	Extensión de material poco competente mayor a 0.7H, pendientes moderadas (15° a 25°), nivel freático cercano al de diseño.	No existe reconocimiento geotécnico del suelo de fundación. Extensión de material poco competente comparable con la altura. Zonas de pendientes fuertes (>25°). Nivel freático en el suelo de fundación supera al de diseño y escorrentías generalizadas.
b	Dispersión de materiales poco competentes (con contenido de finos y de humedad superior al de proyecto) en zona de bordes o prisma resistente.	No existen materiales poco competentes, o si existen hay un claro procedimiento para su disposición y se respeta.	Extensión de material poco competente menor a 0.3H.	Extensión de material poco competente entre 0.3H y 0.7H, y al menos un punto no controlado de depositación de material poco competente.	Extensión de material poco competente mayor a 0.7H. Al menos un punto no controlado de depositación de material poco competente.	Extensión de material poco competente comparable con la altura. No se controla material depositado. No se controla ubicación de materiales poco competentes. Contenido de finos mayor a 25%.
c	Inclusión de nieve/ hielo en el prisma resistente.	Ningún evento registrado.	Espesores de nieve < 10 cm.	Espesores de nieve entre 10 cm y 30 cm.	Espesores de nieve entre 30 cm y 50 cm.	Espesores de nieve > 50 cm.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
d	Registro de sismo mayor al sismo considerado en el diseño.	Ningún evento registrado.	-	-	-	Evento registrado.
e	Registro de agrietamientos, asentamientos, desplazamiento o deslizamientos.	Ningún evento registrado.	Presencia de agrietamientos al borde del talud.	Presencia de agrietamientos y/o asentamientos al borde del talud.	Presencia de inestabilidades locales (a nivel de banco).	Inestabilidad comprometiendo 2 o más bancos.
f	Nivel freático superior al valor de diseño.	Ningún evento registrado.	Desviaciones ocasionales 1/2 por año.	Registro esporádico sin desviaciones.	Desviaciones constantes por más de un año.	Desviaciones constantes en todo el período y no existe control o monitoreo.
g	Incumplimiento de altura máxima de diseño de capa.	Cumple con la altura máxima de capa.	-	Aumento espesor de capa menor a un 10% el espesor de diseño.	-	Aumento espesor de capa sobre un 10% el espesor de diseño.
h	Falla en el sistema de drenaje.	Ningún evento registrado.	Eventos ocasionales 1 por año.	Eventos mayores a 1 por año.	Desviaciones constantes por más de un año.	Desviaciones constantes en todo el período y no existe control o monitoreo.
i	Colocación de material con grado de saturación superior a la de diseño.	Cumple con la colocación de material acorde al diseño.	Extensión de material poco competente menor a 0.3H.	Saturación del material 10 < %S < 40. Extensión de material poco competente entre 0.3H y 0.7H.	Saturación del material 40 < %S < 85. Extensión de material poco competente mayor a 0.7H.	% S > 85%. Extensión de material en todas las capas y en aglomeraciones a nivel de sello de fundación.
j	Identificación de bermas (más angostas) y taludes (más empinados) que las consideradas en el diseño.	Cumple con lo considerado en el diseño.	-	Reducción de ancho de bermas en un 3% en toda la altura.	-	Reducción de ancho de bermas en un 10% en toda la altura.

$$VTF = 14a + 14b + 14c + 14d + 14e + 14f + 5g + 5h + 5i + j$$

6. Depósito de Escorias (DL)

6.1 Riesgo: *Lixiviación natural a causa de lluvia.*

PLANILLA: DL1.

Tabla 47: Factores Técnicos Depósitos de Escorias. Lixiviación Natural a causa de lluvia.

	Valorización / Factores	0	0.25	0.5	0,75	1
a	Contenido de metales en las escoria.	Las escorias presentan bajas concentraciones de As y/o Sb (inferiores a 0,05%).	-	Las escorias presentan concentraciones de As y/o Sb entre 0,05% y 0,5%.	-	Las escorias presentan altas concentraciones de As y/o Sb (> 0,5%).
b	Condiciones de enfriamiento.	Las escorias fueran enfriadas muy rápidamente (enfriamiento con agua) y presentan una estructura vidriosa muy homogénea.	-	-	-	Las escorias fueran enfriadas muy lentamente (enfriamiento natural) y presentan una estructura cristalina poco homogénea.

$$VTF = 50a + 50b$$

ANEXO D: METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LAS FÓRMULAS DE LOS FACTORES TÉCNICOS

En el presente anexo se detallará la metodología empleada para la obtención de los coeficientes de las fórmulas (Anexo D) que se emplean en la obtención del Nivel de Valorización de los Factores Técnicos (VFT).

Se considera como criterio inicial que los factores técnicos en cada tabla son independientes entre sí, por tanto la fórmula que los vincula es una suma directa, sin embargo cada factor presenta una determinada importancia o incidencia en la generación del escenario de potencial ocurrencia del hecho por tanto se ha procedido a determinar su grado de importancia de acuerdo al juicio de expertos.

La determinación de los coeficientes de cada fórmula que vincula los factores técnicos se ha basado en la metodología utilizada en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) del Análisis Multicriterio (Thomas Saaty).[21]

El procedimiento realizado para cada Tabla de Valorización de los Factores Técnicos se describe a continuación en un ejemplo correspondiente a la Planilla MR.1:

Una vez identificados los Factores Técnicos correspondientes al riesgo analizado se procedió a la Jerarquización de los mismos de acuerdo (orden de prioridad) al juicio de expertos:

ORDEN DE PRIORIDAD		Factores / Valorización	0	0,25	0,5	0,75	1
1°	a	Registro de Sismo con aceleración mayor al máximo probable	Ningún evento registrado	-	-	-	Se registra
2°	b	Reconocimiento de cambios litologicos, nuevas discontinuidades de gran longitud, o cambios de calidad de macizo rocoso	Ningún evento registrado	1 evento en período de evaluación	Entre 2 y 3 eventos en período de evaluación	Entre 4 y 5 eventos en período de evaluación	Más de 5 eventos en período de evaluación
2°	c	Grandes deslizamientos	Ningún evento registrado	1 evento en período de evaluación	Entre 2 y 3 eventos en período de evaluación	Entre 4 y 5 eventos en período de evaluación	Más de 5 eventos en período de evaluación
3°	d	Aparición de grietas más allá del límite de seguridad originalmente	Ningún evento registrado	1 evento en período de evaluación	Entre 2 y 3 eventos en período de evaluación	Entre 4 y 5 eventos en período de evaluación	Más de 5 eventos en período de evaluación

[21] Se ha empleado las etapas iniciales del método debido a que el objetivo específico es **normalizar** los coeficientes jerarquizados para cada fórmula y no realizar un criterio de selección de alternativas (resultado final del proceso AHP).

Posteriormente se realizó la Matriz de Comparación de Pares (MCP) estableciendo el rating de importancia relativa entre los factores técnicos en base al juicio de expertos formulado. Dicho rating se estableció en base a la siguiente escala:

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extremadamente	muy fuertemente	fuertemente	moderadamente	igualmente	moderadamente	fuertemente	muy fuertemente	extremadamente
menos importante			←		→			más importante

En el ejemplo dado, por la jerarquización dada el factor "a" es moderadamente más importante que el factor "b" (3), y fuertemente más importante que el factor "c" (5), y en sentido contrario lo propio es decir el factor "c" es fuertemente menos importante que el factor "a" (1/5)y moderadamente menos importante que el factor "b" (1/3):

		a: Registro de Sismo con aceleración mayor al máximo probable	**b:Reconocimiento de cambios litológicos, nuevas discontinuidades de gran longitud, o cambios de calidad de macizo rocoso**	**c: Grandes deslizamientos**	**d: Aparición de grietas más allá del límite de seguridad originalmente establecido**
a	Registro de Sismo con aceleración mayor al máximo probable	**1**	3	3	5
b	Reconocimiento de cambios litológicos, nuevas discontinuidades de gran longitud, o cambios de calidad de macizo rocoso	1/3	**1**	1	3
c	Grandes deslizamientos	1/3	1	**1**	3
d	Aparición de grietas más allá del límite de seguridad originalmente	1/5	1/3	1/3	**1**

		a: Registro de Sismo con aceleración mayor al máximo probable	b:Reconocimiento de cambios litológicos, nuevas discontinuidades de gran longitud, o cambios de calidad de macizo rocoso	c: Grandes deslizamientos	d: Aparición de grietas más allá del límite de seguridad originalmente establecido
	establecido				
	Suma	**1,87**	**5,33**	**5,33**	**12,00**

Como siguiente paso se tiene el desarrollo de la Matriz Normalizada (MCN) dividiendo cada valor de la Matriz de Comparación por pares entre la suma total de la columna:

		a: Registro de Sismo con aceleración mayor al máximo probable	b:Reconocimiento de cambios litológicos, nuevas discontinuidades de gran longitud, o cambios de calidad de macizo rocoso	c: Grandes deslizamientos	d: Aparición de grietas más allá del límite de seguridad originalmente establecido
a	Registro de Sismo con aceleración mayor al máximo probable	0,536	0,563	0,563	0,417
b	Reconocimiento de cambios litológicos, nuevas discontinuidades de gran longitud, o cambios de calidad de macizo rocoso	0,179	0,188	0,188	0,250
c	Grandes deslizamientos	0,179	0,188	0,188	0,250

		a: Registro de Sismo con aceleración mayor al máximo probable	b:Reconocimiento de cambios litológicos, nuevas discontinuidades de gran longitud, o cambios de calidad de macizo rocoso	c: Grandes deslizamientos	d: Aparición de grietas más allá del límite de seguridad originalmente establecido
d	Aparición de grietas más allá del límite de seguridad originalmente establecido	0,107	0,063	0,063	0,083

Una vez normalizados los valores se determina el Vector Principal que resulta de la suma de cada fila de la matriz normalizada. Posteriormente, se procede a obtener el peso y la ponderación, mediante la división del valor del Vector principal entre el número de factores y multiplicándolo por 100 para obtener la ponderación en porcentaje. Dicha ponderación nos da el resultado esperado, es decir los coeficientes para la fórmula que determina la valorización del nivel de los factores técnicos: VFT.

		a	b	c	d			
		Registro de Sismo con aceleración mayor al máximo probable	Reconocimiento de cambios litologicos, nuevas discontinuidades de gran longitud, o cambios de calidad de macizo rocoso	Grandes deslizamientos	Aparición de grietas más allá del límite de seguridad originalmente establecido	Vector principal	Pesos	Ponderación %
a	Registro de Sismo con aceleración mayor al máximo probable	0,536	0,563	0,563	0,417	2,08	0,52	**51,93**
b	Reconocimiento de cambios litologicos, nuevas discontinuidades de gran longitud, o cambios de calidad de macizo rocoso	0,179	0,188	0,188	0,250	0,80	0,20	**20,09**
c	Grandes deslizamientos	0,179	0,188	0,188	0,250	0,80	0,20	**20,09**
d	Aparición de grietas más allá del límite de seguridad originalmente establecido	0,107	0,063	0,063	0,083	0,32	0,08	**7,89**

Por tanto la fórmula generada será:

$$VTF = 52a + 20b + 20c + 8d$$

Finalmente como parte del proceso AHP se determina el Coeficiente de Consistencia (RC), a fin de como el nombre lo indica identificar si la comparación de pares realizada es consistente, considerando aceptable los valores inferiores a 0.10, en los casos donde CR>0.10 la jerarquización realizada por el juicio de expertos deberá ser revisada.

El Coeficiente de consistencia es calculado mediante la relación entre el Índice de consistencia (CI) y el Radio de Consistencia (RI):

CR = CI / RI
Donde el CI se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1} = 0$$

n = número de factores comparados.
$\square_{max}$ = Promedio del resultado de la multiplicación matricial de la fila de la Matriz de comparación de pares con la Columna "Pesos" de la matriz normalizada:

$$\lambda_i = 1/\text{Peso}_i * \begin{pmatrix} \text{fila matriz} \\ \text{comparación} \\ \text{de pares} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \text{Columna "Pesos" Matriz} \\ \text{Normalizada} \end{pmatrix}$$

$$\lambda_1 = 1/0{,}52 * \begin{pmatrix} 1 & 3 & 3 & 5 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0{,}52 \\ 0{,}20 \\ 0{,}20 \\ 0{,}08 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum \lambda i}{n}$$

En el ejemplo: $\lambda_{max} = 4.04$

$$CI = \frac{4.04-4}{4-1}$$

CI = 0.01

El valor del Radio de Consistencia se lo obtiene de manera directa en la siguiente tabla introduciendo el valor de n:

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI (indice aleatorio)	0,00	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

(Saaty, 1980)

Para el ejemplo RI = 0.9

Finalmente: $CR = \frac{0.01}{0.9}$

CR= 0.02 < 0.10 por tanto el Análisis es Consistente.

Casos especiales

Existen casos especiales donde los factores técnicos formulados no se relacionan en forma independiente entre ellos, es decir, al ser interdependientes la fórmula planteada no resulta ser una sumatoria directa sino se incluye la multiplicación de algunos de los factores técnicos. En esos casos, se realizó un análisis independiente de cada componente manteniendo los criterios de jerarquización de los factores y de mantener el resultado final en un rango de 0 a 100.

A continuación se presenta el desarrollo de la obtención de los coeficientes para estos casos, de tal forma de plantear los criterios que se siguieron y que el Evaluador debería optar en los casos donde requiera modificar alguna de estas fórmulas al incorporar o eliminar algún factor técnico:

A las personas y el Medio Ambiente por subsidencia a causa de colapso pilares y puentes de roca. (MS1):

$$(a\ x\ b\ x\ c) + d$$

$$(a\ ') + d$$

$$(1°) \qquad 2°$$

Considerando relación de "a' " y "d" de 60% y 40% (1° y 2° lugar):

$$(a\ x\ b\ x\ c) = 60$$

a' = 3.91 x 3.91 x 3.91 = 60

$$(3.91a\ x 3.91\ b\ x 3.91\ c) + 40d$$

A las personas y el Medio Ambiente por infiltración de drenajes tóxicos provenientes de la mina. (MR2):

$$a + b + c + d\ x\ (e + f + g)$$

$$(1°)\ (2°)\ (3°) \qquad (3°)$$

$$a + b + c + dxe + dxf + dxg)$$

d_1 d_2 d_3

De la comparación de pares:

$$45a + 23b + 8c + 8d_1 + 8d_2 + 8d_3)$$

Reemplazando:

$$VFT = 45a + 23b + 8c + 4d(2e + 2f + 2g)$$

$$VFT = 45a + 23b + 8c + 8d(e + f + g)$$

A las personas y el Medio Ambiente por contaminación de aguas subterráneas a causa de lluvia. (DE1):

$$(a\ x\ c) + b + d + e + f + g$$

$$(1°\ \ 2°)\ \ 1°\ \ 3°\ \ 3°\ \ 3°\ \ 3°$$

$$(a') + b + d + e + f + g$$

$$(1°)\ \ 1°\ \ 3°\ \ 3°\ \ 3°\ \ 3°$$

De la comparación de pares:

$$(36a') + 36b + 7d + 7e + 7f + 7g$$

Para

$$a' = (a\ x\ c) = 36$$

Considerando relación de "a" y "c" de 60% y 40% (1° y 2° lugar):

$$VTF = (7.5a\ x\ 4.8c) + 36b + 7x(d + e + f + g)$$

A las personas y el Medio Ambiente por contaminación de aguas superficiales a causa de lluvia intensa (Est4):

$$(b\ x\ e) + a + c + d$$

$$(1°\ \ 2°) \quad 1°\ \ 2°\ \ 2°$$

$$(b') + a + c + d$$

$$(1°)\ \ 1°\ \ 2°\ \ 2°$$

De la comparación de pares:

$$(37.5b') + 37.50a + 12.50c + 12.5c$$

Para

$$b' = (b\ x\ e) = 37.50$$

Considerando relación de "b" y "e" de 60% y 40% (1° y 2° lugar):

$$VTF = (8.33b\ x\ 4.5e) + 37.5a + 12.5x(c + d)$$

A las personas y el Medio Ambiente por contaminación de aguas superficiales a causa de crecida (DE5):

$$(b\ x\ d) + a + c$$

$$(1°\ \ 2°) \quad 1°\ \ 2°$$

$$(b') + a + c + d$$

$$(1°)\ \ 1°\ \ 2°\ \ 2°$$

De la comparación de pares:

$$(43b') + 43a + 14c$$

Para

$$b' = (b\ x\ d) = 43$$

Considerando relación de "b" y "d" de 60% y 40% (1° y 2° lugar):

$$VTF = 43a + \ (8b\ x\ 5.4d) + 14c$$

ANEXO E: FORMATO DIGITAL PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

Como se ha indicado en el subtítulo 8 del Capítulo V en el presente anexo se adjunta en formato digital las planillas desarrolladas en Excel para la determinación del nivel de riesgo para todas las instalaciones.

En el archivo digital adjunto, el Evaluador encontrará, dos carpetas, la primera para la realización de la primera evaluación de riesgos y la segunda para la obtención del riesgo residual. Ambas carpetas contienen a su vez dos archivos:

- Planilla 1 y 2: contiene los seis archivos de Excel, uno para cada instalación principal con toda la metodología desarrollada en sus etapas y en diferentes tablas con sus fórmulas y resultados vinculados:

CODIFICACIÓN	N°	INSTALACIÓN MINERA	OBRAS CONSIDERADAS
MS	**1**	**Mina de labores subterráneas**	Mina de labores subterráneas.
MR	**2**	**Mina de Rajo**	Mina de labores a cielo abierto (rajo abierto).
DR	**3**	**Depósitos de relaves**	Depósitos de relaves (tranques, embalses, acopios de relaves depositados en torta u otro sistema).
RL	**4**	**Ripios de Lixiviación**	Botaderos de ripios de lixiviación.
DE	**5**	**Depósitos de Estériles**	Botaderos de desmonte, estéril, marinas.
DL	**6**	**Depósitos de Escorias**	Acopio de escoria de fundición.

- Así mismo, el archivo contiene la Planilla 2, que vincula y presenta con el grado de significancia los resultados de la evaluación de riesgos realizados empleando la planilla 1.
- Planilla 3: este archivo presenta el resultado de la eva0luación de riesgos para las seis instalaciones mineras principales mediante los vínculos que tiene con las diferentes Planillas 2.

Se ha denominado "planilla 1" a aquella donde se realiza en extenso el procedimiento para la evaluación del nivel de un riesgo, obteniendo como resultado final el nivel de riesgo a las personas (R_P) y al medio ambiente (R_{MA}). Dicha planilla está identificada con el código de cada instalación minera. Por ejemplo, la planilla DR, contiene los archivos para la evaluación de los seis (6) riesgos identificados para el Depósito de Relaves (DR1, DR2….DR6).

Figura N° 21: Ejemplo de la página inicial de la Planilla tipo 1. [22]

ARCADIS

Guía Metodológica de Evaluación de Riesgos para el Cierre de Faenas Mineras

PLANILLA: DR1
INSTALACIÓN: Depósito Relaves
RIESGO: A las Personas por liberación de relaves a causa de un sismo (DR1.P)
Al Medio Ambiente por liberación de relaves a causa de un sismo (DR1.MA)

1. ANÁLISIS DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UN HECHO

1.1. Nivel de Probabilidad de ocurrencia del Evento Natural

Evento: Sismo
Trazabilidad:

Nivel de Probabilidad de ocurrencia				
1	2	3	4	5
MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO

Resultado del Nivel de Probabilidad de Ocurrencia del Evento :

1.2. Condición de la Instalación (CI)

1.2.1. Valorización de los Factores Técnicos (VFT)

	Valorización/ Factores	0	0,25	0,5	0,75	1	VALOR DE SELECCIÓN
a	Valor mínimo medido inferior al valor de diseño de revancha (cota coronamiento - cota relave contacto con el muro)	Ningún evento registrado	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (< a 4 por año)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año)	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Registro solamente esporádico con desviaciones. Desviaciones constantes por mas de un año. O no existe control o monitoreo	
b	Valor mínimo medido inferior al valor de diseño de revancha Total (cota coronamiento - cota nivel de aguas claras)	Ningún evento registrado	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (< a 4 por año)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año)	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por mas de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones . No existe control o monitoreo	
c	Contenidos de finos en arena del muro del tranque sea >20% (bajo #200)	Ningún evento registrado	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (< a 4 por año)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año)	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por mas de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones . No existe control o monitoreo	

DR1 / DR2 / DR3 / DR4 / DR5 / DR6 / VARIABLES PERSONAS / VARIABLE M.AMBIENTE / PLANILLA 2

[22] En el subtítulo 1.1. de la planilla 1 se encuentra un espacio denominado "Trazabilidad" donde el Evaluador deberá indicar el documento técnico que respalda la decisión del nivel de probabilidad del evento natural seleccionado.

Una vez finalizada la evaluación para cada riesgo, se generará en la "Planilla 2", el resumen de los resultados remarcando el nivel de significancia.

Figura N° 22: Ejemplo de la Planilla tipo 2

ARCADIS

Guía Metodológica de Evaluación de Riesgos para el Cierre de Faenas Mineras

RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO EN LA INSTALACIÓN MINERA

REGISTRO	RIESGOS		NIVEL	SIGNIFICANCIA
DR1	DR1.P	A las personas por liberación de relaves a causa de un sismo	MEDIO	Significativo
	DR1.MA	Al medio ambiente por liberación de relaves a causa de un sismo	BAJO	No Significativo
DR2	DR2.P	A las personas por liberación de relaves a causa de una erosión interna resultante de un piping	BAJO	No Significativo
	DR2.MA	Al medio ambiente por liberación de relaves a causa de una erosión interna resultante de un piping	BAJO	No Significativo
DR3	DR3.P	A las personas por overtopping a causa de una lluvia intensa y/o crecida	BAJO	No Significativo
	DR3.MA	Al medio ambiente por overtopping a causa de una lluvia intensa y/o crecida	BAJO	No Significativo
DR4	DR4.P	A las personas por overtopping a causa de una remoción en masa	BAJO	No Significativo
	DR4.MA	Al medio ambiente por overtopping a causa de una remoción en masa	BAJO	No Significativo
DR5	DR5.P	A las personas por contaminación de aguas subterráneas a causa de una infiltración de DAR	BAJO	No Significativo
	DR5.MA	Al medio ambiente por contaminación de aguas subterráneas a causa de una infiltración de DAR	BAJO	No Significativo
DR6	DR6.P	A las personas por contaminación atmosférica a causa de viento	BAJO	No Significativo
	DR6.MA	Al medio ambiente por contaminación atmosférica a causa de viento	BAJO	No Significativo

DR1 / DR2 / DR3 / DR4 / DR5 / DR6 / VARIABLES PERSONAS / VARIABLE M.AMBIENTE / PLANILLA 2

Finalmente, una vez realizadas las evaluaciones para todas las instalaciones mineras, la "Planilla 3" se generará como resumen total de los resultados. En la misma planilla se remarcará el nivel de riesgo general por instalación minera, dicho nivel será el mayor de todos los resultados evaluados para cada riesgo, por ejemplo en el caso de la evaluación de riesgos de un Depósito de Relaves, al tener entre todos sus resultados

como nivel de riesgo mayor "Medio", se considerará toda la instalación con ese nivel general de riesgo significativo.

La planilla 3, permite a la empresa minera, en los casos donde el riesgo sea significativo, identificar las medidas de cierre que podrían ser incorporadas para controlar el riesgo, en los casos donde se haya optado por ese tipo de control de riesgo, y finalmente la presentación de los resultados de la segunda evaluación con el Tratamiento de Riesgo realizado (ver subtítulo 7), es decir el riesgo residual.

Figura N° 23: Ejemplo de la Planilla Tipo 3

ARCADIS

Guía Metodológica de Evaluación de Riesgos para el Cierre de Faenas Mineras

RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO EN LA MINERA

INSTALACIÓN MINERA	COORD. UTM	PLANILLA	RIESGOS		NIVEL	SIGNIFICANCIA	MEDIDAS DE CIERRE QUE SE INCORPORAN PARA CONTROLAR EL RIESGO	PLANILLA	NIVEL RIESGO RESIDUAL		SIGNIFICANCIA	OBSERVACIONES
Mina de Labores Subterráneas (MS)	(x,y)	MS1	MS1.P	A las personas por subsidencia a causa de colapso pilares y puentes de roca	BAJO	No Significativo		MS1r	MS1.Pr	BAJO	No Significativo	
			MS1.MA	Al Medio Ambiente por subsidencia a causa de colapso pilares y puentes de roca	BAJO	No Significativo			MS1.MAr	BAJO	No Significativo	
		MS2	MS2.P	A las personas por incremento en la envolvente de subsidencia, que sobrepase los límites del diseño para el cierre, a causa de un sismo.	BAJO	No Significativo		MS2r	MS2.Pr	BAJO	No Significativo	
			MS2.MA	Al Medio Ambiente por incremento en la envolvente de subsidencia, que sobrepase los límites del diseño para el cierre, a causa de un sismo.	BAJO	No Significativo			MS2.MAr	BAJO	No Significativo	
		MS3	MS3.P	A las personas por acidificación agua mina subterráneo	BAJO	No Significativo		MS3r	MS3.Pr	BAJO	No Significativo	
			MS3.MA	Al Medio Ambiente por acidificación agua mina subterráneo	BAJO	No Significativo			MS3.MAr	BAJO	No Significativo	
		NIVEL DE RIESGO GENERAL MS:			NO SIGNIFICATIVO			NIVEL DE RIESGO GENERAL MSr:			NO SIGNIFICATIVO	
Mina Rajo (MR)	(x,y)	MR1	MR1.P	A las personas por falla en el talud del rajo, que sobrepase la zona de exclusión a causa de un sismo	BAJO	No Significativo		MR1r	MS3.MAr	BAJO	No Significativo	
			MR1.MA	Al Medio Ambiente por falla en el talud del rajo, que sobrepase la zona de exclusión a causa de un sismo	BAJO	No Significativo			MS3.MAr	BAJO	No Significativo	
		MR2	MR2.P	A las personas por infiltración de DAR provenientes de la mina	BAJO	No Significativo		MR2r	MS3.MAr	BAJO	No Significativo	
			MR2.MA	Al Medio Ambiente por infiltración de DAR provenientes de la mina	BAJO	No Significativo			MS3.MAr	BAJO	No Significativo	
		NIVEL DE RIESGO GENERAL MR:			NO SIGNIFICATIVO			NIVEL DE RIESGO GENERAL MRr:			NO SIGNIFICATIVO	
Depósitos de		DR1	DR1.P	A las personas por liberación de relaves a causa de un sismo a las Personas	MEDIO	Significativo	Muro de pie	DR1r	DR1.Pr	BAJO	No Significativo	
			DR1.MA	Al Medio Ambiente por liberación de relaves a causa de un sismo al Medio Ambiente	ALTO	Significativo	Muro de pie		DR1.MAr	BAJO	No Significativo	
		DR2	DR2.P	A las personas por liberación de relaves a causa de una erosión interna resultante de piping	BAJO	No Significativo		DR2r	DR2.Pr	BAJO	No Significativo	
			DR2.MA	Al Medio Ambiente por liberación de relaves a causa de una erosión interna resultante de piping	BAJO	No Significativo			DR2.MAr	BAJO	No Significativo	
		DR3	DR3.P	A las personas por overtopping a causa de lluvia intensa y/o crecida	BAJO	No Significativo		DR3r	DR3.Pr	BAJO	No Significativo	
			DR3.MA	Al Medio Ambiente por overtopping a causa de lluvia intensa y/o crecida	BAJO	No Significativo			DR3.MAr	BAJO	No Significativo	

PLANILLA 3

En el capítulo VI, se desarrollará un ejemplo a detalle de la evaluación de un riesgo empleando esta herramienta.